

The background features a repeating pattern of interlocking circles in a light gray color. Overlaid on this are two curved, dashed lines: one in a dark red color and one in a blue color, both following a similar arc across the page.

Projektiranje i konstrukcija tekstila i odeće

**Danilo Jakšić
Nikola Jakšić**

Projektiranje i konstrukcija tekstila i odeće

Originalni naslov: Projektiranje in konstrukcija tekstilij in oblačil

Autori: dr. prof. Danilo Jakšić, dr. doc. Nikola Jakšić

Lektor: Jelica Kekić, prof. francuskog jezika i književnosti

Inicijator i editor za verziju na srpskom: dr. prof. Vasilije Petrović, dipl. ing.

Prevod: Gojko Vuković, dipl. ing. tekstilne tehnologije

Tehnička obrada: Živa Jakšić Ivačić

Korice: Jernej Strmec

1. elektronsko izdanje

Izdavač: dr. prof. Danilo Jakšić

Dostupno na: <https://www.researchgate.net/profile/Nikola-Jaksic>

Ljubljana, 2022

Kataložni zapis o publikaciji (CIP) pripravili v Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani

COBISS.SI-ID 97184259

ISBN 978-961-07-0993-0 (PDF)

Danilo Jakšić
Nikola Jakšić

Projektiranje i konstrukcija tekstila i odeće

Ljubljana, 2022

ZAHVALA

Zahvaljujem se soautoru dr. doc. Nikoli Jakšiću za uspešan razvoj “*Teorije filtracije mikroba i virusa u medicinskoj maski*”. Ta teorija podiže ovaj udžbenik na viši naučni stepen.

Zahvaljujem se takođe Gojku Vukoviću, diplomiranom inž. tekstilne tehnologije, za prevod udžbenika sa slovenačkog na srpski i preduzeću Bilkon Bileća za sponzoriranje štampanja udžbenika u 100 primeraka.

Zahvaljujem se dr. prof. Vasiliju Petroviću na uvođenju u nastavu ovog predmeta na *Tekstilnom fakultetu* u Zrenjaninu, i sugestiji, da se ovo III. dopunjeno izdanje udžbenika prevede na srpski jezik.

Zahvaljujem se Jelici Kekić za lektoriranje ovog udžbenika.

Zahvaljujem Živi Jakšić Ivačić za tehničku obradu ovog udžbenika.

Zahvaljujem se Jerneju Strmcu za grafičnu obradu korica udžbenika.

dr. prof. Danilo Jakšić

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. PODNEBLJE	5
2.1. Parametri podneblja koje moramo uzeti u obzir pri izboru vrste i količine odeće	5
2.1.1. Temperature vazduha, tla i vode	5
2.1.2. Vlažnost vazduha	15
2.1.3. Padavine	18
2.2. Podneblje na zemlji	20
2.2.1. Temperatura	21
2.2.2. Padavine	22
3. REGULISANJE TELESNE TEMPERATURE	25
3.1. Uvod	25
3.2. Proizvodnja toplote	26
3.2.1. Uopšte	31
3.2.2. Održavanje toplotne ravnoteže	33
3.2.3. Telesna temperatura	40
3.2.4. Prilagođavanje mrazu i vrućini	51
4. ZNOJENJE	60
4.1. Lučenje znoja	60
4.2. Sastav znoja, mehanizam znojenja i prilagođavanje vrućem podneblju	69
4.2.1. Komponente znoja	69
4.2.2. Mehanizam znojenja i prilagođavanje vrućem okruženju	70
4.3. Isparavanje znoja	74
5. PRILAGOĐAVANJE NA NISKE I VISOKE TEMPERATURE	82
5.1. Prilagođavanje na niske temperature	82
5.1.1. Eskimi (Inuiti)	82
5.1.2. Stanovnici Sibira	85
5.1.3. Goli narodi izloženi mrazu	86
5.2. Prilagođavanje na visoke temperature	87
5.2.1. Toplo i suho podneblje	87
5.2.2. Toplo i vlažno podneblje	90
6. POLAZIŠTA PROJEKTOVANJA ODEĆE	95
6.1. Namena odeće	95
6.2. Projektni zahtevi za odeću	95
6.2.1. Svakodnevna odeća	96
6.2.2. Uniforme	98
6.2.3. Radna odeća	101
6.3. Osnovni parametri, koje moramo uzeti u obzir prilikom konstrukcije odeće	102
6.3.1. Toplotna izolacija odeće	102
7. JAKŠIĆEVE METODE ZA IZRAČUNAVANJE TOPLOTNE IZOLACIJE ODEĆE I VREMENA TOLERANCIJE	117
7.1. Uvod	117
7.2. Jakšićeva metoda izračunavanja toplotne izolacije odeće	117
7.3. Jakšićeva metoda izračunavanja vremena tolerancije	127
7.3.1. Uvod	127
7.3.2. Teorija	128
7.3.3. Rasprava o teoriji	133
7.3.4. Primer upotrebljivosti jednačine (7.31) za izračunavanje vremena tolerancije	134
7.4. Jakšićeva metoda izračunavanja vremena tolerancije u diferencijalnom obliku	148

8. JAKŠIĆEVA METODA UTVRĐIVANJA VELIČINE, BROJA I RASPODELE PORA U RAVNIM TEKSTILNIM PROIZVODIMA	151
8.1. Uvod	151
8.2. Teoretske osnove [13, 14].....	151
8.3. Postupak merenja zapreminske brzine protoka u zavisnosti od pritiska	155
8.4. Postupak izračunavanja broja, veličine i raspodele pora	156
8.4.1. Broj pora je poznat.....	156
8.4.2. Broj pora nije poznat.....	156
8.5. Testiranje metode.....	157
8.5.1. Probni uzorci.....	157
8.5.2. Rezultati testiranja metode.....	160
8.5.3. Rasprava o metodi.....	169
9. PROTOK VODENE PARE KROZ SLOJEVE ODEĆE	173
9.1. Opšte	173
9.2. Pretok vodene pare kroz slojeve odeće	175
9.3. Kvašenje odeće.....	179
9.3.1. Teorija kvašenja.....	179
9.4. Metode za ispitivanje vodoodbojnog efekta na tkaninama i primerenost njihove upotrebe	187
9.4.1. Metode ispitivanja vodo-odbojnog efekta na tkaninama	187
9.5. Primerenost metoda	194
9.5.1. Spray test metoda (slika 9-13).....	194
9.5.2. Hidrostaticna metoda ("mulda")	194
9.5.3. Hidrostaticna metoda na šoperovom aparatu (slika 9-14).....	196
9.5.4. Hidrodinamična metoda na šoperovom aparatu (slika 9-14).....	196
9.5.5. Metoda potapanja uzorka.....	196
9.5.6. Bundesmannova metoda	197
10. OTPORNOST NA TRLJANJE I POJAVA GRUDVICA (PILING).....	198
10.1. Uvod.....	198
10.2. Mehanizam pojave grudvica	198
10.2.1. Čupavljenje površine	198
10.2.2. Modeli nastanka grudvica.....	199
10.3. Kinetički modeli nastanka grudvica (pilinga).....	200
10.3.1. Brand-Bohm-falkov kinetički model nastanka grudvica [3].....	200
10.3.2. Pojednostavljeni kinetički model nastanka grudvica [4].....	203
10.4. Faze nastanka grudvica i osobine vlakana	206
10.4.1. Formiranje dlakave površine.	206
10.4.2. Nastanak grudvica kod vlakana, koja čine dlakavu površinu	206
10.4.3. Otpadanje grudvica sa površine tkanine	206
10.5. Sklonost ka čupavljenju i nastanku grudvica	206
10.6. Uticaj pojedinih parametara kvaliteta vlakana na nastanak grudvica	207
10.6.1. Uticaj prekidne jačine i otpornosti na uvijanje	207
10.6.2. Uticaj dužine vlakana.....	210
10.6.3. Uticaj finoće vlakana	210
10.6.4. Uticaj oblika poprečnog preseka vlakana	211
10.6.5. Uticaj krutosti vlakana	213
10.6.6. Uticaj koeficijenta trenja	213
10.7. Uticaj parametara kvaliteta pređe na pojavu grudvica	213
10.7.1. Uticaj veličine dodirne površine	213
10.7.2. Uticaj broja zavoja.....	214
10.8. Uticaj vrednosti parametara kvaliteta tkanine na pojavu grudvica	214
10.8.1. Uticaj prepletaja.....	215
10.8.2. Uticaj valjanja tkanine	215
11. OTPORNOST PREĐE I TKANINE NA DEFORMACIJE	221

11.1. Uvod	221
11.2. Otpornost na skupljanje	221
11.2.1. Uzrok deformacije (skupljanje ili istežanje) - uopšte	221
11.2.2. Skupljanje vunениh tkanina i pojava napetih (zategnutih) niti.....	221
11.3. Jakšičev model transformacije dužine niti u vunениm tkaninama	223
11.3.1. Polazne pretpostavke	223
11.3.2. Faze transformacije	226
11.4. Jakšičeva studija grbačenja poluvunениh tkanina	231
11.4.1. Opšte.....	231
11.4.2. Teoretske osnove	232
11.5. Analiza eksperimentalnih rezultata u nagrbačenoj tkanini	238
11.5.1. Opšte.....	238
11.5.2. Otpornost na gužvanje	241
11.5.3. Jačina pojedinih delova odeće.....	242
11.6. Vrste i postojanosti boja	242
12. JAKŠIČEVA TEORIJA FAZNE STRUKTURE VUNE [13]	245
12.1. Uvod	245
12.2. Uticaj procesa rasta vunenoga vlakna na njegovu faznu strukturu	245
12.3. Eksperimentalna tehnika	250
12.3.1. Rendgenografska metoda određivanja stepena kristaliničnosti u vunenom vlaknu... ..	250
12.3.2. Eksperimentalna tehnika pripreme uzoraka za snimanje difraktograma.....	251
12.4. Eksperimentalni rezultati	252
12.5. Analiza rezultata	254
12.5.1. Nepotpunost eksperimentalne tehnike	254
12.5.2. Fazna struktura vune.....	254
12.6. Umesto zaključaka	255
13. PROJEKTOVANJE TEKSTILIJ ZA OPREMANJE STANA I PROSTORA ZA BORAVAK	258
13.1. Opšte	258
13.2. Tekstilije za posteljinu i za tapaciranje nameštaja	258
13.2.1. Posteljina	258
13.2.2. Tekstilije za tapaciranje nameštaja.....	260
13.3. Zavese, zidne i podne obloge	261
13.3.1. Zavese i zidne obloge	261
13.3.2. Podne obloge.....	262
14. PROJEKTOVANJE TEKSTILIJ ZA TEHNIČKE UPOTREBE	270
14.1. Opšte	270
14.2. Tekstilije za filtraciju	270
14.3. Suva filtracija	270
14.3.1. Teorija suve filtracije	270
14.3.2. Teorija filtracije na jednom vlaknu.....	272
14.3.3. Nedostaci teorije filtracije na jednom vlaknu.....	273
14.3.4. Efekat gravitacije	274
14.3.5. Inercijalni efekat.....	275
14.3.6. Filtracija u strujnici.....	277
14.3.7. Efekat difuzije	277
14.3.8. Projektovanje tekstilije za suhu filtraciju	278
14.3.9. Poroznost.....	280
14.3.10. Zapremina.....	280
14.3.11. Otpor prema deformacijama.....	280
14.3.12. Cena filtera	280
14.3.13. Specifične osobine	282
14.4. Mokra filtracija	282
14.4.1. Područje mokre filtracije.....	282

14.4.2. Teorija mokre filtracije	282
14.4.3. Kvalitet filterskog medija.....	288
15. JAKŠIĆEVA TEORIJA FILTRACIJE NANOČESTICA	290
15.1. Uvod.....	290
15.2. Medicinska maska	290
15.2.1. Početno stanje medicinske maske pre upotrebe.....	290
15.2.2. Virus.....	291
15.2.3. Poroznost medicinskih maski	291
15.2.4. Uticaj višeslojne strukture maske na filtraciju.....	296
15.3. Novi pristup teoriji filtracije.....	297
15.3.1. Mehanizam protoka vazduha kroz medicinsku masku	297
15.3.2. Analiza fizičnog stanja parametara koji utiču na filtraciju.....	298
15.4. Numeričko modeliranje i ponašanja virusa u ravnoj cevi (pori)	299
15.4.1. Uticaj kretanja fluida na kretanje čestice u aksijalnom pravcu.....	302
15.4.2. Uticaj kretanja fluida na kretanje čestice u radialnom pravcu.....	303
15.5. Rasprava o mehanizmu filtracije u medicinskim maskama	309
15.5.1. Rezime filtracije u medicinskim maskama	309
15.5.2. Rezime o mehanizmu filtracije u medicinskim maskama	314
15.5.3. Rezime filtriranja prašine u cementarama	315
16. MULTI AKSIJALNE TKANINE.....	318
16.1. Jakšićev sistem izrade tetra aksijalne tkanine	318
16.1.2. Izotropnost tetra aksijalnih tkanina.....	321
16.1.3. Primeri uporebe tetra aksijalnih tkanina	324
16.2. Jakšićeva pet, šest i sedam aksijalna tkanina, za proizvodnju neprebojnih prsluka	327
17. TEKSTILIJE, KOJE SU NAMENJENE ZA ZAŠTITU OD BALISTIČKIH PROJEKTILA.....	333
17.1. Područja upotrebe.....	333
17.2. Karakteristike materijala za izradu zaštitne odeće.....	333
17.3. Matematička analiza prodiranja projektila	335
17.4. Uticaj otpornosti tekstilija na otpor prodiranju projektila.....	337
17.5. Neka moderna rešenja na području neprebojnih tkanina	342
17.5.1. Dalji razvoj tkanina za zaštitu od projektila.....	342
17.5.2. Materijal za proizvodnju tetraaksijalnih tkanina.....	343
17.5.3. Karakteristike tkanine, koja se sada upotrebljava za neprebojne prsluke	346
17.5.4. Prilagođenje konstrukcije tkanine optimalnim vrednosnim parametrima koji se zahtevaju za neprebojne prsluke.....	348
17.6. Osnovni načini prodiranja pri kidanju vlaknima ojačanih kompozita	355
17.6.1. Uvod.....	355
17.6.2. Mehanizam prodiranja i zaustavljanja projektila u neprebojnom prsluku.....	355
17.6.3. Jakšićev aproksimativni postupak određivanja potrebnog broja slojeva tkanine za 100 % zaštitu korisnika neprebojnog prsluka.....	356
17.7. Međusobna uporedna analiza upotrebljivosti 2-, 3-, 4-, 5-, 6- i 7- aksijalnih tkanina za izradu neprebojnih prsluka	359
17.7.1. Biaksijalna tkanina	359
17.7.2. Triaksijalna tkanina.....	359
17.7.3. Tetraaksijalna tkanina.....	359
17.7.4. Petaksijalna tkanina	359
17.7.5. Šestaksijalna tkanina	360
17.7.6. Sedamaksijalna tkanina	360
18. TEKSTILIJE ZA POSEBNE TEHNIČKE NAMENE	361
18.1. Ribarske i druge mreže [1].....	361
18.2. Tkanine za šatore [2].....	361
18.2.1. Opšte.....	361

18.2.2. Jačina i modul elastičnosti	361
18.2.3. Poroznost.....	362
18.2.4. Hidrofobnost (Vodoodbojnost)	363
18.2.5. Boja tkanine.....	363
18.2.6. Tkanine za cerade (prekrivače)	363
18.2.7. Tkanina za jedra.....	364
18.2.8. Transportne trake i pogonski remenovi.....	364
18.3. Padobrani	364
18.3.1. Opšte.....	364
18.3.2. Moderni padobrani [3].....	365
18.3.3. Teorija letenja [4].....	366
18.3.4. Teorija otvaranja padobrana [5].....	370
19. KONSTRUKCIJA TEKSTILIJA.....	385
19.1. Opšte.....	385
19.2. Izbor vlakana.....	385
19.2.1. Izbor vlakana za proizvodnju odeće.....	387
19.2.2. Izbor vlakana za opremanje prostora za boravljenje.....	388
19.2.3. Izbor vlakana za tehničke tekstilije	390
19.3. Konstrukcija pređe	393
19.3.1. Opšte.....	393
19.3.2. Konstrukcijske karakteristike pređa namenjenih za proizvodnju odeće	394
19.3.3. Konstrukcijske karakteristike pređa namenjenih za proizvodnju robe za opremanju prostora za boravljenje.....	396
19.3.4. Konstrukcijske karakteristike pređa namenjenih za tehničke tekstilije.....	397
19.4. Konstrukcija tkanina.....	398
19.4.1. Geometrijska struktura tkanina	399
19.4.2. Fizičko-mehaničke osobine tkanina	408
19.5. Konstrukcija pletenina	416
19.5.1. Geometrija pletenina	417
19.5.2. Fizičko-mehanička svojstva pletenina.....	421
19.6. Vlaknovine	425
19.6.1. Konstrukcija vlaknovina.....	425
19.6.2. Ispitivanje fizičko-mehaničkih osobina vlaknovina.....	427
20. OSNOVE SISTEMA BOJA	436
20.1. Opšte.....	436
20.2. Teorije mešanja bojene svetlosti i boja	437
20.2.1. Teorija mešanja obojene svetlosti.....	437
20.2.2. Pigmentna teorija mešanja boja.....	443
20.3. Modeli sistema boja	445
20.3.1. Nu-Hue Color Custom System.....	445
20.3.2. Munsellov sistem boja	446
20.3.3. Nemački sistem boja	450
20.3.4. Švedski prirodni sistem boja	451
20.3.5. Prikaz prostora boja objekta u regularnoj romboederskoj rešetki.....	457
20.4. Standardi boja i merna tehnika	460
20.4.1. Standardi boja.....	460
20.4.2. Tehnika merenja.....	461
20.5. Praktična upotreba teorija boja i sistema boja [15]	463
20.5.1. Sjaj	463
20.5.2. Upotreba teorije mešanja bojene svetlosti i pigmentne teorije mešanja boja.....	463
20.5.3. Efekat kompozicije boja.....	466
20.5.4. Bojenje tekstilija	471
21. NEKI POČECI ESTETIKE ODEĆE.....	479
21.1. Čovekovo telo kao polazište.....	479

21.2. Kultura.....	480
21.3. Likovna umetnost.....	482
21.4. Likovna umetnost kao oblik duhovne i materialne proizvodnje	484
21.5. Estetika.....	485
21.6. Oblikovanje i estetika u uslovima industrijske proizvodnje	489
21.7. Šta nam pokazuje odeća	493
21.8. Slikovni prilog.....	498

INDEKS SLIKA

Slika 1-1: Sistem čovek - odeća - okruženje	2
Slika 2-1: Šema vertikalne vrtložne difuzije kroz horizontalnu ravan [3]	10
Slika 2-2: Primer promene dnevne temperature u zavisnosti od visine vazdušnog sloja i dubine tla [2]	12
Slika 2-3: Dnevno variranje temperature tla u mesecu maju u Pavlovsku (Rusija) u zavisnosti od dubine tla i sata dana [1]	13
Slika 2-4: Godišnja promena temperature u Kaliningradu (Rusija) u zavisnosti od godišnjeg doba i dubine tla [4]	14
Slika 2-5: Promena temperature vazduha u zavisnosti od visine (od 0,1 do 6,4 m) i sata dana [4]	15
Slika 2-6: Promena temperature vazduha u zavisnosti od visine [5]	16
Slika 2-7: Raspodela gradijenta vlažnosti u tri sloja vazduha do visine 106,7 m [6]	17
Slika 2-8: Promena pritiska vodene pare u zavisnosti od visine vazdušnog sloja i sata dana u godini [7]	19
Slika 2-9: Toplotni pojasevi na Zemlji [10]	21
Slika 2-10: Variranja dnevnih temperatura i vazduha kao i relativne vlažnosti vazduha u delu Sahare [11]	21
Slika 2-11: Svetovna karta padavina [12]	22
Slika 3-1: Raspored temperature na površini kože i u jezgru gole osobe	44
Slika 3-2: Raspored temperature ($^{\circ}\text{C}$) na površini kože gole osobe u zoni ugodnosti	45
Slika 3-3: Promena temperature u zavisnosti od dubine na podlaktici (0 mm - temperatura na površini kože)	46
Slika 3-4: Promena temperature unutrašnje strane dlana i hrbatne strane dlana leve ruke u zavisnosti od vremena, pošto je bila u zamrzivaču (do 40 minuta) i pri sobnoj temperature (nakon 42 minute)	47
Slika 3-5: Promena temperature na nekim prstima leve ruke pokusne osobe u zavisnosti od temperature okruženja i vremena izloženosti toj temperaturi [40,41]	49
Slika 3-6: Promena temperature unutrašnje strane dlana i hrbatne strane dlana desne ruke u zavisnosti od vremena držanja dlana u zamrzivaču, i promene nakon nekoliko minuta na sobnoj temperaturi	50
Slika 3-7: Promene temperature na nekim prstima desne ruke u zavisnosti od vremena držanja šake u zamrzivaču i temperature okruženja	50
Slika 4-1: Povećanje brzine znojenja u zavisnosti od povećanja temperature okruženja [1]	60
Slika 4-2: Znojenje u slučaju brzog povećanja promene temperature okruženja [1]	62
Slika 4-3: Lučenje znoja za vreme teškog rada [1]	63
Slika 4-4: Brzina lučenja znoja u zavisnosti od vremena i intenziteta trčanja [1]	64
Slika 4-5: Uticaj koncentracije CO_2 u okruženju na brzinu lučenja znoja [1]	65
Slika 4-6: Promena brzine lučenja znoja sa dlanova (S_2) i prsa (S_1) u budnom stanju i tokom spavanja (S) na sobnoj temperaturi 29°C zimi [1]	65
Slika 4-7: Promena brzine znojenja sa površine prsa (S_1) i dlanova (S_2) prilikom prelaska u san. Prikazane su takođe promene temperature jezgra tela (T_0) i površine prsa (T_1) [1]	66
Slika 4-8: Uticaj pritiska tokom ležanja, na brzinu lučenja znoja [1]	67
Slika 4-9: Promena brzine znojenja na površini tela u zavisnosti od hlađenja desne ruke i smanjenja brzine kruženja krvi u njoj [1]	68
Slika 4-10: Uticaj promene brzine kruženja krvi na brzinu lučenja znoja [1]	68
Slika 4-11: Delovi isparenog znoja i znoja, koji se zadrži na površini kože, kao i znoja koji se sliva po koži kod pet osoba na različitoj relativnoj vlažnosti [1]	71
Slika 4-12: Maksimalna razlika između količine izlučenog znoja i u organizam unesene vode u posmatranom vremenskom intervalu [1]	73

Slika 4-13: Razlike brzine lučenja znoja [1] a) kao posledica treninga, b) kao posledica življenja u različitom podneblju.....	74
Slika 4-14: Zavisnost maksimalne brzine isparavanja znoja (g/min) od fiziološkog deficita nasićenja (Pa) i brzine vetra (m/s) [4]	78
Slika 5-1: Tradicionalna odeća Eskima (Inuita) [3]	83
Slika 5-2: Eskimsko zimsko boravište – iglu; a) nacrt; b) tlocrt	84
Slika 5-3: Unutrašnjost eskimskog iglua [4]	85
Slika 5-4: Žene iz plemena Neneta na takmičenju narodnih nošnji u Nadimu [5]	85
Slika 5-5: Prvobitni stanovnici Ognjene zemlje [6]	86
Slika 5-6: Nastup plesne grupe „Gubbi Gubbi” na festivalu Booin Gari [7]	86
Slika 5-7: Tradicionalna odeća u starom Egiptu [9]	88
Slika 5-8: Odeća u Mesopotamiji [10]	89
Slika 5-9: Tradicionalna odeća Beduina [11]	90
Slika 5-10: Tradicionalna odeća u Indoneziji: sarong i kebaja [12, 13]	91
Slika 5-11: Tradicionalna odeća Maja [14]	92
Slika 5-12: Šešir sa juga Kine i meksički sombrero [14, 15]	92
Slika 6-1: Uticaj brzine vetra na promenu ukupnog toplotnog otpora odeće i mirnog sloja vazduha na površini odeće i toplotnog otpora odeće	109
Slika 6-2: Zavisnost R_v od promera valjka odnosno kugle (sfere) r i debljine izolacijskog sloja na valjku odnosno kugli	115
Slika 6-3: Deo otpora s obzirom na ravni toplotni izolacijski sloj (R_v/R_r in R_k/R_r) u zavisnosti od odnosa debljine toplotnog izolacijskog sloja i vanjskog poluprečnika valjka ili kugle (d/R)	115
Slika 7-1: Prenos toplote kroz odeću i sloj mirnog vazduha na površini odeće.....	118
Slika 7-2: Zapreminske brzine protoka vazduha kroz tkanine u zavisnosti od pritiska [3]	123
Slika 7-3: Ilustracija zajedničkog prikaza zagrevavanja i hlađenja organizma te stanja ugodnosti	135
Slika 7-4: Zavisnost R_s od temperature i proizvedene toplote.....	140
Slika 7-5: Zavisnost R_s kompleta zaštitne odeće od brzine vetra	141
Slika 7-6: Mehanizam protoka toplote s površine kože u okruženje visokih temperatura; kada isparavanje znoja smanjuje temperaturu na površini kože, koja je niža od temperature okruženja, zbog čega se povećava vreme tolerancije	147
Slika 7-7: Ilustracija izračuna vremena tolerancije za osobu koja je obučena u našu zaštitnu odeću u okruženju koje ima temperaturu $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$	150
Slika 8-1: Grafički prikaz parametara jednačina (8.4) do (8.6)	154
Slika 8-2: Uticaj oblika pore među nitima osnove i potke na broj hidrauličnih pora u posmatranoj pori.....	157
Slika 8-3: Izgled testiranih uzoraka: a) - pamučna tkanina, i b) multifilamentna tkanina	158
Slika 8-4: Veoma gusta monofilamentna tkanina (uzorak c), povećanje: a) 63 puta i b) 190 puta	159
Slika 8-5: Veoma gusta monofilamentna tkanina (uzorak c) sa velikim uvećanjem; a) uvećanje 190 puta i b) 630 puta.....	159
Slika 8-6: Dijagram zavisnosti brzine protoka vazduha od razlike pritisaka za uzorak a)	165
Slika 8-7: Dijagram zavisnosti brzine protoka vazduha od razlike pritisaka za uzorak b)	165
Slika 8-8: Dijagram zavisnosti brzine protoka vazduha od razlike pritisaka za uzorak c)	166
Slika 8-9: Dijagram zavisnosti brzine protoka vazduha od razlike pritisaka za uzorak d)	166
Slika 8-10: Diagram raspodele pora u uzorku b)	167
Slika 8-11: Dijagram raspodele pora u uzorku a)	167
Slika 8-12: Diagram raspodele pora u uzorku c).....	167
Slika 8-13: Dijagram raspodele pora u uzorku d)	168
Slika 9-1: Zavisnost diferencijalne toplote absorpcije od relativne vlage kod celuloznih vlakana i vune; 1 - vuna, 2 - viskoza, 3 - pamuk, 4 - acetat	174

Slika 9-2: Osnovna šema merenja otpora protoku vodene pare	176
Slika 9-3: Grafička metoda određivanja otpora protoku vodene pare kroz posmatrani uzorak (vzorec in standardna tkanina-uzorak i standardna tkanina; standardna tkanina- standardna tkanina).....	177
Slika 9-4: Aparatura za merenje brzine protoka vodene pare kroz tekstilije	178
Slika 9-5: Ugao kvašenja na površini tkanine a) hidrofilna tkanina; b) hidrofobna tkanina	180
Slika 9-6: Razdvajanje vode od površine tkanine	182
Slika 9-7: Veličina ugla kvašenja u kapilari u zavisnosti od oblika meniskusa.....	184
Slika 9-8: Zavisnost brzine kvašenja vunene pređe od njene gustine [8] (čas močenja,sekund-vreme kvašenja,sekunda; gostota-gustina).....	185
Slika 9-9: Kvašenje tkanine, koja ima dlake na površini i postavljena je koso	188
Slika 9-10: Kvašenje tkanine, koja ima голу površinu.....	190
Slika 9-11: Kvašenje tkanine, koja ima kosmatu površinu	191
Slika 9-12: Ilustracija dvaju hidrofobnih idealiziranih tipova dlaka.....	192
Slika 9-13: Ispitivanje vodo-odbojnog efekta na šoperovom aparatu.....	192
Slika 9-14: Spray test	192
Slika 9-15: Posudice za montiranje primeraka uzorka:.....	193
Slika 9-16: Izgled Bundesmannovoga aparata:.....	193
Slika 10-1: Hofmanov model nastanka grudvica [1]	199
Slika 10-2: Albrehtov model nastanka grudvica [2]	200
Slika 10-3: Brand-Bohnfalkov kinetički model nastanka grudvica	200
Slika 10-4: Pojednostavljeni kinetički model mehanizma nastanka grudvica	203
Slika 10-5: Alternativni pojednostavljeni kinetički model mehanizma nastanka grudvica [5] .	203
Slika 10-6: Tipične krive formiranja dlačica kod različitih vrsta vlakana [5]	207
Slika 10-7: Krivolje toka sila - istežanje za neka vlakna	208
Slika 10-8: Zavisnost broja grudvica na jedinicu površine od broja ciklusa (obrtaja) aparata za određivanje koncentracije grudvica [5].....	209
Slika 10-9: Krivolje pilinga neoslabljenog poliesterskog vlakna i u određenoj meri oslabljenih poliesterskih vlakana [5]	209
Slika 10-10: Uticaj dužine vlakana na količinu grudvica na tkanini iz poliesterskih vlakana...	210
Slika 10-11: Promena broja grudvica u zavisnosti od broja obrtaja aparata za probu i finoće vlakana na površini pletenine, koja je pletena na okruglim mašinama za pletenje [6].....	211
Slika 10-12: Uticaj oblika poprečnog preseka i broja obrtaja (vremena delovanja) aparata za testiranje na količinu grudvica na površini tkanine od 100 % poliestera [6]	212
Slika 10-13: Zavisnost broja grudvica na jedinici površine (poliesterske tkanine) od broja obrtaja bubnja za testiranje i promene broja zavoja jednožične pređe.....	214
Slika 10-14: Zavisnost broja grudvica (na površini poliesterske tkanine) od broja obrtaja bubnja za testiranje i prepletaja [6]	216
Slika 10-15: Zavisnost broja grudvica od stepena valjanja vunениh tkanina (broja obrtaja bubnja za testiranje) i sirovinskog sastava tkanine	216
Slika 10-16: Zavisnost broja grudvica od vremena testiranja (broja obrtaja bubnja za testiranje) i sirovinskog sastava tkanine [7]	217
Slika 10-17: Zavisnost broja grudvica od vremena testiranja (broja obrtaja bubnja za testiranje) i sirovinskog sastava tkanine [7]	218
Slika 10-18: Zavisnost broja grudvica od vremena testiranja (broja obrtaja bubnja za testiranje) i sirovinskog sastava tkanina [7]	218
Slika 10-19: Zavisnost broja čvorića od vremena testiranja (broja obrtaja bubnja za testiranje) i surovinskog sastava tkanina [7]	219
Slika 10-20: Zavisnost broja grudvica od vremena testiranja (broja obrtaja bubnja za testiranje) i sirovinskog sastava tkanina [7]	220
Slika 11-1: Jakšičev model transformacije dužine vunene pređe u tkanini	230

Slika 11-2: Izgled površine vunene tkanine sa napetim nitima, koje opisuje model na slici 11-1	231
Slika 11-3: Određivanje položaja pojedinih vunenih vlakana na poprečnom prerezu pređe.....	232
Slika 11-4: Prikaz ukrivljenja pređe zbog napetosti u vunenom vlaknu.....	234
Slika 11-5: Izgled površine analizirane tkanine	236
Slika 11-6: Izgled nagrbačene tkanine kao posledica napetih niti u tkanini	238
Slika 11-7: Ekstremni primeri položaja vunenih vlakana u poprečnom preseku analizirane pređe	241
Slika 12-1: Promene konformacije makromolekula za vreme rasta čovečje dlake [4].....	249
Slika 12-2: Uticaj temperature i koncentracije u fibroinskom filmu, na konformaciju fibroina prirodne svile.....	250
Slika 12-3: Ilustracija metode za određivanje stepena kristaliničnosti u vunenem vlaknu.....	253
Slika 12-4: Nosač snopa paralelizovanih vunenih vlakana.....	253
Slika 14-1: Mehanizam filtracije na izolovanom vlaknu u filterskom mediju [2].....	271
Slika 14-2: Osnova Kuvabarajeve teorije protočnog polja	275
Slika 14-3: Efekat filtracije u zavisnosti od K i rp/rf za $Re = 0,2$	277
Slika 14-4: Efekat filtracije čestica iz strujnica na površini izolovanog vlakna [4].....	279
Slika 14-5: Modeli mehanizama filtracije čvrstih čestica iz tekuće faze u unutrašnjosti medija	286
Slika 15-1: Kompjuterska rekonstrukcija rota-virusa, koja je bazirana na većem broju elektronskih mikrografova [7].....	291
Slika 15-2: Srednji sloj vlaknovine u maski povećan 200 puta	292
Slika 15-3: Srednji sloj medicinske maske uvećan 2.200 puta	293
Slika 15-4: Model protoka strujnica vazduha kroz vlaknovinu u procesu udisanja i izdisanja vazduha.....	294
Slika 15-5: Pore (bez tekućine) i hidraulična pora iz koje je istisnuta tekućina, osim u uglovima	297
Slika 15-6: 2D model virusa u pori	300
Slika 15-7: CFD mreža. Površina najvećeg virusa je na toj slici povećana 10 puta radi ilustracije	301
Slika 15-8: Konture brzine. Površina najvećeg virusa je na toj slici povećana 10 puta radi ilustracije	301
Slika 15-9: Brzina virusa u zavisnosti od vremena	303
Slika 15-10: Uticaj sila toka fluida na najveći virus	303
Slika 15-11: Opis uticaja toka fluida na moment velikog virusa, kao funkcija rotacije istog ...	305
Slika 15-12: Obodna brzina virusa kao funkcija vremena	306
Slika 15-13: Radijalna sila, koja prati pozicije virusa od centralne linije kanala naviše za mali virus.....	307
Slika 15-14: Radijalna sila kod pozicija virusa od centralne linije kanala naviše za veliki virus	308
Slika 15-15: Radijalna sila kao funkcija vremena.....	308
Slika 15-16: Radijalna putanja virusa	309
Slika 15-17: Ilustracija virusa u strujnici vazduha, koji se kreće kroz kanal	312
Slika 15-18: Udisanje - ilustracija kretanja malih čestica, koje podležu Braunovom kretanju u mirnom vazduhu.....	313
Slika 15-19: Izdisaj - ilustrovano je kretanje malih čestica	314
Slika 15-20: Stanje između udisanja i izdisanja, kada u kanalima vazduh miruje.....	314
Slika 15-21: Filtracija u Cementari Trbovlje kroz vreće, koje su izrađene od iglane vlakovnine:	315
Slika 16-1: Tetra aksialna tkanina, koja je bila iztkana na uzorčnem razboju za tkanje tetra-aksialnih tkanina, koji je konstruisan na Oddelku za tekstilstvo NTF Univerze u Ljubljani.....	320

Slika 16-2: Dijagram deformacije tetra aksialne tkanine u smeru ojačane ortogonalne osnove, koja ima dvaput veću gustinu a) i u proizvoljnom smeru b).....	322
Slika 16-3: Primer upotrebe anizotropne ojačene tetra aksijalne tkanine kao armature prilikom nalivanja betonskog nosača [1]	326
Slika 16-4: Unutrašnji deo seta sedam aksialne tkanine	329
Slika 16-5: Umutrašnji deo seta sedam aksialne tkanine plus gornja normalna osnova na licu tkanine (donja normalna osnova na poledini tkanine i potka nisu pokazane).....	330
Slika 16-6: Potpuni sastav sedam aksialne tkanine; ne vidi se normalna osnova na poledini tkanine	331
Slika 16-7: Potkin presek 7 aksialne tkanine	332
Slika 17-1: Granične brzine projektila, na kojima projektil ne probija prsluk u zavisnosti od mase prsluka i upotrebljene vrste vlakana.....	334
Slika 17-2: Idealizirani model deformacije bi-aksijalne tkanine zbog udarca projektila.....	336
Slika 17-3: Poređenje izračunatih i eksperimentalnih rezultata deformacije jednoslojne tkanine koja je izrađena od Kevlara 29 u trenutku, kada je projektil probio tkaninu	338
Slika 17-4: Raspored deformacije u zavisnosti od vrste vlakana i udaljenosti od tačke udara projektila na površinu tkanine brzinom 400 m/s kod različitih vremena merenja	339
Slika 17-5: Uticaj početne brzine projektila (brzina u trenutku udara o površinu tkanine) na promenu deformacije na jednoslojnoj najlonskoj tkanini u tački udara.....	339
Slika 17-6: Relativno smanjenje početne brzine projektila (400 m/s) u zavisnosti od vrste tkanine i vremena prodiranja u μ s	340
Slika 17-7: Energija, koju absorbuje Kevlar 29 nakon sudara sa projektilom (masa 1,10 g), koji ima brzinu 400 m/s.....	340
Slika 17-8: Poređenje absorbovane energije projektila kod posmatranih vrsta tkanina u zavisnosti od vremena, koje proteče nakon sudara (masa projektila 1,10 g, sudar pri brzini projektila 400 m/s)	341
Slika 17-9: Zavisnost veličine deformacije (istezanja) u tački sudara od vrste vlakana i od vremena nakon sudara (masa izstrelka 1,10 g, brzina prilikom sudara 400 m/s)	341
Slika 17-10: Diagram deformacije tri-aksialne tkanine	344
Slika 17-11: Dijagram deformacije tetra aksialne tkanine	345
Slika 17-12: Prodiranje tačkastog projektila maloga prečnika.....	349
Slika 17-13: Urez (usecanje)- prodiranje reznih (oštrih) predmeta.....	349
Slika 17-14: Uticaj projektila većeg prečnika	350
Slika 17-15: Poređenje dela apsorbovane energije između Kevlara i Spectra.....	350
Slika 17-16: Kontinuirani prikaz apsorpcije energije u slučaju sfernog vrha projektila.....	351
Slika 17-17: Prodiranje projektila kroz gustu bi-aksialnu tkaninu u prepletaju platno [4]	351
Slika 17-18: Japanska tetra aksialna tkanina, koja je bila izatkana na ručnem razboju.....	352
Slika 17-19: Japanska tetra aksialna tkanina, koja je tkana na mehaničnem razboju za tkanje tetra aksialnih tkanina [5].....	352
Slika 17-20: Prepletaj tetra aksialne tkanine, koja bi bila primerna za izradu tkanine namenjene za izradu proti probojnih prsluka. Problem bi mogao biti eventualni odziv niti, prilikom udara projektila na površinu prsluka	352
Slika 17-21: Prepletaj tetra aksialne tkanine, koja bi bila primerna za tkanino namenjeno za izradu neprobojnih prsluka i takođe neprobojnih ploča. Razmik niti bi bio manji kot u pređašnjem primeru (slika 17-20)	352
Slika 17-22: Prepletaj tetra aksialne tkanine, koja bi, bez S in Z osnove bio analogen 8-veznem atlasu kod bi-aksialni tkanini; bio bi primeren za izradu proti prebojnih ploča.....	353
Slika 17-23: Vojnik v potpunoj zaštitnoj opremi [23]	353
Slika 17-24: Vojnik u neprobojnom prsluku i sa zaštitnim šlemom [4]	353
Slika 17-25: Odvisnost broja žrtava od stepena zaštite [4]	354
Slika 17-26: "Ratnik" - ruski komplet zaštitnoga odela [6].....	354
Slika 18-1: Padobran PS-11 iz fabrike „Kluz" (Beograd).....	367

Slika 18-2: Uzgon, koji nastaje zbog oblika profila (preseka) avionskog krila [2]	368
Slika 18-3: Položaj vazdušnih strujnica u neposrednoj blizini omotača dugog valjka	368
Slika 18-4: Promene brzine strujnica u neposrednoj blizini mirujućeg dugog valjka	369
Slika 18-5: Magnusov efekat (dizanje - uzgon)	369
Slika 18-6: Faze otvaranja padobrana	371
Slika 18-7: Nekoliko važnih parametara idealizovanog oblika padobrana u trenutku otvaranja	371
Slika 18-8: Geometrija kupole prilikom otvaranja padobrana	379
Slika 18-9: Brzina padobranca u fazi otvaranja padobrana.....	381
Slika 18-10: Promena maksimalne sile koja deluje na padobranca, u zavisnosti od početne brzine padanja	381
Slika 19-1: Svetska potrošnja tekstilnih vlakana i trendovi tržišnog učešća pamuka u periodu 1960-2014.....	386
Slika 19-2: Prečnik niti i razdaljina između niti osnove ili potke	401
Slika 19-3: Ilustracija vrednosti faktora pokrivanja	401
Slika 19-4: Presek kvadrataste tkanine, koja ima teoretski maksimalnu gustinu pri okruglom poprečnom preseku niti	403
Slika 19-5: Peircov geometrijski model tkanine u prepletaju platno [3].....	403
Slika 19-6: Šema delovanja sila na niti osnove i potke prilikom opterećenja i rastezanja tkanine	410
Slika 19-7: Šema položaja ispitivanog uzorka u procesu naknadnog kidanja	412
Slika 19-8: Tok dijagrama opterećenje-istezanje u procesu naknadnog kidanja	413
Slika 19-9: Proces naknadnog kidanja tkanine	414
Slika 19-10: Šema delovanja sila na niti osnove i potke kod metode ispitivanja otpora tkanine prema naknadnom kidanju	416
Slika 19-11: Delovanje reakcijskih sila F na uvijenu nit	418
Slika 19-12: Mundenov model petlje [9]	418
Slika 19-13: Šematski prikaz strukture osnovne triko pletenine.....	420
Slika 19-14: Šematski prikaz strukture interlock pletenine	420
Slika 19-15: Model glatkog kulirnog pletiva	422
Slika 19-16: Petlje pod biaksijalnim opterećenjem.....	422
Slika 19-17: Promena parametra c' u zavisnosti od promene vrednosti odnosa s_1/s_2 , jednačina (19.61)	424
Slika 19-18: Promena parametra w' u zavisnosti od promene parametra c' i vrednosti parametra d' (jednačina (19.62))	425
Slika 19-19: Način ispitivanja raspućne jačine kod vlaknovina	427
Slika 19-20: Način učvršćenja uzorka i njegove dimenzije (mere) kod ispitivanja otpora na raskidanje (trganje).....	428
Slika 19-21: Način ispitivanja naknadnog trganja kod vlaknovina i dimenzije uzorka.....	429
Slika 19-22: Aparatura za određivanje vrednosti koeficijenta permeabilnosti kV	431
Slika 19-23: Aparatura za određivanje vrednosti koeficijenta permeabilnosti kH (specifične brzine protoka uzduž vlaknovine)	431
Slika 19-24: Promena vrednosti nekih parametara filtracije u zavisnosti od pritiska kod vlaknovine Polyfert TS, koju proizvodi firma „Chemie Linz“ GA	433
Slika 19-25: Način funkcionisanja aparature za određivanje otpora vlaknovine protiv prodiranja	434
Slika 19-26: Šema elektronske aparature za određivanje otpora vlaknovine protiv prodiranja.	434
Slika 19-27: Primer toka promene rezultata (snaga, energija i rastezanje) za vreme ispitivanja otpora vlaknovine protiv prodiranja koje ustanovljavamo elektronskom aparaturom.....	434
Slika 20-1: Relativna spektralna osetljivost čepića 1 i štapića 2 u zavisnosti od talasne dužine svetlosti.....	437
Slika 20-2: Teorija mešanja bojene svetlosti.....	438

Slika 20-3: Osnovna ravan i neutralna boja N u prostoru boja, koji je ograničen sa tri stimulatora boja R, M i Z	439
Slika 20-5: Hromatski dijagram	440
Slika 20-4: Sabiranje dveju mešavina boja S1 i S2 iz kojih rezultira mešavina boja S0	440
Slika 20-6: Primer hromatskog dijagrama po metodi, koju koristi CIE.....	441
Slika 20-7: Hromatski dijagram x, y, sa spektralnim poljem (unutar granične linije) i ljubičastom linijom dole desno (vidi sliku 20-6)	441
Slika 20-8: Raspodela relativne spektralne jačine sevanja.....	443
Slika 20-9: Raspodela spektralne jačine izvora D55, D65 in D75 po CIE standardu.....	443
Slika 20-10: Pigmentna teorija mešanja boja	445
Slika 20-11: Telo boje, u kome su sve mape i u mapama sve karte boja, koje.....	446
Slika 20-12: Geometrijski model tela boja Munselovoga sistema boja	447
Slika 20-13: Krug boja kod Munselovog sistema boja	448
Slika 20-14: Presek boja kod Munselovog sistema boja.....	448
Slika 20-15: Struktura tela boje Munselovog sistema boja.....	449
Slika 20-16: Prikaz preseka 5/ Munselovog sistema boja na CIE hromatskom dijagramu	449
Slika 20-17: Geometrijski model tela boja nemačkog sistema boja	450
Slika 20-18: Prikaz nemačkog sistema boja po CIE x, y hromatskom dijagramu	451
Slika 20-19: Geometrijski model švedskog prirodnog sistema boja.....	452
Slika 20-20: Krug boja kod švedskog prirodnog sistema boja.....	452
Slika 20-21: Telo boja švedskog prirodnog sistema boja	453
Slika 20-22: Preseci boja za osnovne boje	454
Slika 20-23: Prikaz svetline boje na preseku	455
Slika 20-24: Prikaz jačine boje na preseku boja	455
Slika 20-25: Prikaz čistoće boje na preseku boja.....	455
Slika 20-26: Prikaz nasićenosti boje na preseku boja	455
Slika 20-27: Određivanje položaja boje u telu boja	456
Slika 20-28: Identifikacija boja	456
Slika 20-29: Identitet boja	457
Slika 20-30: Indiferentnost boja	457
Slika 20-31: Polaritet boja.....	457
Slika 20-32: Kubični oktaedar kao osnovno telo za tvorbu prostora boja u regularnoj romboedarskoj rešetki	459
Slika 20-33: Postupak konstrukcije kolekcije etalona boja, koji su razvrstani na osnovu regularne romboedarske rešetke.....	460
Slika 20-34: Sistemi mešana boja	464
Slika 20-35: Položaj boja u krugu boja, koji se podudara sa teorijom mešanja bojene svetlosti (crvena, zelena i plava su primarne boje).....	465
Slika 20-36: Položaj boja u krugu boja, koji se podudara sa pigmentnom teorijom mešanja ...	465
Slika 20-37: Modifikacije prugastih i kariranih uzoraka boja.....	476
Slika 20-38: Relativni intenziteti i udeli pojedinih boja u prugama boja obojenog uzorka.....	477
Slika 21-1: Shema 1 - Struktura odnosa između čoveka i odeće	479
Slika 21-2: Shema odnosa pojmovi-stvarnost-forma izražavanja.....	487
Slika 21-3: Tetoviranje tela	498
Slika 21-4: Kindženje tela	498
Slika 21-5: Tradicionalna odeća muslimana in muslimanki	499
Slika 21-6: Istorija ženskih kupaćih kostima od rimskog doba do danas	499
Slika 21-7: Ideali lepote sredinom 20. veka	500
Slika 21-8: Ženska moda 1907 – 2020.....	502
Slika 21-9: Kreiranje tela pomoću tkanine.....	503
Slika 21-10: Moda na dvoru francuskog kralja Luja 14.....	503
Slika 21-11: Nošnje iz druge polovine devetnaestog veka	504

Slika 21-12: Pariske plesne haljine iz 1830	504
Slika 21-13: Mini suknja dolazi	505
Slika 21-14: Moda posle 2. svetskog rata	505
Slika 21-15: Maksi kaputa za žene (a) ispod kojeg su se nosile mini suknje i vruće -pantalone (hot pants) (b).....	506
Slika 21-16: Muška odeća suštinski se nije promenila od Francuske revolucije na ovamo	506
Slika 21-17: “Farmerice” su večite	507

INDEKS TABELA

Tabela 2-1: Dubine dnevnog i godišnjeg variranja temperature [2]	8
Tabela 2-2: Okvirne vrednosti koeficijena toplotne prevodnosti λ i termičke difuzije [2]	9
Tabela 2-3: Vrednost nekih parametara kapi kiše različitih intenziteta (8)	19
Tabela 2-4: Spisak simbola	24
Tabela 3-1: Zavisnost proizvodnje toplote od vrste aktivnosti osobe	27
Tabela 3-2: Proizvodnja toplote tokom spavanja u zavisnosti od starosti i pola subjekta [3]	28
Tabela 3-3: Topografija emitovanja toplote sa površine pojedinih delova tela odevenog muškarca u zavisnosti od stanja organizma [4,5]	28
Tabela 3-4: Procentni udeo emitovanja toplote sa površine pojedinih delova tela muškaraca i žena pod određenim uslovima [5]	29
Tabela 3-5: Zavisnot proizvodnje toplote (energije) osobe, koja je obučena u terensku odeću, od kvaliteta puta [6]	30
Tabela 3-6: Zavisnost proizvodnje toplote od brzine kretanja i opterećenja [6]	30
Tabela 3-7: Zavisnost proizvodnje toplote od kosine, brzine uspona i opterećenja [6]	30
Tabela 3-8: Zavisnost osećanja osobe i vlažnosti kože od temperature površine kože čela [13]	35
Tabela 3-9: Temperatura kože na pojedinim delovima tela u zavisnosti od temperature okruženja	36
Tabela 3-10: Parametri i konstante	58
Tabela 4-1: Prosečne koncentracije supstanci u znoju i krvnoj plazmi (%) [1]	70
Tabela 4-2: Gubici i uzimanje vode pijenjem [1]	72
Tabela 4-3: Količina isparenog znoja ($g/1,65 m^2 \cdot min$) u zavisnosti od fiziološkog deficita nasićenja ($p_1 - p_2$) u Pa i brzine vetra, m/s [4]	76
Tabela 4-4: Parcijalni pritisak vodene pare u Pa, u zavisnosti od temperature vazduha T_1 i relativne vlažnosti vazduha 30 do 100 % [4]	77
Tabela 4-5: Zavisnost brzine isparavanja vode kroz disajne organe i površinu kože od temperature vazduha i njegove relativne vlažnosti za vreme mirovanja osobe [4]	80
Tabela 4-6: Vrednost koeficijena multiple linearne krive (jednačina (4.6) i koeficijena korelacije zavisnosti brzine isparavanja od temperature i relativne vlažnosti vazduha [4]	80
Tabela 6-1: Uticaj količine vode i vodoodbojne impregnacije na promenu vrednosti koeficijenta toplotne provodnosti u vunenoj češljanoj tkanini za muška odela (f je % relativne vlage u vazduhu) [2]	107
Tabela 6-2: Vrednost koeficijena linearne regresijske krive (jednačina (6.8) u zavisnosti od promene vrednosti koeficijenta toplotne provodnosti od % relativne vlažnosti vazduha (r je koeficijent korelacije) [2]	108
Tabela 6-3: Vrednost koeficijena linearne regresijske krive (jednačina (6.8)) u zavisnosti od promene vrednosti koeficijenta toplotne prevodnosti, koji se menja u zavisnosti od sadržaja vode u uzorku (0 % do 100 %); r je koeficijent korelacije [2]	108
Tabela 6-4: Uticaj brzine vetra na ukupni otpor odeće provođenju toplote [3]	109
Tabela 7-1: Poređenje vrednosti R_s , izračunatih pomoću jednačine (7.8), sa eksperimentalno izmerenim vrednostima tabela 6-4 (uzet u obzir koeficijent a) (u tabeli 7-2 pretpostavili smo potpunu skladnost kod brzine vetra 6,3 m/s; odstupanje je $\pm 2,4$ %)	125
Tabela 7-2: Poređenje toplotnih otpora koji su eksperimentalno izmereni na američkoj polarnoj uniformi sa vrednostima izračunatim pomoću modifikovane jednačine (7.8), ($b = 1$)	126
Tabela 7-3: Vrednosti koeficijena toplotne provodljivosti i sadržaja vlage u pojedinim slojevima odeće u standardnoj atmosferi i debljina pojedinih slojeva	136
Tabela 7-4: Vrednosti nekih značajnijih parametara pozornosti pojedinih slojeva odeće	136
Tabela 7-5: Vreme tolerancije u satima, za komplet zaštitne odeće, u zavisnosti od temperature okruženja i brzine vetra pri proizvodnji toplote Q_1 , osobe, koja iznosi 600 kJ/h	148
Tabela 8-1: Tkanine koje su upotrebljene za testiranje metode	160
Tabela 8-2: Uzorak a) - pamučna tkanina	161

Tabela 8-3: Uzorak b)- monofilamentna tkanina	162
Tabela 8-4: Uzorak c) - gusta multifilamentna tkanina.....	163
Tabela 8-5: Uzorak d) – veoma gusta monofilamenta tkanina	164
Tabela 8-6: Vrednosti parametara poroznosti testnih tkanina.....	168
Tabela 8-7: Rezultati merenja dimenzija pedeset pora na fotografijama uzorka c), koje su bile fotografisane na scanning elektronskom mikroskopu na uvećanju do 640-puta	170
Tabela 11-1: Prosečna udaljenost vunениh vlakana od centralne ose pređe	239
Tabela 11-2: Prosečne vrednosti udaljenosti vunениh vlakana od ose jednožične ili končane pređe	240
Tabela 12-1: Promene stepena kristaliničnosti vune u zavisnosti od % istezanja uz pretpostavku da je u ne-rastegnutoj vuni Linkoln deo alfa kristalinične faze 0,4 (ili 40 %) i deo beta kristalinične faze 0,172 (ili 17,2 %) [14]	256
Tabela 13-1: Naboj, koji nastane kod osobe prilikom njenog hodanja po tepihu [18]	268
Tabela 15-1: Poređenje izabranih fizičkih parametara vlakana, koja su upotrebljena za slojeve vlaknovina iz kojih je proizvedena medicinska maska	294
Tabela 15-2: Parametri poroznosti za sva tri pojedinačna sloja i maske kao celine (mereni Jakšićevom metodom određivanja poroznosti tekstilija); površina uzoraka je u cm ² ; tekućina u porama je n-butanol.....	295
Tabela 15-3: Parametri poroznosti maske, za sve tri vlaknovine zajedno, (mereni Jakšićevom metodom određivanja broja pora u veličinskim intervalima)	295
Tabela 17-1: Vrednosti nekih parametara kvaliteta različitih vrsta vlakana, koja se koriste za zaštitu od projektila	335
Tabela 17-2: Poređenje probojnosti projektila kroz štitove iz različitih materiala	335
Tabela 17-3: Neki parametri kvaliteta ispitanih tkanina	342
Tabela 17-4: Probojna jačina guste tkanine, tkane u prepletaju platno.....	348
Tabela 18-1: Vrednosti parametara kvaliteta tkanina, namenjenih za izradu padobrana (prepletaj tkanine je kombinacija platna i ripsa) [7].....	383
Tabela 19-1: Granične i neke međuvrednosti H (r = poluprečnik niti)	404
Tabela 19-2: Međusobna zavisnost vrednosti bezdimenzionalnih parametara petlje na različitim uglovima.....	420
Tabela 20-1: Hromatske koordinate spektralnih stimulatora CIE iz 1931 godine.....	442
Tabela 20-2: Klasifikacija boja	444
Tabela 20-3: Vreme testiranja postojanosti boja na svetlost zavisno od stepena postojanosti ..	462
Tabela 20-4: Modifikacija boja	466
Tabela 20-5: Primeri sastavljenih redosleda boja	473
Tabela 20-6: Primeri gradiranih bojenih uzoraka	474

1. UVOD

Čovek u svojoj prvoj domovini, Centralnoj Africi, nije imao potrebe za odećom. Postepeno je došao u područja u kojima je podneblje bilo neugodnije. Usled toga je njegov sledeći korak bila upotreba životinjskih koža za zaštitu od hladnog okruženja. Kao lovac, na raspolaganju je imao kože koje je trebalo štaviti i posle toga sašiti. To je u tadašnjim vremenima bila „visoka tehnologija“. Kada nije bilo dovoljno koža, morao se pretvoriti u pravog tekstilca. Pri tome se ugledao na pauke i posmatrao njihov rad pri „pletanju“ mreže. Čovek je, očigledno, bio intelektualno sposoban za posmatranje takvih događaja u prirodi i njihovu primenu u realnom životu.

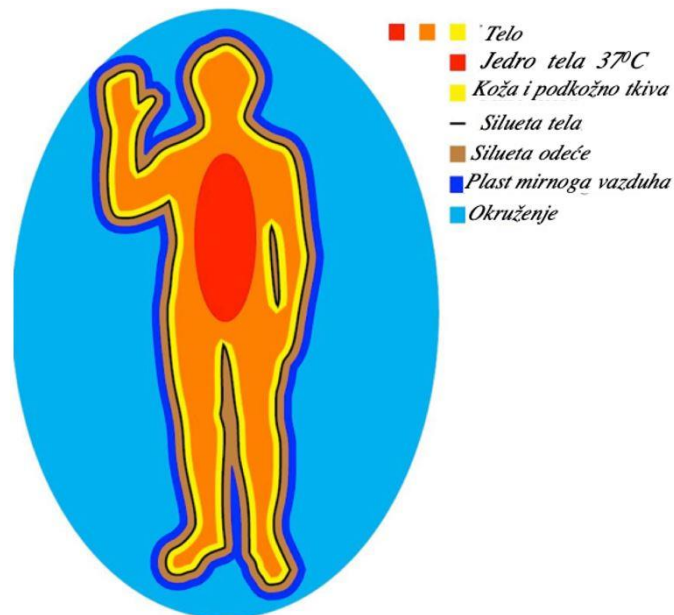
Pre više od 4000 godina nailazimo na upotrebu vunениh tkanina za izradu odeće. Dugo vremena je izrada tekstilnih proizvoda bila ručna i veoma jednostavna. Postepeno se povećavao broj upotrebljivih tekstilnih sirovina (vuna, pamuk, stabljična vlakna). Konačno je u Evropu donesena i prirodna svila, koja je za Kinu bila strateška sirovina. Prerada tih sirovina je zahtevala samo spretne ruke proizvođača. Usled toga, izrada tekstilnih proizvoda spada među prve proizvodne delatnosti. Zbog jednostavnosti ručne izrade tekstilija, u Kraljevini Jugoslaviji, na primer, po selima su izrađivali odeću kao i posteljinu ručno, po staroj tehnologiji, iako su već bili na raspolaganju proizvodi tekstilne industrije. Selo je, dakle, u pogledu izrade tekstila bilo samodovoljno. Tekstilna industrija toga vremena je u većini faza proizvodnje primenjivala „prastaru tehnologiju“.

Savremena tekstilna industrija je daleko od ruketvorina. Isto kao i sve druge prerađivačke industrijske grane, razvija se pomoću inovacija na području mašinske opreme, sirovina i tehnologije, što sve omogućava proizvodnju sa visokom dodatom vrednošću. Tekstil se upotrebljava kao kompozit u procesu izrade supersoničnih aviona, raketa, zaštitnih kompozita na tenkovima, za neprobojnu odeću vojske i policije, za filter medije kod filtracije gasova u industriji i slično, zaštitu obala reka, potoka itd. To nije moguće dostići bez nauke i naučnog pristupa. Namena ovog rada je upravo naučna obrada proizvodnje i upotrebe tekstilnih proizvoda.

U ovom uvodu ukazaćemo na složenost nekih problema koji su obrađeni u tom udžbeniku. Na slici 1-1 šematski je prikazano telo čoveka i slojevi koji ga okružuju. Čovečje telo je veoma kompleksno. Naravno, nećemo ga obrađivati detaljno. To je zadatak medicine. Za tekstilca su važni jezgro tela i omotač tela, odnosno koža i potkožno tkivo. Zbog metabolizma, telo proizvodi određenu količinu toplote, pod određenim uslovima. Telo može biti u zoni ugodnosti, kada je temperatura jezgra 37°C , a površina tela prosečno 33°C . Ako su te temperature niže, kažemo da se telo hladi. Ako su pak više, kažemo da se telo pregrejava. Proizvodnja toplote kod zdravog čoveka zavisi, pre svega, od vrste i intenziteta aktivnosti. Proizvodnja i gubici toplote u okruženju moraju biti uravnoteženi.

Gubici toplote se mogu povećati zbog promene stanja okruženja kao što su npr. promena temperature okruženja, promena brzine vetra, padavine i drugo. Ukoliko se temperature okruženja povećaju, gubitak toplote se smanjuje. Da bismo unapred mogli predvideti takva stanja, moramo imati na raspolaganju metode pomoću kojih možemo izračunati potreban broj slojeva odeće da bi se telo subjekta vratilo u zonu ugodnosti.

Zanimljivo je iskustvo iz proučavanja uticaja brzine vetra na termoizolacijsku vrednost odeće. Ovaj problem je 70-ih godina prošlog stoleća izučavan na primeru polarne uniforme vojske SAD, koju su testirali u vojnoj bazi na Grenlandu.



Slika 1-1: Sistem čovek - odeća - okruženje

Odstupanje eksperimentalnih (izmerenih) rezultata od teoretskih je bilo čak do 60 %, kod brzine vetra 10,7 m/s. To odstupanje je pripisano protoku vazduha kroz odeću, što je potpuno tačno. Metoda, kojom bi se dokazali ti gubici, nije razvijena. Odgovarajuću metodu smo razvili na osnovu naših vlastitih istraživanja. Kod naše metode [1] odstupanja su samo +/-2,5 %. Ovaj slučaj pokazuje da tekstil može biti pravi izazov, i te kako zanimljiv.

Važno je takođe izračunati vreme tolerantnosti, odnosno koliko vremena čovek može provesti u određenom okruženju i određenom sastavu odeće da ne dođe u opasnost, pre svega, od pothlađivanja. Kao rezultat toga može nastupiti čak i smrt. Jednačina koja opisuje vreme tolerantnosti (jednačina (7.31)) veoma je kompleksna. Ona sadrži sve parametre koji utiču na vreme tolerantnosti. Iz nje se takođe vidi da je, pored znanja iz više različitih oblasti, potrebno imati i intuiciju kako da se to sve skupa objedini u celinu koja će se, na kraju, podudarati sa realnošću.

Takođe je zanimljiva teorija fazne strukture vune. Suva vuna je veoma dobar izolator za zaštitu tela od pothlađivanja. Počela se upotrebljavati pre mnogo hiljada godina. Prvi pokušaj objašnjenja strukture vune je 1931. godine razvio W. T. Astbury [2]. Razvio je hipotezu pod nazivom „ α - β transformacija”. Hipoteza je bila pogrešna, što je i normalno. Tada još nije bila otkrivena DNK i α spiralne makromolekule u vuni. Novu teoriju smo razvili pre više od dvadeset godina i 1996. godine je objavili na međunarodnoj naučnoj konferenciji o vuni [3]. Domaćoj javnosti je bio predstavljen tri godine ranije [4].

Proizvodnja i upotreba hemijskih vlakana i tekstilnih proizvoda uopšte, postala je veoma složena. To važi, kako za tekstilije namenjene direktno čoveku (odeća, posteljina i slično), tako i za tehničke tekstilije. Kod prvih, moramo razumeti i veoma dobro poznavati sistem čovek - odeća - okruženje,

što će nam pomoći da čoveku omogućimo prebivanje u zoni ugodnosti i u veoma neprijatnom okruženju.

Sa tehničkim tekstilijama rešavamo druge probleme. Ako, na primer, proizvodimo tkaninu za padobrane, ili same padobrane, moramo znati masu padobranca, sile koje deluju na padobran, brzinu padanja, rezultantu horizontalnog i vertikalnog kretanja, brzinu vetra i njegov uticaj na kretanje padobrana, poroznost tkanine iz koje je izrađen padobran i drugo. Upravo poroznost padobrana ima uticaj na brzinu otvaranja i padanja padobrana. Zbog toga je važno da znamo količinu vazduha koji prolazi kroz pore u tkanini, i uticaj toga na brzinu padanja padobrana. S obzirom na to da nijedna od postojećih metoda nije bila odgovarajuća za merenje poroznosti na tkaninama, razvili smo *Metodu za merenje broja, veličine i raspoređenosti pora u tekstilijama*. Kombinacijom te metode i *Metode merenja uticaja brzine vetra na protok vazduha kroz tekstilne proizvode*, odnosno protoka vazduha kroz pore tkanine iz koje je izrađen padobran, možemo izračunati brzinu padanja padobrana [3].

Ako se tekstilije koriste kao filterski medij, vanredno je važan hidraulični promer pora (najmanji promer kanala, koji tvori poru). Preporučljivo je da je hidraulični promer pore veći od najvećeg promera delića koji želimo filtrirati. Ako bi bilo obratno, pora bi odmah bila zapušena. U svemu tome se podrazumeva da kanal pore menja smer. Zbog razlike brzine strujnice između centralne ose i zidova kanala, pojavljuje se radijalna sila, koja odbacuje delić tako da se on izdvaja na površinu kanala (pore), odnosno na površinu vlakana koji čine zid kanala.

Metoda za određivanje broja, veličine i raspoređenosti pora u tekstilijama je upotrebljiva i za određivanje broja, veličine i raspoređenosti pora u vlaknovinama, kao što su na primer vlaknovine koje se koriste za izradu medicinskih maski. Proizvođač medicinskih maski je morao izvesti seriju oglada kod filtriranja veoma malenih delića, kao što su mikrobi i virusi. Da bi bilo moguće filtrirati mikrobe i viruse, maska mora biti izrađena od mikrovlakana, koja imaju promer oko 2 μm . Maska je sastavljena iz tri sloja. Vanjski slojevi su izrađeni od normalnih vlakana promera oko 18 μm . Međusloj je izrađen od mikrovlakana promera oko 2 μm (vidi glavu 15). To je primer kako se može upotrebiti teorija filtracije za vlaknovinu koja nema nijednu vidljivu poru.

Projektovanje i izrada neprobojnog zaštitnog prsluka je za tekstilca voma zahtevan zadatak. Problem je u tome što predivo, od koga je proizvedena tkanina, ne utiče na smanjenje brzine projektila sve dok se potpuno ne izravna niti u tkanini. Tada se počne rušiti unutrašnja struktura vlakana, odnosno mikrofibrila u multifilamentnom predivu. Obična predena pređa nije primerena za tu upotrebu.

Za prekid multifilamentne pređe je potrebna sila. Tu silu daje projektil i pri tome gubi brzinu. Da bi se projektil zaustavio, treba nam više slojeva tkanine. Potreban broj slojeva je moguće izračunati pod određenim pretpostavkama koje obično nisu potpuno realne. Uprkos tome, dobijaju se uporebljivi rezultati. Problem je moguće rešiti i na drugi način. Umesto biaksijalne tkanine možemo upotrebiti pet ili čak sedamaksijalnu tkaninu. Mašinu za proizvodnju četiri, pet i sedamaksijalnih tkanina smo projektovali na Odseku za tekstil i tekstilnu tehnologiju Univerziteta u Ljubljani. Proizveli smo prototip za proizvodnju četiriaksijalne tkanine. Kao prototip uređaj je još uvek u fazi ispitivanja. pri tome se pokazalo da je moguće konstruisati razboj za proizvodnju pet, šest i sedamaksijalnih tkanina. Trenutno tetraaksijalne tkanine proizvode samo u Japanu. Razboj za proizvodnju pet i višeaksijalne tkanine je potpuna konceptualna inovacija i ukazuje kako je moguće, uz pomoć teorije i intuicije, naći rešenja i za tako zapletene praktične slučajeve.

Literatura

1. Jakšić D. 1975. The method of calculation of the effect of wind on the total thermal resistance of clothing. *The Journal of The Textile Institute* 66 (3):129-131.
2. Rudal M. K. 1961. Keratin and Keratinization—An essay in molecular biology: E. H. Mercer: *Modern Trends in Physiological Sciences*, Vol. 12. Oxford, Pergamon Press,,: 316 str..
3. Jakšić D. 1995. New approach to wool phase structure. *Proceedings of the 9th International Wool Textile Research Conference: 28th June - 5th July. Biella, Italy: Textile Research Institute: 12-18.*
4. Jakšić D. 1993. Nova teorija fazne strukture volne. *Tekstilec: glasilo slovenskih tekstilcev*. 36 (4/5):135-142.

2. PODNEBLJE

2.1. Parametri podneblja koje moramo uzeti u obzir pri izboru vrste i količine odeće

Podneblje definišu brojni meteorološki parametri, kao što su: temperatura vazduha, zračenje sunca i vrsta padavina, relativna vlaga u vazduhu, brzina i smer vetra, oblačnost, vazdušni pritisak i sl. Srednje vrednosti tih parametara u dužem vremenskom periodu, bar 30 godina, nam pokazuju značajke podneblja određenog područja. Vrednosti tih parametara se menjaju u toku dana i noći. Na našoj geografskoj širini takođe mnogo zavise od godišnjeg doba. Promene vrednosti nekih meteoroloških parametara moramo uzeti u obzir prilikom projektovanja odeće. Odeću moramo prilagoditi stanju okruženja. Optimalna odeća je ona, u kojoj se čovek, u datom okruženju, oseća ugodno.

U većini slučajeva problem nije u tome kako postići ugodnost, problem je održati organizam u stanju ugodnosti duže vremena, ukoliko se menjaju parametri koji utiču na ugodnost. Da bismo to postigli, moramo poznavati promene i uzroke promena vrednosti pojedinih parametara, kao i njihov uticaj na ugodnost.

2.1.1. Temperature vazduha, tla i vode

Temperatura vazduha, tla i vode pre svega zavisi od količine energije - sunčevog zračenja, koje pada na jedinicu površine tla ili vode, od vrste tla, ugla, pod kojim sunčeve zrake padaju na površinu i vremena zračenja. Količina geotermalne energije je zanemarljivo mala.

Spektar sunčevog zračenja nije monohromatski, nego je sastavljen iz ultraljubičastog dela spektra, koga u pretežnom delu absorbira ozonski sloj, vidljivog dela (ljubičasto plava, žuta, oranžna, crvena) i infracrvenog dela spektra, koga delimično absorbira voda i ugljendioksid u atmosferi.

Kada se na primer temperatura tla poveća iznad temperature vazdušnog sloja, koji je u neposrednom dodiru sa površinom tla, ono se počne zagrevati. Na našoj geografskoj širini više se zagrevaju prisojni nego osojni delovi tla, što opisuje jednačina 2.1:

$$I = I_0 \cos \varphi \quad (2.1)$$

gde su: I_0 - gustina strujanja energije zračenja koja pada na površinu, čija je normala paralelna sa smerom sunčevih zraka; I - gustina strujanja energije zračenja koja pada na površinu, čija normala sa smerom sunčevih zraka zatvara ugao φ .

Energija koja dospe na površinu tla se potroši za njegovo zagrevanje. Kada se temperatura tla povisi nešto iznad temperature sloja vazduha, koji je neposredno nad površinom tla, tlo počinje zagrevati vazduh. Pošto su temperature tla i sloja vazduha koji obuhvata čoveka, koji se kreće po površini tla, sedi ili leži na njoj, veoma važne pri projektovanju odjeće, nešto detaljnije ćemo obraditi tu problematiku.

2.1.1.1. Prenos toplote u dubinu tla

Pre svega nas zanima temperatura tankog sloja tla na površini. Pri tome nećemo uzimati u obzir tlo u blizini vulkana ili termalnih izvora, zato što je udeo površina takvog tla u našoj državi zanemarljivo mali, i sa stanovišta oblačenja nemaju nikakav praktičan značaj. Sastav tla može biti različit (pesak, kamen, suvo lišće). Pri tome mislimo, pre svega, na tanak sloj zemljišta na njegovoj neposrednoj površini. Takođe, stanje tla može biti različito i često se menja (suvo, vlažno, mokro, močvarno). Površinski sloj tla se sastoji iz tri osnovne komponente: tvrde, gasovite (vazduh, vodena para) i tekuće (voda).

Toplotna vrednost λ zavisi od udela tri navedene komponente i njihove raspodele, kao i od vrste tvrde komponente. Ako je u dubini temperatura T i ako ona raste sa dubinom, gustina toplotnog strujanja G ima smer ka površini i srazmerna je brzini promene temperature sa dubinom:

$$G = \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \quad (2.2)$$

Ako je dubina data u m , temperatura u K i λ u $J/m \cdot s \cdot K$, onda je toplotno strujanje G dato u $J/m^2 \cdot s$. Temperatura tla ne zavisi samo od primljene količine toplote, već i od specifične zapreminske toplote c . Ona zavisi od specifičnih zapreminskih toplota ranije navedenih triju komponenti i njihovih zapreminskih delova. Ako uzmemo u obzir specifičnu zapreminsku toplotu, možemo brzinu promene gustine toplotnog strujanja G sa dubinom tla z , izraziti sledećom jednačinom:

$$\frac{\partial G}{\partial z} = c \frac{\partial T}{\partial t}; \quad c = \rho c_p \quad (2.3)$$

gde je $(\partial T/\partial t)$ - brzina promene temperature T u vremenu t , c specifična toplota na jedinicu zapremine, c_p specifična toplota pri konstantnom pritisku i ρ gustina.

Ako G u jednačini (2.2) izvedemo po z i vrednost na desnoj strani unesemo u jednačinu 2.3 namesto izraza na levoj strani, te jednačinu uredimo, dobićemo parcijalnu diferencijalnu jednačinu paraboličnog tipa.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}; \quad a = \frac{\lambda}{c} = \frac{\lambda}{\rho c_p} \quad (2.4)$$

Specifična toplota jedinice zapremine c je data u $J/m^3 \cdot K$. Faktor $a = \lambda/c$ (m^2/s) se naziva temperaturna provodljivost ili termička difuzija. Njena vrednost je veoma različita za različite tvari. Tako, na primer, železo ima vrednost $260 \cdot 10^{-9}$, kamen 6 do $23 \cdot 10^{-9}$, star sneg (gustina $0,8 \text{ g/cm}^3$) 8 do $14 \cdot 10^{-9}$, suv pesak 2 do $5 \cdot 10^{-9}$, suvo drvo 1 do $5 \cdot 10^{-9}$ i mirujućí vazduh 150 do $250 \cdot 10^{-9} \text{ J/m}^3 \cdot K$.

Jednačina (2.3) nam pokazuje da je promena gustine toplotne struje (toka) sa dubinom tla srazmerna promeni temperature tla po vremenu. Faktor srazmere je specifična toplota jedinice zapremine tla. Sa druge strane, brzina promene temperature po vremenu, jednačina (2.4), srazmerna je drugom izvodu temperature po dubini. Faktor srazmernosti je temperaturna provodljivost ili termička difuzija (a).

Temperatura tla se uglavnom menja u harmoničnom ritmu. To može biti dnevna promena, gde je vreme variranja $t = 86.400$ sekundi (24 sata) ili godišnja, gde možemo posmatrati promene temperature tla u zavisnosti od godišnjih doba. Pomoću sledeće jednačine možemo izraziti variranje temperature T_1 i T_2 na dubinama z_1 i z_2 :

$$T_2 - T_1 = e^{-\frac{\pi(z_2 - z_1)}{a_0}} \sqrt{\frac{\pi}{a_0}} \quad (2.5)$$

Pretpostavimo da temperatura na površini tla ($z_1 = 0$) za vreme dana varira za 38 K. Ako pretpostavimo da je tlo od suvog peska, koji ima termičku difuziju $a = 0,0013 \text{ cm}^2/\text{s}$, dnevna promena temperature iznosiće $T_2 = 9,97 \text{ K}$ na dubini $z_2 = 8 \text{ cm}$. Iz ovog primera vidimo da se možemo zaštititi od velikih dnevnih promena temperature tako što se ukopamo u bunker u pesku, ako na primer obavljamo poslove u pustinjskim predelima Srednjeg istoka ili u Sahari. Slično važi i za snežne prilike kada smo prisiljeni prespavati izvan pokrivenih objekata, posebno ako duva hladan vetar. Takođe možemo izračunati vremenski interval u kome vrednost temperature u jednoj dubini (z_1) bude dostignuta u sledećoj dubini (z_2).

$$t_2 - t_1 = (z_2 - z_1) \frac{t_n}{2\pi} \left(\frac{\pi}{at_n} \right)^{0,5} \quad (2.6)$$

gde su: t_1 - vreme u kojem temperatura dostigne ekstremnu vrednost (maksimum ili minimum) u dubini tla z_1 ; t_2 - vreme u kojem temperatura dostigne ekstremnu vrednost u dubini z_2 .

Ako je na primer na površini tla, ($z_1 = 0$), dostignuta maksimalna temperatura po danu u vremenu 12 časova i 30 minuta, na dubini 10 cm će se maksimalna temperatura postići 12.260 sekundi kasnije (3 sata i 26 minuta), $a = 0,0013 \text{ cm}^2/\text{s}$.

Jednačinu (2.6) možemo upotrebiti za određivanje dubine do koje dostiže dnevno ili godišnje variranje temperatura kod različitih vrsta tla. Ta dubina je definisana kao dubina na kojoj variranje temperature dostiže 1 % vrednosti variranja temperature na površini tla.

Dubine dnevnog i godišnjeg variranja temperature u različitim vrstama tla su prikazane u tabeli 2-1. Kod tih izračunavanja pretpostavljamo da se termična difuzija tla ne menja sa dubinom. To u stvarnim nije potpuno tačno.

Tabela 2-1: Dubine dnevnog i godišnjeg variranja temperature [2]

Vrsta tla	Termička difuzija [mm ² /s]	Dubina, [m]	
		Dnevna	Godišnja
Pesak, prod	0,45	0,51	9,79
Mulj	0,60	0,59	11,3
Glina	0,54	0,56	10,72
Ilovača	0,49	0,53	10,21
Vodom nasičen pesek	0,93	0,74	14,07
Vodom nasičen mulj	0,66	0,62	11,85
Bazalt	0,685	0,63	12,08
Granit	1,0	0,76	14,59
Gnajs	1,224	0,84	16,14
Laporac	1,118	0,91	15,43
Krečnjak	1,054	0,78	14,98
Pešćar	1,645	0,98	18,71
Kvarc	1,4	0,9	17,26

2.1.1.2. Prenos toplote u atmosferu

Ako stojimo ili hodamo, naše telo okružuje vazduh. Samo su donovi delimično ili potpuno u dodiru sa tlom, zavisno od oblika površine tla. Veći deo toplote koju emitujemo u okruženje se prenosi zračenjem, a deo konvekcijom u mirni sloj vazduha koji nas obuhvata. Količina toplote, koju emitujemo u okruženje, zavisi od količine proizvedene toplote, temperature kože, razlike temperatura okružujućeg vazduha i površine kože, te kretanja vazduha. Zbog toga je veoma važno da poznamo dnevna i godišnja variranja temperature vazduha kao i zavisnost temperature vazduha od udaljenosti od površine tla.

Pošto je termička difuzija mirnog vazduha velika ($a = 0,15 \text{ cm}^2/\text{s}$ do $0,25 \text{ cm}^2/\text{s}$) a specifična toplota veoma mala ($c_p = 1003,5 \text{ J/kg. K}$), vazduh će se relativno brzo zagrejati uprkos maloj vrednosti toplotne provodnosti ($\lambda = 0,024 \text{ W/m.K}$). Ako pomoću jednačine (2.6) izračunamo, umesto dubine isto kao na tlu, visinu dnevnog variranja toplote, dobićemo vrednost oko 3 m, što je približno trostruko veća vrednost nego ona u tlu sa najvećom vrednošću termičke difuzije (zidovi). Ovako izračunato variranje je posledica konduktivnog prenosa toplote (provođenja toplote) sa površine tla u vazduh koji je nad njim. Ukoliko bi se toplota sa tla u vazduh zaista prenosila samo kondukcijom, ne bi smelo biti variranja temperature na visini većoj od 3 m. Ipak, dnevna temperature mirnog vazduha varira i na visinama koje su iznad 1.000 metara, što znači da je uticaj konduktivnog načina prenosa toplote sa tla u atmosferu mali.

Tabela 2-2: Okvirne vrednosti koeficijenta toplotne provodnosti λ i termičke difuzije [2]

Gradivo	Toplotna provodnost, λ [W/m.K]	Termična difuzija, a [mm ² /s]
Pesak	0,77	0,45
Mulj	1,67	0,60
Glina	1,11	0,54
Ilovacča	0,91	0,49
Sa vodom nasičen pesak	2,50	0,93
Z vodo nasičen mulj	1,67	0,66
Bazalt	1,80	0,685
Granit	3,30	1,0
Gnajs	3,01	1,224
Laporac	2,69	1,118
Krečnjak	2,73	1,054
Peščar	2,80	1,645
Kvarc	1,43	1,4
Zlato	310	127
Srebro (99,9%)	429	165,63
Bakar	400	111
Aluminij	230	84,18
Železo	80	23
Voda (25°C)	0,598	0,143
Alkohol	0,17	0,07
Vazduh (300K)	0,026	19

Neposredno na površine tvrde faze (tlo, zidovi, površina odeće, površina kože), kao i na površini tekuće faze (more, reke, jezera), nalazi se nekoliko milimetara debeo sloj vazduha kroz koji se prenosi toplota kondukcijom a vodena para difuzijom. Iznad tog sloja vazduh nije više nepokretan, nego se kreće u obliku vrtloga i to kretanje prenosi toplotu iz tla u atmosferu. Takvo kretanje vazduha je uglavnom turbulentno. Kod turbulentnog kretanja se smer vetra može menjati od jedne do druge tačke. Nas, pre svega, zanima vertikalna komponenta kretanja.

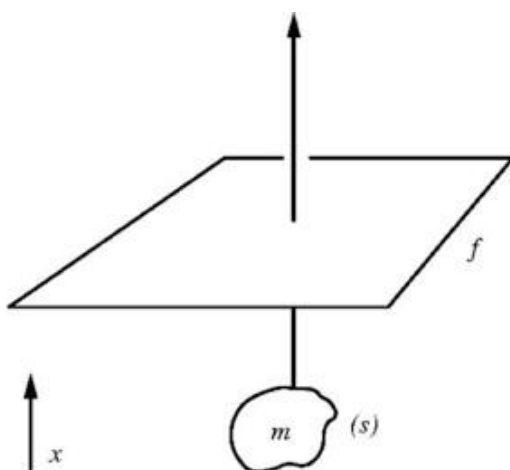
Pretpostavimo da je smer kretanja vazduha (vetra) normalan na vodoravnu površinu koja je na određenoj udaljenosti od površine tla. Na nivou te zamišljene horizontalne ravni imamo prosečnu brzinu kretanja vazduha naviše. Posmatrajmo nedefisanu opštu karakteristiku s , koju merimo na jedinicu mase, i koja ne zavisi od prilika u neposrednom okruženju. Ta karakteristika može biti količina prašine, količina vodene pare ili čak količina kretanja. Temperatura zavisi od visine jer se sa povećanjem visine smanjuje pritisak.

Pri posmatranju prenosa toplote možemo uzeti karakteristiku s kao količinu toplote u jednom gramu

vazduha (J/g), koja je jednaka proizvodu $c_p T$, gde je c specifična toplota vazduha pri konstantnom pritisku ($c_p = 1,01 \text{ J/g.K}$) i T potencijalna temperatura vazduha u stepenima Kalvinove skale. Vazduh ima potencijalnu temperaturu ako je pritisak 1.000 mb. Na nekoliko metara iznad površine tla nema bitne razlike između stvarne i potencijalne temperature, zbog toga možemo operisati sa stvarnom temperaturom bez veće greške. Na slici 2-1 je prikazana šema za izvođenje osnovne jednačine vrtložne difuzije.

Pitanje vertikalnog prenosa karakteristike s pojavljuje se samo onda kada se karakteristika menja sa visinom. Uzmimo početnu visinu na ravni f ($z = 0$, slika 2-1). Na nivou z karakteristika s ima vrednost s_0 . Promena s u blizini f ose se može dovoljno precizno izraziti pomoću dva člana Tejlorova niza (parabola)

$$s = s_0 + \frac{ds}{dz}z + \frac{1}{2} \frac{d^2s}{dz^2}z^2 \quad (2.7)$$



Slika 2-1: Šema vertikalne vrtložne difuzije kroz horizontalnu ravan [3]

Turbulentno kretanje vazduha donosi deliće sa nivoa z kroz površinu f . Neka u vremenu t bude m' masa zapreminskih elemenata koji prolaze kroz posmatranu ravan. Ta masa će sa sobom sa nivoa z' doneti srednju vrednost karakteristike s , s' . Količina karakteristike s , koja prolazi u vremenu t kroz površinu f , biće $m's'$. Ovu količinu ćemo uzeti kao pozitivnu ako je usmerena prema površini tla. Ukupna količina biće jednaka sumi pojedinih količina ($\sum m' s'$). U istom vremenskom intervalu biće ukupna količina, koja se prenosi u suprotnom smeru, jednaka $\sum m'' s''$. Na osnovu toga, tako prenesana neto količina D karakteristike s kroz jedinicu površine f u jedinici vremena t biće data sledećom jednačinom:

$$D = \frac{1}{tf} (\sum m' s' - \sum m'' s'') \quad (2.8)$$

Uzimajući u obzir jednačinu (2.7), možemo jednačinu (2.8) napisati u sledećem obliku:

$$D = \frac{1}{\rho f} \left[s_0 \left(\sum m' s' - \sum m'' s'' \right) + \frac{ds}{dz} \left(\sum m' z' - \sum m'' z'' \right) + \frac{1}{2} \frac{d^2 s}{dz^2} \left(\sum m' z'^2 - \sum m'' z''^2 \right) \right] \quad (2.9)$$

Pošto turbulentno kretanje ne prouzrokuje promenu opšte raspoređenosti mase, jednaka količina mase prolazi kroz ravan f naviše i naniže. Zbog toga je razlika zbirna mase u prvom članu na desnoj strani jednačine (2.9) jednaka nuli. Pri tome uzimamo u obzir činjenicu da je s_0 srednja vrednost, koja ne varira na ravni f .

Sledeće pretpostavimo da promene nastaju simetrično na ravan f : masa m' , koja dolazi sa udaljenosti z' , mora biti jednaka masi m'' , koja dolazi sa udaljenosti z'' . Ta pretpostavka ne važi za neposrednu blizinu tla. Ipak, ako je prihvatimo, razlika u poslednjoj zagradi trećeg člana jednačine (2.9) biće takođe jednaka nuli. Zbog toga jednačinu (2.9) pojednostavimo pa ostane samo drugi član na desnoj strani:

$$D = \frac{1}{\rho f} \left(\sum m' z' - \sum m'' z'' \right) \frac{ds}{dz} \quad (2.10)$$

Koeficijent ispred faktora ds/dz ne zavisi od osobine vazdušne mase u turbulentnom kretanju i u potpunosti opisuje brzinu kretanja. Jednačinu (2.10) možemo pojednostaviti uvođenjem turbulentne viskoznosti, odnosno koeficijenta izmene A (kg/m.s.):

$$A = \frac{1}{\rho f} \left(\sum m' z' - \sum m'' z'' \right) \quad (2.11)$$

$$D = A c_p \frac{ds}{dz} \quad (2.12)$$

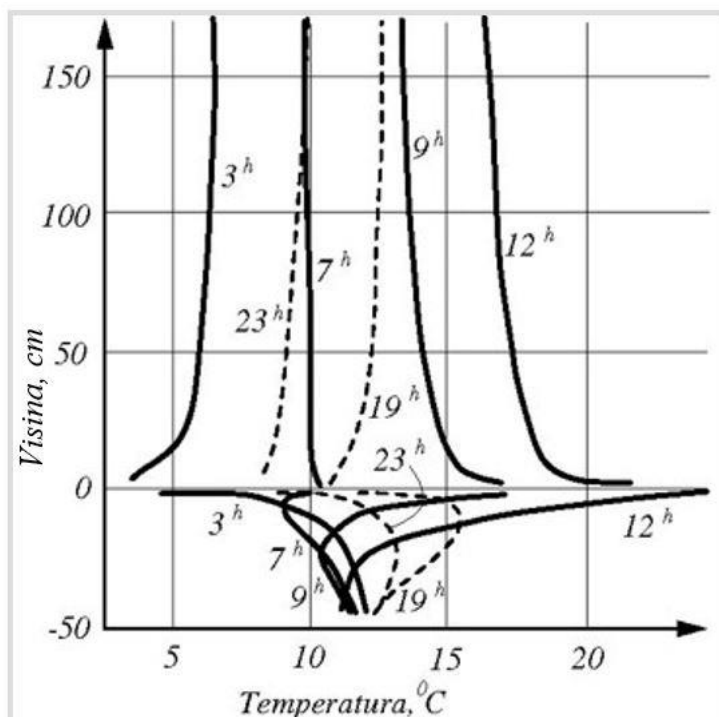
Količina Q (jednačina (2.13)) ima dimenzije (p.cm²/s), gde je P jedna od osobina koju možemo opisati pomoću jednačina (2.8) do (2.12). Jednačinu (2.12) možemo prilagoditi tako da sa njom izrazimo protok (prenos) toplote Q (J/m².s). Ako umesto D unesemo Q i umesto s količinu $c_p T$ ($ds = c_p dT$), dobićemo:

$$Q = A c_p \frac{dT}{dz} \quad (2.13)$$

delom se apsorbuje u tlo. Pošto se jačina sunčevog zračenja tokom dana menja, (2.13) može imati isti oblik kao jednačina (2.2), samo je umesto λ proizvod $A c_p$. Pošto je to tako, toplota se u vazduh prenosi po sličnoj zakonitosti, kao što se prenosi toplota kroz tlo; samo je red veličina zbog razlika između λ i $A c_p$ drugačiji. Prenos toplote pomoću turbulentne difuzije se naziva takođe i pseudokondukcija. Faktor A se mnogo menja u prostoru i vremenu. U graničnom sloju, samo nekoliko milimetara od površine tla, gde uglavnom važi mehanizam molekulske kondukcije, A je

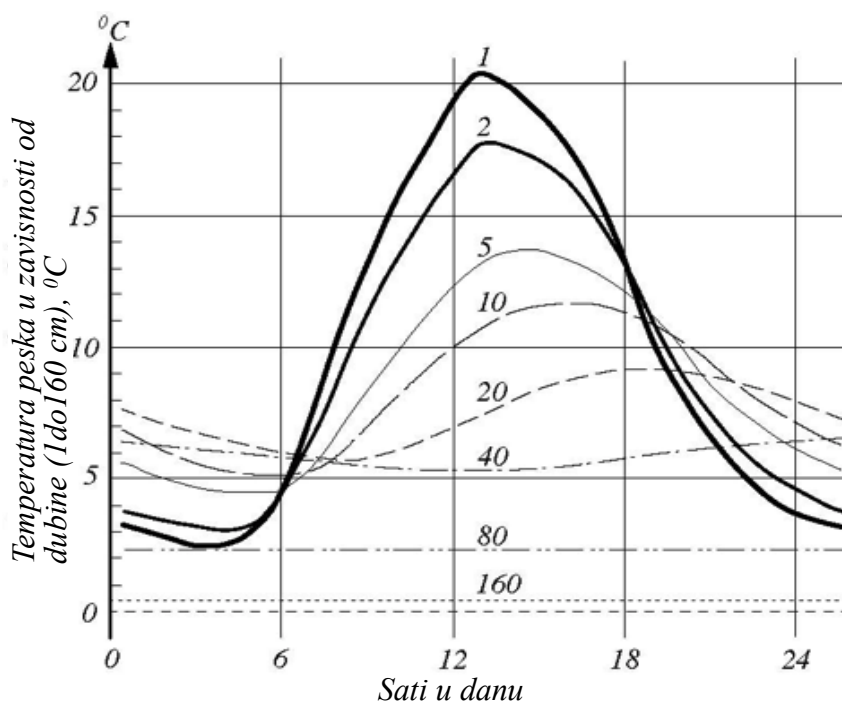
reda veličine 10^{-5} g/ cm.s. U atmosferi kao celini, moguć je različit red veličina, čak million puta veći.

Globalno zračenje sunca, koje dopire do tla, delom se odbije nazad u atmosferu, a zbog toga se menja i temperatura tla i vazduha. Na slici 2-2 su prikazane dnevne temperaturne promene po određenim satima, u zavisnosti od visine vazdušnog sloja i dubine tla [2].



Slika 2-2: Primer promene dnevne temperature u zavisnosti od visine vazdušnog sloja i dubine tla [2]

U 3^h izjutra je temperature tla oko 4 °C. Takođe, vazdušni sloj, koji je neposredno na površini tla, ima istu temperaturu. Na visini od jednog metra vazduh ima za oko 3 °C višu temperaturu nego što je ona na površini tla. Sa dubinom tla se temperatura povećava i na dubini 0,5 m dostiže temperaturu 12 °C. U 12^h situacija je obrnuta. Na dubini 0,5 m, tlo ima temperaturu oko 11 °C a na površini oko 24 °C. Vazdušni sloj iznad površine tada ima temperaturu oko 22 °C, a na visini 1 m samo oko 17 °C. Temperatura tla se može i drukčije menjati nego što se vidi na slici 2-2. Na slici 2-3 je prikazan desetogodišnji prosek majske temperature u Pavlovsku (Rusija) u zavisnosti od dubine tla i sata u danu. [1]. Već na dubini 0,8 m je temperatura tla konstantna i nezavisna je od variranja temperature na površini tla. Oko 13^h temperatura tla na dubini 1 cm dostiže oko 20 °C, dok na dubini 0,8 m ima samo oko 2 °C, a u dubini 1,6 m samo nešto više od 0 °C.



Slika 2-3: Dnevno variranje temperature tla u mesecu maju u Pavlovsku (Rusija) u zavisnosti od dubine tla i sata dana [1]

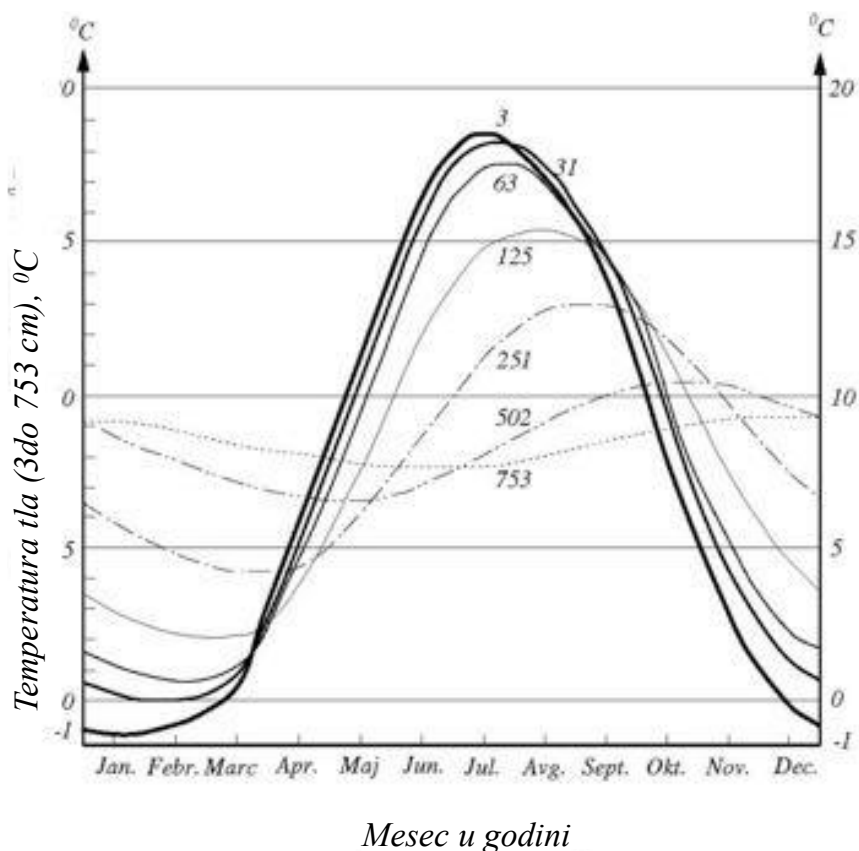
Ako tlo nije večno zamrznuto može na određenoj dubini stanje biti potpuno drugačije od ovoga koje je prikazano na slici 2-3. Na slici 2-4 je prikazana letnja promena temperature tla u zavisnosti od dubine tla i godišnjeg doba u Kaliningradu (Rusija), gde veliki uticaj ima Baltičko more [3]. Ovakav tok promena temperature tla ne odstupa mnogo od teoretskih pretpostavki i možemo ga u velikoj meri primeniti na naše prilike.

Ako tlo nije večno zamrznuto može na određenoj dubini stanje biti potpuno drugačije od ovoga koje je prikazano na slici 2-3. Na slici 2-4 je prikazana letnja promena temperature tla u zavisnosti od dubine tla i godišnjeg doba u Kaliningradu (Rusija), gde veliki uticaj ima Baltičko more [3]. Ovakav tok promena temperature tla ne odstupa mnogo od teoretskih pretpostavki i možemo ga u velikoj meri primeniti na naše prilike

Na slici 2-5 je prikazana promena temperature vazduha na visini između 0,1 m in 6,4 m u zavisnosti od sata u danu [3]. Inverzija nastupa nekoliko trenutaka po izlasku sunca i nekoliko trenutaka pre nego sunce zađe. Tok temperaturnih promena između površine tla i visine 10 cm u određenom satu je prikazan na slici 2-2.

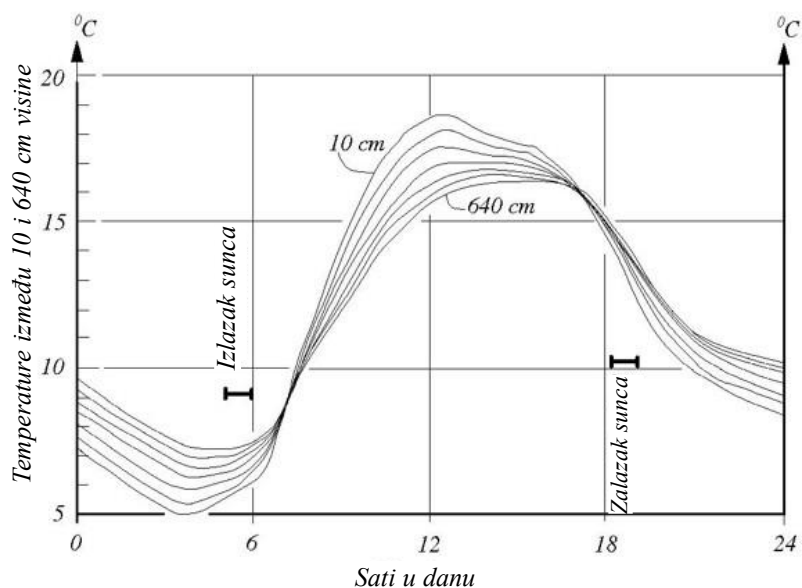
Kao što se vidi sa slike 2-5, u vazdušnom sloju u blizini tla su velika variranja temperature. S obzirom da čovek radi i živi uglavnom u tom sloju, sa stanovišta oblačenja je poznavanje tih promena veoma važno. Pod određenim uslovima može već i pad temperature za nekoliko stepeni prouzrokovati velike probleme u vezi sa zaštitom organizma od pothlađivanja. Takođe, povećanje temperature za samo nekoliko stepeni može prouzrokovati neprijatno znojenje i smanjenje radne sposobnosti.

Promenu temperature vazduha u zavisnosti od visine možemo definisati kao promenu temperature na svakih 100 m visine ($^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$). Dva centimetra iznad tla je, na primer, 1,3.



Slika 2-4: Godišnja promena temperature u Kaliningradu (Rusija) u zavisnosti od godišnjeg doba i dubine tla [4]

Pored vode, posebno pored velikih vodeninih masa (more, jezera) dnevna i godišnja variranja temperature vazduha su manja nego u područjima koja se nalaze dalje od vodenih masa. Sa druge strane je u vazduhu nad vodom i uz nju veća količina vlage. Vlaga u vazduhu negativno utiče na termoizolacijsku vrednost odeće (smanjuje je). Osim toga povećana količina vlage u vazduhu smanjuje brzinu isparavanja znoja, što može proukovati neprijatan osećaj, ukoliko ispunjeni uslovi za povećano lučenje su znoja.



Slika 2-5: Promena temperature vazduha u zavisnosti od visine (od 0,1 do 6,4 m) i sata dana [4]

2.1.2. Vlažnost vazduha

Vlažnost vazduha ima određenu ulogu kod konstrukcije odeće i opreme, koju upotrebljavamo za boravak vani (šatori, vreće za spavanje, pokrivači i sl.). Gustinu vodene pare, odnosno apsolutnu vlagu u vazduhu, merimo u g/m^3 ; možemo je izraziti i kao relativnu vlažnost vazduha u %. Pritisak vodene pare, izražen u mb, razlikuje se od apsolutne vlage u vazduhu. Pritisak se menja sa temperaturom. U praksi se najčešće srećemo sa temperaturom vazduha između $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Faktor konverzije pritiska u apsolutnu vlažnost je kod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ $1,06\text{ g}/\text{m}^3\cdot\text{kPa}$, a kod $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ $0,99\text{ g}/\text{m}^3\cdot\text{kPa}$. Zbog toga možemo u tom rasponu temperatura upotrebiti apsolutnu količinu vodene pare u vazduhu umesto njenog parcijalnog pritiska. Faktor konverzije je $1\text{ g}/\text{m}^3\cdot\text{kPa}$.

Relativna vlaga ima značajnu ulogu prilikom prerade vlakana i prediva u tekstilne proizvode. Pored toga, ona utiče na promenu nekih parametara kvaliteta odeće. Sa povećanjem relativne vlažnosti se povećava vrednost koeficijenta toplotne provodljivosti odeće i smanjuje brzina protoka vodene pare (isparenog znoja) sa površine kože kroz odeću u okruženje.

U pogledu temperature postoji gornja granica parnog pritiska, koji nazivamo zasićen parni pritisak E . On je za čistu vodu samo funkcija temperature; iz termodinamike za njega proizilazi jednačina:

$$E = a10^{b\left(1-\frac{T_0}{T}\right)} \quad (2.14)$$

gde su:

- $a = 6,1\text{ kPa}$;
- $b = 8,61$ (za vodu) i
- $T_0 = 273,16\text{ K}$.

Iznad vodene (ili ledene) površine, kada vazduh miruje, vlada uvek zasićen parni pritisak, jer je samo tako njihova površina postojana i uravnotežena sa okolinom. Ukoliko je parni pritisak manji

od zasićenog, povećava se brzina isparavanja vode, ukoliko je veći, povećava se brzina kondenzacije. Kao što se vidi iz jednačine (2.14) to zavisi od temperature. Sa promenom temperature se menja vrednost zasićenog pritiska E . Ukoliko su temperaturne promene spore, praktično nema odstupanja od zasićenog pritiska kod određene temperature. Ako su temperaturne promene nagle, isparavanje ili kondenzacija ne mogu pratiti brzinu promena temperature i to se vani pokaže kao odstupanje od zasićenog pritiska toliko dugo dok se ponovo ne uspostavi ravnoteža, tj. zasićeni parni pritisak.

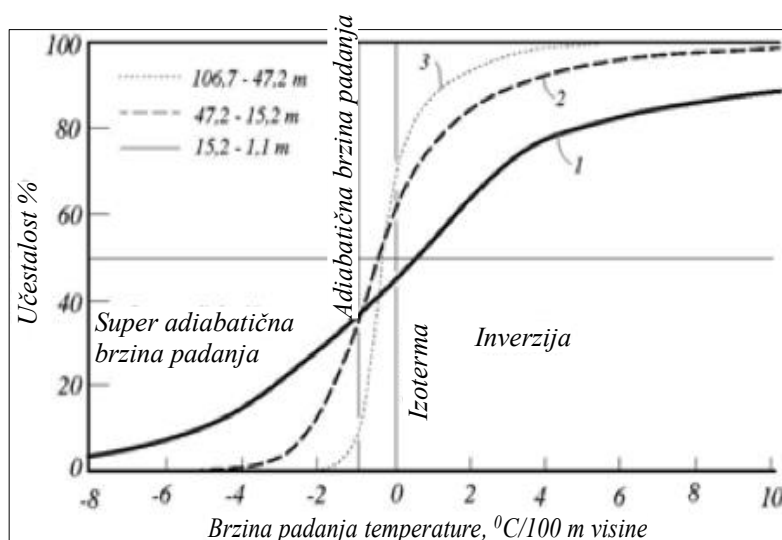
Delimični (parcijalni) parni pritisak ili pritisak vodene pare u atmosferi možemo definisati sa plinskom jednačinom stanja za vodenu paru:

$$e = \rho_v R_v T \quad (2.15)$$

gde su: ρ_v – gustina vodene pare (g/m^3 zraka); R_v - $461 \text{ m}^2/\text{s.K}$.

Apsolutna vlaga u vazduhu nije ništa drugo do gustina vodene pare ρ_v koju možemo izračunati iz jednačine (2.15). Kao što smo već naveli, za nas je pre svega važana relativna vlaga f . Ona je određena odnosom između stvarnog i zasićenog parnog pritiska. Izražavamo je u procentima.

$$f = 100 \frac{e}{E} \quad (2.16)$$



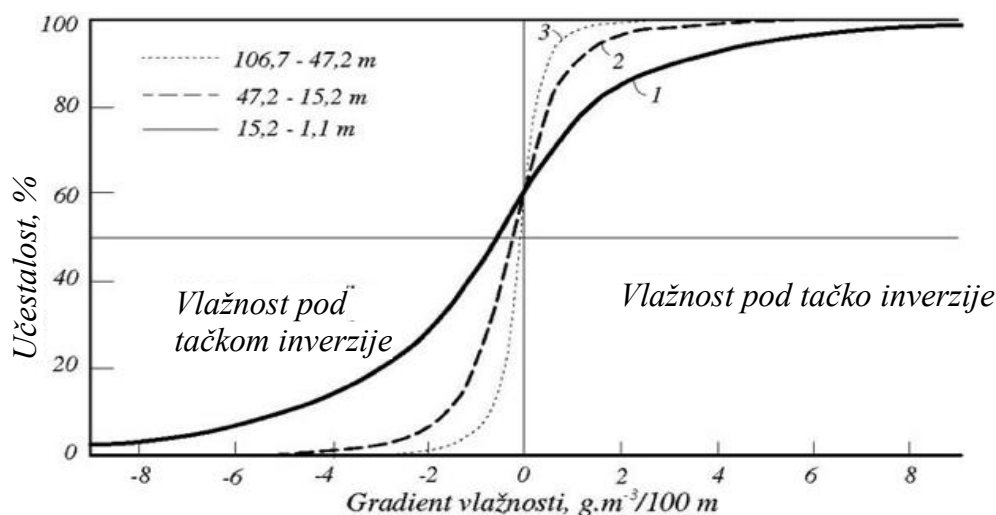
Slika 2-6: Promena temperature vazduha u zavisnosti od visine [5]

$$T_d = \frac{a(\log e - b)}{1 - c(\log e - b)} \quad (2.17)$$

gde su:

- $a = 31,6 \text{ } ^\circ\text{C}$,
- $b = 0,785$ i
- $c = 0,116$.

U praksi temperature rosišta nalazimo u tabelama, termodinamičkim dijagramima i monogramima. U većini slučajeva se vodena para prenosi odozdo naviše. To naravno važi za sunčane dane. No, postoji i inverzija. To znači da je tok vodene pare usmeren vertikalno prema površini tla. Obično je pritisak viši pri tlu nego u višim vazдушnim slojevima. Gradijent vodene pare na 100 m visine ($\text{g}/\text{m}^3 \cdot 100 \text{ m}$) je u tom slučaju negativan. Ako imamo suprotan slučaj (inverzija), gradijent će biti pozitivan. Gradijent postaje pozitivan obično u svanuće. Zbog toga se na travi stvara rosa. Rosa ponekad nastaje i onda kada je gradijent negativan. Tu iznimku možemo objasniti samo opštom pojavom u tlu, i to tako što vodena para prodire iz dubine tla na površinu, gde se kondenzuje. Na slici 2-6 je u % prikazana učestalost različitih vrednosti gradijenta vodene pare u zavisnosti od visine [5]. Promena gradijenta vodene pare, računate na 100 m visine, na visini između 47 m i 107 m je između $-2 \text{ g}/\text{m}^3 \cdot 100 \text{ m}$ i $+2 \text{ g}/\text{m}^3 \cdot 100 \text{ m}$. Vrednosti na visini od 1m do 15 m su između $-41 \text{ g}/\text{m}^3 \cdot 100 \text{ m}$ i $+22 \text{ g}/\text{m}^3 \cdot 100 \text{ m}$ (slika 2-7). Normalno stanje (negativni gradijent) se javlja u 60 % slučajeva. Ekstremne vrednosti imaju veoma mali udeo, odnosno javljaju se vrlo retko. Tako je, na primer, učestalost pojave vrednosti gradijenta gustine vodene pare bila između $-4 \text{ g}/\text{m}^3$ i $-5 \text{ g}/\text{m}^3$ u visinskom intervalu između 15 m i 47 m manja od 1 %.



Slika 2-7: Raspodela gradijenta vlažnosti u tri sloja vazduha do visine 106,7 m [6]

Promena pritiska vodene pare u zavisnosti od visine vazdušnog sloja i sata letnjeg dana je prikazana na slici 2-8. U 4^h izjutra je pritisak na površini tla 2 kPa i postepeno naraste nešto iznad 13 kPa na visini 40 m. Na visinama većim od 40 m pa do 100 m nema praktično nikakve promene pritiska

vodene pare. To je inverzna situacija i vodena para se kreće vertikalno prema tlu (pozitivni gradijent vodene pare). To su uslovi za nastajanje rose na travnatom tlu. U 8 h već imamo normalno stanje. Pri tlu je pritisak vodene pare veći od 16,7 kPa, na 100 m visine je samo nešto viši od 14,7 kPa.

U tom slučaju se vodena para kreće vertikalno (nema vetra) od tla naviše. Delimični ili parcijalni pritisak vodene pare u atmosferi je prosečno samo 1 % ukupnog pritiska, koji iznosi oko 1000 kPa; to znači da je parcijalni pritisak vodene pare samo oko 10 kPa. Parcijalni pritisak je značajan zato što se u sklopu faznih promena vode u atmosferi jako menja.

2.1.3. Padavine

Za padavine možemo reći da su jedna od karakteristika okruženja koju moramo uzeti u obzir pri projektovanju tekstilija, namenjenih za odeću, kao i za tehničke proizvode, kao što su šatori, cerade i druga pokrivala, namenjena pre svega za zaštitu od kiše. Za nas su, pre svega, zanimljive padavine u obliku kiše i snega. Često moramo uzeti u obzir i rosu, koja nastaje, pre svega, na travnatim površinama kada su se po noći stekli uslovi za kondenzaciju vodene pare. Ponekad određenu ulogu ima i slana.

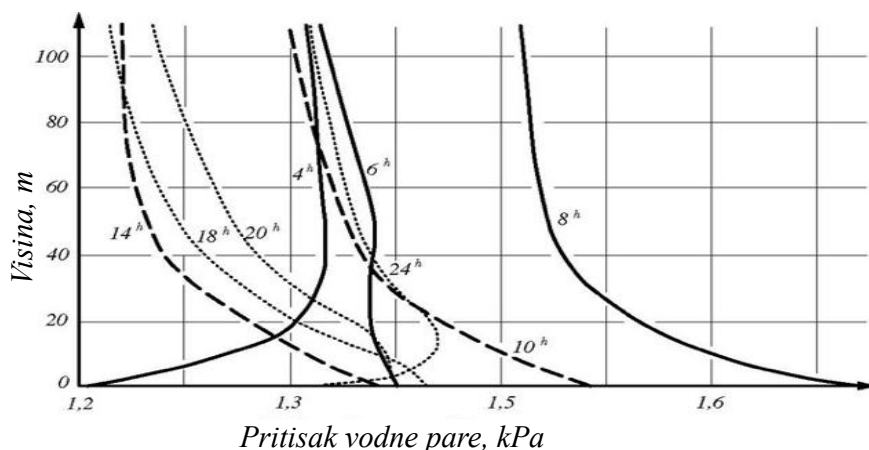
2.1.3.1. Sneg

Sneg može biti suv ili mokar. Suv sneg pada onda kada je temperature vazduha bar nekoliko stepeni ispod nule (manja od 0 °C). Slično je takođe kada vetar diže sneg sa snežnih površina. Mokar sneg pada onda kada je temperature vazduha 0 °C ili nešto viša od te vrednosti. Kada pada mokar sneg, temperatura u sloju mirnog vazduha na površini odeće je veća od 0 °C. Mokar sneg se lepi na površinu odeće, zbog čega se odeća navlaži.

Praktične posledice takvog navlaživanja odeće vidimo iz činjenice da vunene tkanine i pletenine imaju toplotnu provodnost $\lambda = 0,17$ do $0,21$ kJ/m.h.K, što zavisi od strukture i gustine tkanine ili pletenine. Voda u porama tkanine [6] ima toplotnu provodnost $2,1$ kJ/m.h.K,

Ukoliko ta voda, zbog vanjskih niskih temperature smrzne, toplotna provodljivost se povećava četiri puta i to na $8,4$ kJ/m.h.K. Toplotna provodljivost vazduha iznosi samo $0,105$ kJ/ m.h.K, odnosno 80 puta je manja od toplotne provodljivosti leda

Gledano sa stanovišta toplotne provodljivosti u tekstilijama, imamo tri komponente: vlakno, vazduh i vodu. Ako uzmemo da je toplotna provodljivost vazduha 1, onda vuna ima 7.3; pamuk 17,5; viskoza 11,0 i sintetičke folije 6,3 do 13, [7]. Iz ovih podataka vidimo, da će se sa povećanjem dela vode u odeći, povećavati vrednost toplotne provodljivosti. Zbog toga je preporučena obrada gornjih delova odeće sa vodoodbojnom impregnacijom



Slika 2-8: Promena pritiska vodene pare u zavisnosti od visine vazdušnog sloja i sata dana u godini [7]

2.1.3.2. Kiša

Kiša može padati različitim intenzitetom. Zbog toga je kinetička energija kapi koje dopiru na površinu odeće različita. Od kinetičke energije zavisi hidrodinamički udarac kapljica kiše na površinu odeće. Tu činjenicu moramo obavezno uzeti u obzir kod konstrukcije tkanina, namenjenih za gornje delove odeće. Pri tome je značajan pre svega prečnik pora u tkanini. Neki najznačajniji parametri kapi kiše različitih intenziteta su dati u tabeli 2-3 [8].

Tabela 2-3: Vrednost nekih parametara kapi kiše različitih intenziteta (8)

Vrsta kiše	Poluprečnik kapi, cm	Brzina kapi pri padu na tlo, cm/s	Kinetička energija kapi, μJ
Nevreme	0,1500	700	360
Oluja	0,105	600	87
Jaka kiša	0,0750	500	22
Srednje jaka kiša	0,0500	400	4,2
Slaba kiša	0,0255	200	0,92
Sipljenje	0,0100	75	0,012

2.1.3.3. Druge padavine

Značajna je, pre svega, rosa koja se nakuplja na travi ili grmlju. Ako hodamo po takvom terenu, nakvasi nam se obuća i donji dio pantalona. Takođe nije preporučljivo spavanje na takvom terenu. Kad je magla, se može dogoditi da nam se količina vlage u odeći poveća. Ukoliko je odeća vlažna ili čak mokra, njena tplotna provodljivost se povećava.

2.1.3.4. Vetar

Vetar je definisan sa dva osnovna parametra, koji se često menjaju: brzinom i smerom. U pojedinim područjima duvaju vetrovi u približno istom smeru: fen, bura, jugo, maestral i sl. Kod nas retko duvaju vetrovi brzinom većom od 90 km/h (22,2 m/s). Vetar može usporavati kretanje, što znači da

za kretanje trošimo više energije nego u mirnoj atmosferi. Pored toga, on prodire kroz odeću i pri tome odnosi sa sobom određenu količinu toplote. U hladnoj atmosferi, vetar prouzrokuje povećanje količine toplote koja prolazi kroz odeću u okruženje i u određenim okolnostima ubrzava hlađenje organizma korisnika.

Vetar takođe može blagotvorno uticati na osećaj. Ako je relativno toplo, a vazduh zasićen vodenom parom, povećava brzinu isparavanja znoja i sa tim hlađenje organizma. Za isparavanje jednog grama vode potrebno je oko 2,52 kJ (na 20 °C). Vetar takođe utiče blagotvorno ako je temperatura okolnog vazduha veća od temperature površine kože (33 °C do 34 °C). U tom slučaju vetar veoma mnogo ubrzava isparavanje znoja i ujedno sprečava nakupljanje većih količina ugljeničnog dioksida neposredno na površini kože. To važi za brzine vetra do približno 60 km/h (16,7 m/s). Ukoliko je brzina vetra napolju veća od 60 km/h, u takvom okruženju je otežan rad i kretanje. Vazduh prolazi kroz odeću zbog toga što se pod uticajem brzine vetra stvara razlika pritiska. Na površini odeće je pritisak veći nego u neposrednoj blizini kože. U takvoj situaciji vazduh prolazi kroz odeću. Između brzine vazduha (vetra) i pritiska, koji ta brzina ostvaruje na površini, postavljenoj normalno na smer brzine vetra, postoji sledeća zakonitost [9]:

$$v = 1,28h^{0,5} \quad (2.18)$$

gde su:

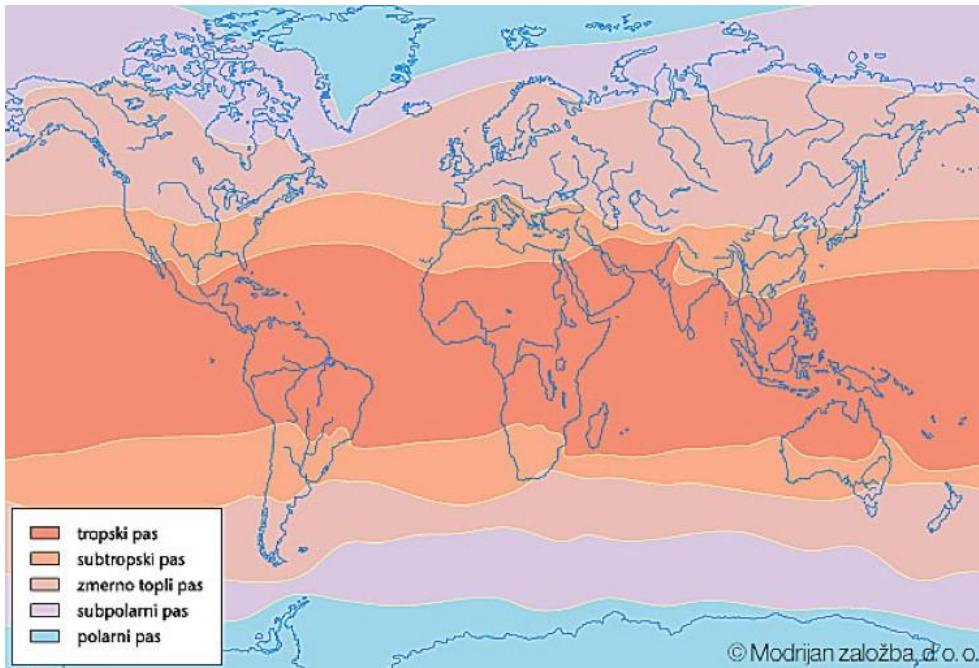
- v - brzina vetra, m/s;
- h - pritisak, izražen u Pa,
- 1,28 i 0,5 su empirijske konstante odgovarajućih dimenzija.

2.2. Podneblje na zemlji

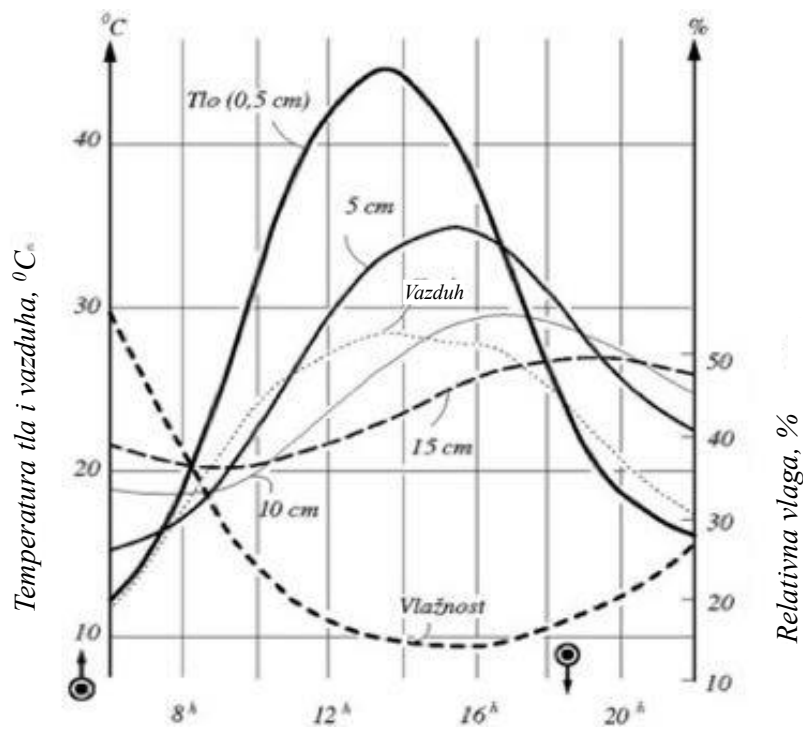
U novijem vremenu se ubrzano razvija globalizacija tržišta. Naša država je članica Svetske trgovinske organizacije, a to znači mogućnost trgovanja i proizvodne saradnje sa brojnim državama. Zbog toga je dobro raspolagati informacijama u pogledu podneblja na interesantnim lokacijama u svetu, na koje bismo plasirali naše proizvode ili naše znanje.

U pogledu vrste posla i klimatskih uslova, izvođač radova bi morao biti odgovarajuće obučan. Odgovarajuća odeća znači takođe veću produktivnost i smanjenje broja nesreća, pa čak i smanjenje oboljenja uopšte. Ako želimo konstruisati potpuno odgovarajuću odeću za takva podneblja, moramo poznavati prirodu posla i makar globalne prilike podneblja. Za nas mogu, pre svega, biti zanimljive Evropska Unija, Rusija i druge države bivšeg Sovjetskog Saveza, Afrika, Bliski i Srednji Istok. Detaljnije ćemo pogledati podneblje Afrike, Srednjeg i Bliskog Istoka. U tim predelima se podneblje menja od pustinjskog do tropskog. Nakratko ćemo pogledati temperature i količine padavina.

2.2.1. Temperatura



Slika 2-9: Toplotni pojasevi na Zemlji [10]



Slika 2-10: Variranja dnevnih temperatura i vazduha kao i relativne vlažnosti vazduha u delu Sahare [11]

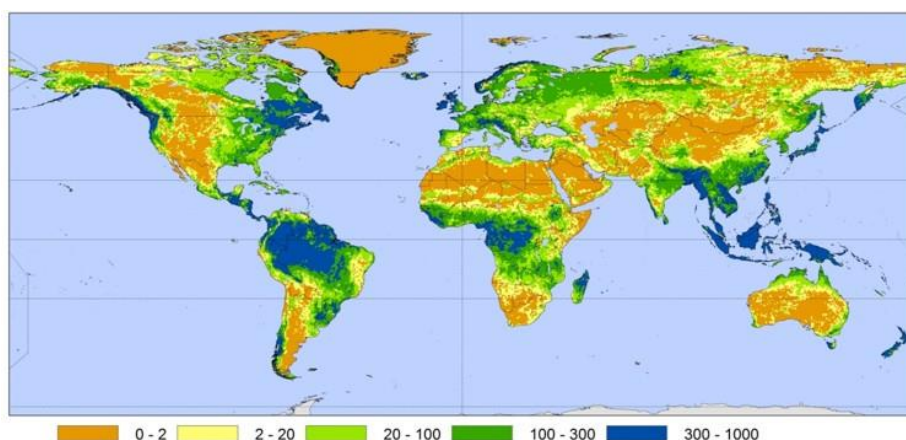
Prosečne januarske temperature u Severnoj Africi kao i na Srednjem i Bliskom Istoku (severno od severnog pogravnika) su između 10 °C i 20 °C. Istovremeno je u pustinji Kalahari preko 30 °C. Na preostalom delu afričkog kontinenta su januarske temperature između 20 °C i 30 °C. Prosečne junske temperature na pustinjskim područjima (Sahara, Arapska pustinja, Velika slana pustinja) su više od 35 °C. Na rubovima pustinja variraju između 30 °C i 35 °C. U Južnoafričkoj Republici i Namibiji su junske temperature između 15 °C i 20 °C.

U Centralnoj Africi, priobalnim područji Indijskog i Atlantskog okeana te Sredozemnog mora su prosečne junske temperature između 20 °C i 30 °C, što važi i za onaj deo Bliskog Istoka koji je u blizini Sredozemnog mora.

Prosečne dnevne temperature nisu dovoljan parametar. Sa stanovišta oblačenja su veoma bitna dnevna variranja temperature vazduha i površinskog sloja tla, posebno u pustinjskim i polupustinjskim predelima.

Na slici 2-10 su prikazane prosečne vrednosti merenja od 7. do 14. aprila 1955. u mestu Vadi Faregh koje je na 24 stepena i 47 minuta severne širine te na 16 stepeni i 53 minute istočne dužine, na nadmorskoj visini 400 m (u jugoistočnoj Libiji). Prosečna maksimalna temperatura u dubini 5 mm je bila 45 °C. Maksimalna temperatura je dostigla čak 53,5 °C. Temperatura tla u šest časova je bila samo oko 11 °C, što znači da je prosečna razlika temperature bila čitavih 34 °C. Ako uzmemo u obzir apsolutnu maksimalnu dnevnu razliku temperature tla, ta razlika je oko 42 °C. Temperatura vazduha i relativna vlaga su mereni na visini 95 cm. Variranje temperature vazduha je bilo manje od variranja temperature tla i iznosilo je prosečno oko 18 °C. Maksimalna temperatura vazduha malo zaostaje za maksimalnom temperaturom tla, ali podudara se sa minimalnom relativnom vlažnošću vazduha, koja je oko 16 časova iznosila prosečno samo približno 15 %. U takvim uslovima podneblja odeća svakako mora biti višeslojna kako bi omogućila prilagodljivost vrlo velikim variranjima dnevne temperature. Činjenica je da su to predeli bez vode i da je relativna vlažnost vazduha veoma niska, dakle odeća mora sprečiti brzo isparavanje znoja. To ćemo postići ako odeća pruža što veći otpor protoku vodene pare.

2.2.2. Padavine



Slika 2-11: Svetovna karta padavina [12]

U pustinjskim predelima (Sahara, Arabija, Velika slana pustinja, Kalahari) veoma je malo padavina - manje od 250 mm godišnje. Predeli južno od Sahare i severni delovi Bliskog i Srednjeg Istoka, kao i predeli na obodu pustinja u južnoj Africi, prosečno imaju 250 mm do 500 mm padavina godišnje. Deo sredozerne obale Afrike i Bliskog Istoka, te predeli savane u severnom i južnom delu Afrike dobijaju od 500 mm do 1.000 mm padavina godišnje. U centralnoj Africi padne 1.000 mm do 2.000 mm (tropsko podneblje). Oko dela Gvinejskog zaliva i na području planine Ruvenzori je godišnja količina padavina veća od 2.000 mm.

Ako istovremeno posmatramo temperaturu i padavine, koje su većinom u obliku kiše, vidimo da ekvatorijalna Afrika ima tropsko podneblje (visoke temperature i mnogo vlage). Za takvo podneblje je veoma teško konstruisati adekvatnu odeću.

Bez obzira na uslove podneblja, odeća je samo jedna od komponenti, ali je vrlo važna. Druga komponenta je prilagođavanje organizma uslovima podneblja u određenoj državi.

Pošto nam za prilagođavanje treba neko vreme, odgovarajuća odeća nam pomaže da to dostignemo bez većih šteta po zdravlje.

Literatura

1. Thornthwaite C. W., Halstead M. 1950. Micrometeorology of the surface layer of the atmosphere. Interim reports 4–12. Seabrook, New Jersey, The Johns Hopkins University, Laboratory of Climatology.
2. Thornthwaite C. W. 1952. Micrometeorology of the surface layer of the atmosphere. Interim reports 1–18. Seabrook, New Jersey, The Johns Hopkins University, Laboratory of Climatology.
3. Leyst E. 1890. [Über die Bodentemperatur in Pawlowsk](#). Cit. po: Buntebarth G. 2002. Temperature Measurements Below the Earth's Surface: A History of Records. Earth Sciences History 21(2): 190–198.
4. Baum W. A. 1951. Note on the theory of super auto-convective lapse rates near the ground. Journal of Meteorology: 196–198.
5. Best A. C., Knighting E., Pedlow R. H., Stormonth K. 1952. Temperature and humidity gradient in the first 100 m over South-East England. London, HMSO London, Met. Off. Geophys. Mem: 89 str.
6. Kolesnikov P. A. 1965. Tepolozaščitnye svojstva odeždy. Moskva. Legkaja industrija: 124–125.
7. Baxter S. 1946. The thermal conductivity of textiles. Proceedings of the Physical Society 58 (1): 105.
8. Humphreys, W. J. 1940. Physics of the air. New York, McGraw-Hill: 690 str.
9. Kolesnikov P. A. 1965. Tepolozaščitnye svojstva odeždy. Moskva. Legkaja industrija: 146.
10. Fizikalnica. Toplotni pasovi. <http://fizikalnica2014.pbworks.com/w/page/116072765/Toplotni%20pasovi> (4. marec 2019)
11. Geiger R. 1973. The climate near the ground. Cambridge. Harvard University Press: str. 161.
12. Germšek B. 2015. Svetovna karta padavin. <https://germsek.com/svetovna-proizvodnja-hrane-zmanjkuje-zemlje/svetovna-karta-padavin/> (4. marca 2019)

Tabela 2-4: Spisak simbola

Oznak	Jedinica	Opis
α	m^2/s	toplotna provodljivost odnosno termička difuzivnost
α	P_a	konstanta
A	$kg/m.s$	turbulentna viskoznost odnosno koeficijent izmene
b		konstantna
c	$J/m^3.K$	specifična zapreminska toplota
c		konstantna
c_p	$J/kg.K$	specifična toplota pri konstantnom pritisku
D		količina karakteristike
e	Pa	parni pritisak
E	Pa	zasićeni parni pritisak
f	m^2	površina
f	$\%$	relativna vlažnost
G	W/m^2	gustina toplotnoga toka
h	Pa	pritisak
I_0	W/m^2	gustina energetskog toka zračenja sunčanih zraka koji padaju pod pravim uglom na ravan
I	W/m^2	gustina energetskog toka zračenja sunčevih zraka
K	m^2/s	turbulentna difuzija
ϕ	$^\circ$	oštri ugao između smera sunčevih zraka i normalne ravni na koju padaju
λ	$W/m.K$	koeficijent toplotne provodnosti
m	kg	masa
ρ	kg/m^3	gustina
ρ_v	kg/m^3	gustina vodene pare
R_v	$m^2/s.K$	asna konstantna
s		karakteristika
t	s	vreme
T	K	apsolutna temperatura
T_0	K	apsolutna temperatura kod $^\circ C = 273,16+ K$
v	m/s	brzina vetra
z	m	dubina ili visina

3. REGULISANJE TELESNE TEMPERATURE

3.1. Uvod

Regulisanje telesne temperature je veoma komplikovan proces. Toplokrvne životinje, koje imaju razvijen sistem znojnih žlezda, i čovek imaju prirodenu mogućnost regulisanja telesne temperature na nekom određenom - normalnom - nivou. Čovekova telesna temperatura je 37°C . To je temperatura u jezgru tela. Nećemo se upuštati u pojedinosti mehanizma regulacije telesne temperature, no konstruktor odeće mora poznavati bar neke osnovne činjenice. Regulacija temperature se može objasniti pomoću jednostavnog mehanizma. Na površini kože su receptori - krajevi nerava, koji su osetljivi na hladnoću i toplotu, odnosno na promenu temperature na površini tela.

Ovi receptori ili senzori šalju informacije o promeni temperature efektorima, odnosno organima koji iniciraju određene promene, neophodne za termostatiranje jezgra tela. O pravilnom međusobnom delovanju receptora i efektoru brine centar za regulaciju telesne temperature, koji igra ulogu centralne procesorske jedinice. On analizira ulazne podatke -promene temperature na površini kože odnosno na omotaču tela. Ako se podaci odnose na smanjenje temperature, centar aktivira efektore koji pokrenu mehanizme za povećanje proizvodnje toplote i smanjenje njenih gubitaka. Ukoliko, pak, senzori pošalju informaciju o povećanju temperature na površini kože, odnosno na omotaču tela, centar aktivira efektore koji pokreću mehanizme za smanjenje proizvodnje toplote, povećanje brzine odvođenja toplote iz tela prema površini kože (povećanje cirkulacije krvi i širenje krvnih sudova), te povećanje brzine odvođenja toplote sa površine kože (znojenje i isparavanje znoja).

Čovekovo telo emituje toplotu u okruženje. Na količinu proizvedene toplote utiče veliki broj faktora, kao što su: aktivnost i intenzitet aktivnosti čoveka, opšte zdravstveno stanje, uhranjenost, okruženje i sl.

Emitovanje toplote u okolinu svakako je, u prvom redu, zavisno od proizvodnje toplote, stanja okruženja, termoizolacijske vrednosti potkožnog tkiva, odeće i mirnog sloja vazduha na površini odeće.

Vidimo da su, kako proizvodnja tako i potrošnja, odnosno emitovanje toplote u okruženje, zavisni od mnogo faktora. Stalnost temperature zavisi od ravnoteže između proizvodnje i potrošnje toplote. Tu ravnotežu je veoma teško postići jer dnevna temperatura okruženja varira. Kod nas ponekad čak za 20°C i više, a čovek često menja vrstu i intenzitet svojih aktivnosti, zbog čega se može menjati i količina proizvedene toplote u veoma širokom intervalu vrednosti.

Regulisanju telesne temperature takođe pomaže odeća. Termoizolacijska vrednost odeće se ne može menjati kontinuirano. Odeća je obično višeslojna. Često se događa kod određenih aktivnosti da su tri sloja premalo, četiri previše. To znači da ćemo, ako smo obučeni u troslojnu odeću, nakon određenog vremena početi zepsti, a da će nam biti prevruće u četveroslojnoj odeći. Ukratko, ni u prvom ni u drugom slučaju se ne osećamo ugodno kao kada je temperatura na površini kože oko 33°C i kada je temperatura jezgra tela 37°C . U zoni ugodnosti možemo ostati samo, ako je istovremeno postignuta ravnoteža među proizvodnjom i zračenjem toplote i ako se ta ravnoteža ne menja. Iz navedenog možemo zaključiti da je veoma teško dostići zonu ugodnosti i u njoj održati organizam duže vremena.

I pored velikih promena intenziteta i vrste aktivnosti, kao i okruženja (temperature, vlažnost, vetar, oblačnost i sl.), temperatura jezgra tela i mozga se bitno ne menja. To je posledica delovanja mehanizma za ujednačavanje proizvodnje i emitovanja toplote u okruženje. Ovaj mehanizam otkazuje samo pri ekstremno niskim i ekstremno visokim temperaturama okruženja.

Ovo što smo kazali za jezgro i mozak, ne važi za udove tela i površinu kože. Kao što ćemo kasnije videti, na tim delovima tela temperatura se može menjati u veoma širokom rasponu, bez bilo kakvih trajnih posledica. U ekstremnim okolnostima (pre svega veoma niske temperature okruženja) može doći do trajnih oštećenja tih organa.

3.2. Proizvodnja toplote

Proizvodnja toplote je u neposrednoj vezi sa aktivnošću subjekta i ujednačavanjem telesne temperature, posmatrano na stanje subjekta i okruženja. Čoveče telo već samo po sebi ima određene termoizolacijske osobine, jer koža i potkožno tkivo deluju kao termoizolacijski omotač. Termoizolacijska vrednost toga „omotača” se menja prema stanju organizma i stanju okruženja. U našim klimatskim prilikama ta izolacija nije dovoljna.

Zbog toga upotrebljavamo odeću kao dodatni termoizolacioni sloj. Termoizolacijska vrednost tog sloja mora biti optimalna; to znači da kroz sloj prolazi onoliko toplote koliko je subjekat emituje kroz površinu kože. U tom slučaju se telesna temperatura (temperatura jezgra) kao i temperature površine kože ne menjaju.

Proizvodnja toplote nije konstantna nego se menja, pre svega u zavisnosti od vrste i intenziteta aktivnosti. Sa druge strane, menja se takođe i stanje okruženja. Okruženje je definisano parametrima kao što su: temperatura, vlažnost vazduha, brzina vetra i sl. Ukoliko želimo održati nepromenjenu temperaturu tela, što ujedno znači temperaturu ugodnosti, moramo menjati termoizolacijsku vrednost odeće, tako da temperatura tela ostane u zoni ugodnosti.

Obično je jednostavno izmeriti vrednosti parametara okruženja, kao što su: temperatura, relativna vlažnost, brzina vetra i vazdušni pritisak. Za to trebamo imati odgovarajuće instrumente. Nešto teže je utvrditi količinu toplote koju čovek emituje kroz površinu kože. Možemo koristiti približnu ocenu, koja označava količinu toplote, koju prosečan čovek emituje kroz površinu kože u okruženje kod date vrste i intenziteta aktivnosti.

Kroz površinu kože čovek emituje u okolinu oko 76 % ukupno proizvedene toplote. Preostala toplota se potroši za mehanički rad mišića i unutrašnjih organa, zagrevanje udahnutog vazduha i sl. Proizvodnju toplote možemo ustanoviti posredno preko merenja potrošnje kiseonika. Jedan litar potrošenog kiseonika odgovara 20,265 kJ. Inače se kreće od 19,681 za masnoću (iskorištenje 0,707) do 21,197 kJ za ugljene hidrate (iskorištenje 1,0). Uzećemo prosečno iskorištenje 0,82, to daje 20,265 kJ na litar potrošenog kiseonika. Obavezno još moramo definisati šta je prosečan čovek, odnosno prosečna osoba. Prosečna osoba je visoka 1.78 m, ima masu 63 kg i površinu kože 1,8 m². Poznavanje ovih parametara je neophodno, jer ponekad u literaturi nailazimo na podatak za proizvodnju toplote u kJ/kg ili u kJ/ m² površine kože. Prilikom preračunavanja toplotnog bilansa kod konstrukcije odeće obično koristimo prosečne vrednosti, kao što je na primer osnovni veličinski broj

odeće i sl. Proizvodnja toplote pre svega zavisi od organizma osobe, kao što se to vidi iz sledećeg primera - tabela 3-1 [1, 2]:

Tabela 3-1: Zavisnost proizvodnje toplote od vrste aktivnosti osobe

<i>Vrsta aktivnosti</i>	<i>Proizvodnja toplote, kJ/m².h</i>
<i>Spvanje</i>	168
<i>Sedenje</i>	210
<i>Stajanje</i>	315
<i>Lagani hod po ravnom, 3 km/h</i>	420
<i>Hod po ravnom, 4 km/h</i>	630
<i>Hod po ravnom, 6,3 km/h</i>	840
<i>Veoma težak neprekidni rad</i>	1050
<i>Povremeno veoma intenzivan rad</i>	2100

Ovo su samo orijentacioni podaci, mogu nam poslužiti pri određivanju termoizolacijske vrednosti odeće za različita stanja organizma osobe i različita stanja okruženja. Proizvodnja energije ne zavisi samo od stanja organizma u pogledu vrste i inenziteta aktivnosti, nego i od starosti i pola, kao što se vidi iz tabele 3-2. U toj tabeli je prikazana proizvodnja toplote za vreme spavanja. Iz rezultata se vidi da ranije spomenutih 168 kJ/m².h važi za mušku osobu između 20 i 30 godina starosti te za žensku osobu između 16 i 18 godina. Mlađi od njih proizvode više, a stariji manje toplote.

Čovek ne emituje toplotu sa površine kože ravnomerno u okolinu. Količina toplote koju čovek emituje u okolinu sa površine glave razlikovaće se od količine toplote koju emituje na primer sa prsa ili pleća – računato na jedinicu površine kože u jedinici vremena. Ove razlike moramo poznavati zbog toga da bismo pojedine delove tela u uslovima hladnog okruženja zaštitili samo sa tolikom količinom odeće, koja će u datim uslovima dati optimalan učinak, odnosno omogućiti postizanje područja ugodnosti.

Iz tabele 3-3 vidimo da je najintenzivnije emitovanje, računato po jedinici površine, sa površine glave, najmanje je kroz površinu trupa. Ako poredimo glavu i vrat sa trupom, vidimo da je emitovanje toplote sa površine glave i vrata približno četiri puta veće, računato na jedinicu površine u jedinici vremena. Ova razlika je približno ista razlici između spavanja i hoda po ravnom brzinom 6,3 km/h. Zbog ove razlike je neophodno, u hladnom okruženju, izolovati više trup nego glavu. Brzine, navedene u tabeli 3-3, se odnose na hod po ravnom.

Tabela 3-2: Proizvodnja toplote tokom spavanja u zavisnosti od starosti i pola subjekta [3]

Godine starosti	Proizvodnja toplote v kJ/m ²	
	muški	ženske
14 - 16	193	181
16 - 18	181	168
18 -20	172	160
20 - 30	166	155
40 - 50	162	151
50 - 60	158	147
60 - 70	152	143
70 - 80	149	139

Tabela 3-3: Topografija emitovanja toplote sa površine pojedinih delova tela odevenog muškarca u zavisnosti od stanja organizma [4,5]

Deo tela	Površina kože m ²	Emitovanje toplote u okruženje sa pojedinih delova tela, kJ/m ² .h				
		%	Spavanje, 168	Sedenje, 210	Hod 3 km/h, 420	Hod 6,3 km/h, 840
Trup	0,630	35	96	121	256	511
Glava	0,126	7	432	543	900	1.800
Šake	0,090	5	144	181	386	773
Noge	0,576	32	199	249	534	1.068
Ruke	0,252	114	162	203	393	786
Stopala	0,126	7	175	219	336	672

Što se tiče udova, stopala i šaka sa prstima, stanje je veoma kompleksno. Količine toplote, navedene u tabeli 3-3, odnose se na optimalno stanje - zonu ugodnosti. Ukoliko se naruši ravnoteža između proizvodnje i emitovanja toplote, stanje se promeni. Ako je temperatura okruženja viša od temperature površine kože, povećaće se brzina emitovanja toplote sa ekstremiteta (ruke, noge), ako je temperatura okruženja niža i ravnoteža se naruši, emituje se više toplote nego što se proizvodi, onda se brzina emitovanja sa površine udova smanji.

Zanimljivo je još pogledati razlike emitovanja toplote sa površine pojedinih delova tela muškarca i žene, i takođe uticaj nagiba i opterećenja subjekta na količinu emitovane toplote.

U tabelama 3-3 i 3-4 rezultati odevenih osoba se odnose na normalnu zimsku odeću uz vanjsku temperaturu 5 do 11 °C i brzinu vetra 1 m/s.

Iz tabele 3-4 vidimo da je između žene i muškarca velika razlika u emitovanju toplote sa površine glave. Kod muškaraca je gubitak toplote mnogo veći. Ovu razliku pripisujemo pre svega količini kose na glavi, koja je dobar toplotni izolator; a uzrok te razlike može biti delimično i različit dio površine kože na glavi muškarca i žene. Proizvodnja toplote tokom hodanja po ravnom zavisi od kvaliteta površine puta. Ta zavisnost je prikazana u tabeli 3-5.

Tabela 3-4: Procentni udeo emitovanja toplote sa površine pojedinih delova tela muškaraca i žena pod određenim uslovima [5]

<i>Deo tela</i>	<i>Deo emitovane toplote, %</i>					
	<i>Sedenje</i>		<i>Hod po ravnom 4 km/h</i>			
	<i>Goli</i>		<i>Odeveni</i>		<i>Odeveni</i>	
	<i>Muški</i>	<i>Ženske</i>	<i>Muški</i>	<i>Ženske</i>	<i>Muški</i>	<i>Ženske</i>
<i>Trup</i>	31,3	34,3	20,1	23,6	21,3	22,0
<i>Ruke</i>	15,9	14,9	13,5	13,7	13,1	12,1
<i>Šake</i>	3,5	5,0	4,3	6,3	4,6	4,4
<i>Noge</i>	33,3	25,6	37,9	37,5	40,7	44,0
<i>Stopala</i>	4,0	10,1	7,3	7,8	5,6	6,4
<i>Glava</i>	12,2	9,8	18,1	12,9	15,0	11,8
<i>Zbir</i>	100,2	99,7	101,2	101,8	100,3	100,7

Isto tako, nije svejedno da li se krećemo sa opterećenjem ili bez njega. U tabeli 3-6 je prikazana zavisnost proizvodnje toplote (energije) od brzine kretanja i opterećenja. Slovenija je pretežno planinska. Često se krećemo po više ili manje strmim područjima. Tada su okolnosti drugačije, nego kada se krećemo po ravnom. Prilikom hodanja u planini proizvodnja toplote je veća, kretanje se usporava. U tabelama 3-5 do 3-7 ona je jednaka toploti emitovanoj sa površine kože u uslovima energetske ravnoteže. U tabeli 3-7 je prikazana zavisnost proizvodnje toplote od brzine kretanja, nagiba i veličine opterećenja.

Tabela 3-5: Zavisnot proizvodnje toplote (energije) osobe, koja je obučena u terensku odeću, od kvaliteta puta [6]

Vrsta puta (ravnog terena)	Brzina hoda, km/h	Proizvodnja toplote, kJ/m ² .h
Makadam	4	420
Trava	4	504
Strništa i njive	4	588
Peščano i glinasto zemljište	3,5	588
Duboko uzorano zemljište	3	714

Tabela 3-6: Zavisnost proizvodnje toplote od brzine kretanja i opterećenja [6]

Opterećenje, kg	Brzina kretanja, km/h	Proizvodnja toplote, kJm ² .h
10	4	504
30	4	756
50	4	1134
70	3,5	1638
100	3	2100

Tabela 3-7: Zavisnost proizvodnje toplote od kosine, brzine uspona i opterećenja [6]

Uspon, stepeni	Brzina uspinjanja, km/h	Opterećenje, kg	Proizvodnja toplote, kJ/m ² .h
10	0,43	0	672
10	0,43	20	840
10	0,43	50	1302
16	0,69	0	1176
16	0,69	20	1386
16	0,69	50	2226
25	1,05	0	1848
25	1,05	20	2394
25	1,05	50	3780

3.3. Održavanje telesne temperature

3.2.1. Uopšte

Održavanje telesne temperature je u neposrednoj vezi sa održavanjem ravnoteže između proizvodnje i potrošnje energije. Pre svega bavićemo se proizvodnjom i potrošnjom toplote. Od ukupno proizvedene toplote se oko 14% potroši na isparavanje znoja i 10% za zagrijavanje udahnutog vazduha, kao i na isparavanje vodene pare koju izdahnemo. Preostalih 76% se oslobodi – emituje – sa površine kože. Ova količina zavisi od vrste i intenziteta aktivnosti (tačka 3.2).

Za konstruktora odeće pre svega je zanimljiva količina toplote koja se sa površine kože emituje u okruženje, jer tu količinu uzimamo u obzir kod projektovanja i izračunavanja termoizolacijske vrednosti odeće. To je bitno u okolnostima kada otkazu svi mehanizmi povećanja proizvodnje toplote zbog preniskih temperatura okruženja, odnosno u slučaju kada su gubici veći od dotoka toplote i te razlike ne može da izjednači centar koji reguliše telesnu temperaturu.

U našem podneblju, zbog relativno niskih temperatura u većem delu godine, s obzirom na temperaturu površine kože, koristimo termoizolacijski sloj (odeću) da sprečimo pothlađivanje organizma. Ređe dolazimo u situaciju kada nam preti opasnost od pregrevanja organizma. Zbog toga ćemo više prostora posvetiti problemu zaštite organizma od pothlađivanja, nego od pregrevanja, iako smrt može nastupiti ne samo od pothlađivanja (smrzavanja) nego i od toplotnog šoka - pregrevanja organizma.

U okolnostima, u kojima može doći do pregrevanja organizma, tekstilac može pomoći samo tankim slojem odeće koja bi čoveka štitila pred spoljnim toplotnim opterećenjem. Kod nagog čoveka, čiji organizam se pregrejava zbog velike proizvodnje toplote – baveći se radom za koji je potreban veliki fizički napor, tekstilac ne može pomoći. Taj problem je isključivo u domenu medicine.

Količinu toplote koju čovek emituje u jedinici vremena u okruženje možemo odrediti pomoću sledeće jednačine:

$$Q = \frac{\lambda}{d}(T_1 - T_2)St \quad (3.1)$$

gde su:

- Q - količina toplote, kJ;
- λ - koeficijent toplotne provodnosti podkožnoga tkiva subjekta, koji ima ulogu termoizolacijskog sloja, kJ/m.h.⁰C;
- d - debljina podkožnog tkiva, m;
- T_1 - temperatura jezgra tela osobe, (37 ⁰C);
- T_2 - temperatura okruženja, ⁰C;
- S - površina kože, m²;
- t - vreme merenja emitovanja (zračenja) toplote.

Jednačina 3-1 važi za golo telo. Može važiti i za obučenu osobu. U tom slučaju bi opisivala stanje na površini kože i površini odeće. Koeficijent toplotne provodnosti bi se odnosio na odeću, d na debljinu odeće, i T_1 na temperature površine kože. Ostanimo kod gole osobe. Gornja granica temperature površine kože je $36\text{ }^{\circ}\text{C}$; područje ugodnosti je onda kada je prosečna temperatura površine kože na čelu i prsima oko $33\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ako pretpostavimo da je debljina izolacionog sloja omotača - kože i potkožnog tkiva prosečno oko 1,3 cm, temperaturni gradient* u području ugodnosti će biti oko $3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ izolacionog omotača.

Pretpostavićemo da je debljina izolacionog omotača jednaka po čitavom telu i da na svim delovima ima istu vrednost koeficijenta toplotne provodnosti u području ugodnosti u stanju spavanja. Ta pretpostavka u stvarnosti nije tačna jer je izolacioni omotač na pojedinim delovima mišićno, dobro prokrvljeno tkivo, a na drugim delovima je masnoća. Masnoća je bolji toplotni izolator nego mišićno tkivo. I pored toga, možemo koristiti prosečnu vrednost, koja se menja u zavisnosti od stanja organizma i stanja okruženja u granicama približno $3,023\text{ kJ}/\text{m}\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}$ do $0,3790\text{ kJ}/\text{m}\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}$ [7]. Taj interval nam kaže da se vrednost koeficijenta toplotne provodnosti takođe menja za faktor 8 u zavisnosti od stanja okruženja i stanja organizma. U izuzetnim slučajevima je promena vrednosti takođe za faktor 10. To znači da je organizam sposoban da se prilagodi veoma velikim promenama stanja okruženja. Kasnije ćemo videti da je primerenije upotrebiti toplotni otpor. Pošto smo pretpostavili da je prosečna debljina izolacionog omotača tela oko 1,3 cm, njegov toplotni otpor će biti u granicama $0,0043$ do $0,0343\text{ m}^2\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}/\text{kJ}$. Između toplotnog otpora i koeficijenta toplotne otpornosti postoji sledeća jednostavna međuzavisnost

$$R_c = \frac{d}{\lambda} \quad (3.2)$$

gde su:

- R_c - toplotni otpor odeće, $\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}/\text{kJ}$
- d - debljina termoizolacijskog sloja, m;
- λ - koeficijent toplotne provodnosti termoizolacijskog sloja, $\text{kJ}/\text{m}\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}$.

U porama tekstilnog proizvoda je, na primer, vrednost koeficijenta toplotne provodnosti vode $2,1\text{ kJ}/\text{m}\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}$ i leda $8,4\text{ kJ}/\text{m}\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}$. Iz toga proizilazi da je gornja vrednost koeficijenta toplotne provodnosti tkiva veća nego kod vode. To možemo objasniti time što su onda, kada koeficijent toplotne provodnosti ima najveću vrednost, krvni sudovi rašireni i što je u tim situacijama kruženje krvi najbrže. Krv donosi toplotu iz jezgra tela i mišićnog tkiva. Dakle, razlika stanja sistema u odnosu na mirujuću vodu je značajna. Ovde moramo kazati da je prosečna debljina termoizolacijskog omotača izračunata na osnovu temperaturnog gradienta* $3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{cm}$, koji važi za područje ugodnosti za vreme spavanja. Iz graničnih vrednosti koeficijenta toplotne provodnosti očito je da temperaturni gradient nije konstantna vrednost.

Donja vrednost koeficijenta toplotne provodnosti termoizolacijskog omotača je već u području srednje dobrih toplotnih izolatora, jer je samo za oko 50 % viša od vrednosti koju imaju neke vrste

pamučnih tkanina. Ova vrednost se dostiže samo onda kada se krvni sudovi suze i protok krvi kroz potkožno tkivo smanji na minimum. Toplota, koja je kondukcijom iz unutrašnjosti tela došla na površinu kože, izgubi se u okruženju. Deo toplote se prenosi u okruženje zračenjem, a deo konvekcijom. Prenos toplote sa površine kože nije jednostavan. Tu postoji još jedna prepreka – sloj mirujućeg vazduha na površini kože. Ovaj sloj deluje kao toplotni izolator. U normalnim okolnostima, za vreme spavanja, kada smo u području ugodnosti a vazduh u okruženju se ne kreće, sloj mirujućeg vazduha dostiže toplotni otpor $0,0356 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}/\text{kJ}$ [8].

Toplotni otpor mirujućeg sloja vazduha se menja u zavisnosti od brzine kretanja subjekta, brzine vetra, intenziteta isparavanja kao i intenziteta emitovanja toplote. Ako se vrednosti nabrojanih faktora povećaju, onda se smanjuje toplotni otpor mirujućeg sloja vazduha na površini kože. Ukoliko je relativna brzina vazduha u m/s i toplotni otpor sloja mirujućeg vazduha R_a , promenu toplotnog otpora u zavisnosti od brzine vetra v dobro opisuje sledeća jednačina [8]:

$$R_a = \frac{0,0429}{0,4 + 2,0v^{0,5}} \quad (3.3)$$

gde su:

- R_a - toplotni otpor, $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}/\text{kJ}$;
- v - početna brzina pred ulazom čestice u kanal

Ranije navedenu vrednost toplotnog otpora $0,0356 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}/\text{kJ}$ dostižemo pri brzini vetra od $0,162 \text{ m/s}$. To nam pokazuje da jednačina 3.3 ne važi za brzine vetra koje se približavaju nuli. Pri brzini $v = 0$, R bi imao vrednost $0,1073$, što je tri puta više nego stvarno izmerena vrednost. Zbog toga se mora u jednačini 3.3 postaviti ograničenje. Jednačina 3.3 važi ako je $v \geq 1 \text{ m/s}$. Tačnost izračunatih rezultata je $\pm 2 \%$. Otpor sloja vazduha na površini se može povećati i u slučaju kada se kod subjekta koža naježi. Tada se dlake usprave, površina kože postane hrapava - manje glatka, što usporava kretanje vazduha. No, u tom slučaju se povećava površina kože, što znači povećanje toplotnih gubitaka. Ipak preovladava učinak povećane izolacije zbog povećanja debljine mirujućeg sloja vazduha. U 2. poglavlju smo već naveli da nekoliko milimetara debeo sloj vazduha neposredno nad površinom zemlje prenosi toplotu pomoću kondukcije. Verovatno isto važi za površinu kože.

3.2.2. Održavanje toplotne ravnoteže

3.2.2.1. Održavanje proizvodnje toplote

U stanju mirovanja toplota se uglavnom proizvodi u jezgu tela. U tom stanju se samo oko 20 % toplote proizvede u mišićnom tkivu i oko polovice u ekstremitetima. Metabolizam je približno linearno zavisian od mase tela; međutim, pretpostavlja se da količina proizvedene toplote ne zavisi od površine osobe [9]. Ukoliko mišići rade, situacija se bitno menja. Proizvodnja toplote poraste 10 do 15-puta, pa i više. To povećanje ide na račun rada mišića, delimično i na račun povećanog intenziteta rada srca, mišića u plućima i znojnih žlezda, a možda delimično i na račun centralnog nervnog sistema. U uslovima intenzivne aktivnosti mišića u njima se proizvede 85-90 % toplote. Istovremeno

se 50 do 60 % toplote može osloboditi – izgubiti – u okruženju kroz površinu ekstremiteta. Iz ovog vidimo da se pretežni deo ukupne proizvedene energije pojavljuje u obliku toplotne energije. Ta količina je tolika da otežava ujednačavanje između proizvodnje i gubitaka, što može prouzrokovati povećanje opšteg nivoa telesne temperature.

Ukoliko je temperatura okruženja mnogo niža od temperature površine kože, može doći do deficita toplote. U slučaju deficita (veći gubici toplote nego što je njena proizvodnja), nakon određenog vremena bi moglo nastupiti snižavanje opšteg nivoa telesne temperature, posebno na prstima ruku i nogu. Zbog toga mogu nastupiti brojne negativne posledice, između ostalog smrzavanje pojedinih delova tela i, izuzetno, čak smrt. U takvim slučajevima organizam aktivira određene mehanizme koji utiču na povećanje proizvodnje toplote i smanjenje gubitaka kroz površinu kože u okruženje.

Tokom mraza, kada je organizam u opasnosti da se pothladi, adrenalinske žlezde počinju lučiti adrenalin u krv. Adrenalin pojačava metabolizam. Ubrzava se sagorevanje ugljenih hidrata i količina šećera u krvi se povećava. Rezultati ispitivanja na miševima, kojima su ubrizgali adrenalin, pokazuju da se na temperaturi 4 °C pojača metabolizam za 170 % [10]. Ova vrednost metabolizma se nije promenila dok temperature okruženja nije porasla na 29 °C. Čak i kada jednu adrenalinsku žlezdu odstranimo, metabolizam se povećava za 130 %. Kada se odstrane obe adrenalinske žlezde, snizi se telesna temperatura i metabolizam, takođe. Zbog toga se taj miš pothladio i na kraju smrzt. Kod ljudi je verovatno ugrađen sličan mehanizam.

Adrenalinske žlezde ne povećavaju izlučivanje adrenalina samo na hladnoći, nego i onda kada smo iznervirani, bez obzira na to kakva je vanjska temperatura. Ako se povećava izlučivanje adrenalina i sa tim i proizvodnja toplote, u slučaju kada je temperatura okruženja relativno visoka, mogu nastati neželjene posledice - znojenje i povećanje telesne temperature iznad gornje granične temperature područja ugodnosti. Postoje razlike između muškaraca i žena. Ispitivanja su pokazala da u Indiji žene imaju niži metabolizam nego žene u umerenom klimatskom pojasu [11]. Zapaženo je, takođe, da se metabolizam počne smanjivati posle tri dana boravka u tropskim predelima i na kraju prve sedmice se smanji za približno 10% [12].

U eksperimentalnim uslovima teško je ustanoviti promenu metabolizma kod povišenih temperatura, pošto se tada povećava telesna temperatura, koja sama po sebi ubrzava metabolizam. To pokrije učinak koji, eventualno, ima smanjenje aktivnosti tiroidne žlezde.

Kao što se iz tabele 3-1 vidi, žene imaju sporiji metabolizam nego muškarci. Tome može biti uzrok to što su žene osetljivije na mraz noću nego muškarci. Sa druge strane, žene lakše podnose hladnu kupku nego muškarci i uopšteno potkožno tkivo žena ima višu termoizolacijsku vrednost. To je verovatno zbog sloja masnoće, koja je bolji toplotni izolator nego mišićno tkivo. Kod žena je takođe manji gubitak toplote radi isparavanja; verovatno zbog niže temperature na površini kože.

Ove pretpostavke potvrđuje primer iz NOB. U zimskom noćnom maršu partizana u Gorskom Kotaru se smrztlo više od 30 boraca. U koloni je bilo i 37 partizanki, od kojih nijedna nije podlegla mrazu. Iako nema preciznih podataka o količini i kvalitetu odeće koju su imali pojedinci, s obzirom na tadašnje prilike možemo sa velikom sigurnošću smatrati da žene nisu bile ništa bolje obučene od muškaraca. Iz ovog možemo zaključiti da su žene uopšteno otpornije na mraz nego muškarci. Pri tome svakako važnu ulogu ima omotač čovečjeg tela, koji kod žena sadrži više masti nego kod muškaraca i zbog toga ima veću termoizolacijsku vrednost.

Možemo dakle uopšteno zaključiti da se kod čoveka pojača metabolizam i sa tim i proizvodnja toplote pri niskim temperaturama zbog dva glavna uzroka: zbog rasta količine adrenalina i povećane endokrine aktivnosti uopšte, i drugo zbog drhtanja (cvokotanja) i drugih aktivnosti miškulature.

3.2.2.2. Regulisanje toplotnih gubitaka

3.2.2.2.a. Opšte

Telo proizvodi toplotu. Proizvedena toplota se uglavnom emituje u okruženje. To je moguće samo onda kada je temperatura okruženja niža od temperature površine kože. Što je veća temperturna razlika, tim veću količinu toplote je moguće emitovati u okruženje (vidi jednačinu 3.1). Pritom se može narušiti ravnoteža između proizvodnje i gubitaka toplote. Ako gubici premašuju proizvodnju, smanjuje se prosečna temperatura površine kože čela na 30 °C i niže. Tada osoba oseća hladnoću. Kod veoma niskih temperatura površine kože pojedinog dela tela, osećaj hladnoće se može promeniti čak u bol. Ovo posebno važi za prste ruku i nogu. U tabeli 3-8 su navedeni osećaji pri određenoj temperature površine kože, kao i procenat površine kože koji je na datoj temperature prekriven tekućinom - znojem.

Iz tabele 3-8 se vidi, da promena temperature površine kože za samo nekoliko stepeni van područja ugodnosti (32,2 °C do 33,2 °C) ima veoma neugodne posledice na osećanje čoveka. Temperature navedene u tabeli 3-8 odnose se na temperaturu čela. Istovremeno na drugim delovima tela temperatura površine kože može biti drugačija, što je pokazano u tabeli 3-9.

Tabela 3-8: Zavisnost osećanja osobe i vlažnosti kože od temperature površine kože čela [13]

Temperatura na površini kože čela, °C	Subjektivni osećaj osobe	Procenat kože koji je prekriven znojem
28,0 - 29,9	veoma hladno	10 - 18
30,0 - 32,1	hladno	10 - 20
32,2 - 33,2	ugodno	12 – 25
33,3 - 34,3	toplo	15 – 30
34,4 - 35,5	vruće	30 – 90
35,6 – 36,6	veoma vruće	100

Uporedimo li tabele 3-8 i 3-9, vidimo da je temperatura ekstremiteta na temperaturi okruženja 16 °C mnogo niža od temperature čela i prsa. To ujedno znači da su ekstremiteti manje osetljivi na smanjenje temperature površine kože nego glava ili trup. Na niskim temperaturama samo je deo kože prekriven znojem, i to samo u neposrednoj okolini znojnih žlezda. Takvo stanje je ugodno jer se bitno ne povećava vrednost koeficijenta toplotne provodnosti sloja koji je neposredno na površini kože. Već smo rekli da se sa snižavanjem temperature površine kože, i sa tim temperature potkožnog tkiva, povećava toplotni otpor potkožnog tkiva, što znači manji gubitak toplote. Pored toga smanji se temperturna razlika između temperature površine kože i temperature okruženja, što takođe utiče na smanjenje gubitaka toplote.

Tabela 3-9: Temperatura kože na pojedinim delovima tela u zavisnosti od temperature okruženja

Temperatura vazduha, °C	Temperatura, °C			
	Čela	Prsa	Šaka	Stopala
16	33,0	33,2	27,2	23,9
20	33,4	33,6	30,4	27,0
24	34,1	35,6	34,5	32,1

Kada razmišljamo o toplotnim gubicima obavezno moramo analizirati gubitke toplote preko ekstremiteta. Pri tome moramo uzeti u obzir ponašanje mirnog sloja vazduha na površini kože. Ovaj sloj ima veći toplotni otpor na ravnoj nego na valjkastoj površini. Što je manji prečnik valjka, tim veća je pokretljivost tog sloja i tim manji je toplotni otpor, koji sloj pruža. Trup (torzo) možemo posmatrati kao približno ravnu površinu. Kada se udaljavamo od ravne površine i sečemo vazdušne slojeve paralelno sa posmatranom površinom, veličina površine se ne menja. To takođe važi i za broj molekula koje preuzimaju toplotnu energiju od posmatrane površine tela, koje ima višu temperaturu od vazduha koji ga obuhvata. Ako telo ima valjkasti oblik kao, na primer, prst na ruci, veličina površine sloja vazduha, koji obuhvata prst na određenoj udaljenosti, povećava se srazmerno sa povećanjem poluprečnika posmatranog sloja. Posledica toga je povećanje broja molekula vazduha koji preuzimaju toplotu sa površine posmatranog prsta. Vani se to manifestuje kao smanjenje toplotnog otpora odeće na posmatranom valjkastom delu tela. Na sfernim površinama, kao što su na primer krajevi prstiju, to smanjenje umanjuje toplotni otpor. Smanjenje je još drastičnije jer je površina sfere vazduha na određenoj udaljenosti od sfernog dela tela srazmerna kvadratu poluprečnika posmatrane sfere. Shodno tome se povećava broj molekula koje učestvuju u procesu prenosa toplote sa površine tela u okruženje. To se takođe vidi iz tabele 3-3. Najveći gubici toplote na jedinici površine kože se javljaju na stopalima, a najmanji kroz površinu kože koja omotava trup. Stopala zauzimaju približno 10 % cele površine tela, no kroz njih se gubi oko 13% toplote, što je za 30% više nego prosečno sa čitave površine tela. To važi pre svega za tople okolnosti. U hladnim okolnostima situacija je potpuno drugačija: kroz stopala se gubi samo 7% toplote ili 30% manje nego što su prosečni gubici sa celog tela [14]. Ove promene su posledica promene brzine kruženja krvi kao i širenja i skupljanja krvnih sudova. Temperatura na površini stopala se može spustiti na 20 °C i još niže. S ovim su ukupni gubici još manji od 7%.

Kod uobičajenih srednjih temperatura toplota se gubi uglavnom konvekcijom i samo delimično zbog isparavanja znoja. Kod visokih temperatura raste deo gubitaka zbog isparavanja znoja; smanjuje se deo gubitaka zbog konvekcije.

Veoma je važno da su ruke i noge dobro toplotno izolovane jer se arterijska krv može ohladiti za 10 °C do 15 °C, pre nego uopšte dopre do prstiju. Deo toplote koja se izgubi, iskoristi se za zagrevanje venske krvi, što je pozitivno u pogledu ekonomije telesne toplote. Ovaj princip omogućava da se tkivo snadbeva ohlađenom krvi. Zbog toga se usporava gubitak toplote, jer temperatura ekstremiteta

ostaje niža i na taj način je razlika među temperaturom kože i temperaturom okruženja manja. U toplom okruženju povećaćemo gubitak toplote tako što povećamo površinu tela na način da raširimo ekstremitete, kao i prste. U hladnom okruženju, kada je potrebno smanjiti gubitak toplote, to ćemo ustvariti tako što ruke pritisnemo uz telo i sastavimo noge. Prilikom spavanja ili sedenja se skupimo koliko god je moguće.

Kod gubitaka toplote moramo uzeti u obzir i gubitke zbog isparavanja. U normalnim situacijama za isparavanje se potroši oko 24% svih gubitaka toplote; 10% otpada na gubitke, koji su posledica zagrevanja vazduha koji izdišemo, i 14% na isparavanje znoja sa površine kože. Ako se ne radi o normalnim situacijama (niske temperature ili povećana aktivnost), te vrednosti se menjaju.

Sa promenom aktivnosti se ne menja samo proizvodnja toplote nego i gubici. Ako se na primer, krećemo, povećava se relativna brzina vazduha; ona smanjuje debljinu sloja nepokretnog vazduha na površini kože odnosno odeće. Tako se smanjuje termoizolacijska vrednost tog sloja i koncentracija molekula vode, koje se javljaju prilikom znojenja, takođe. To znači povećanu brzinu isparavanja i povećanu količinu gubitka toplote konvekcijom, što sve skupa znači preveliko povećanje gubitaka toplote.

Sa povećanjem intenziteta aktivnosti povećava se i proizvodnja toplote, a time se obavezno povećaju i gubici. Samo na taj način može se uspostaviti ravnoteža između proizvodnje i emitovanja toplote u okruženje. Pored navedenog, gubici toplote se povećavaju zbog smanjenja termoizolacijske vrednosti potkožnog tkiva. Ona se prilikom spavanja povećava za 30% do 50% u odnosu na vrednosti u normalnim okolnostima. Novo stanje, koje je posledica povećane sktivnosti, postiže se za 35 do 45 minuta i dalje se ne menja ako se ne menja aktivnost i njen intenzitet.

Ukoliko je intenzitet aktivnosti takav da gubici ne prate proizvodnju, može se dogoditi da se čak poveća temperatura jezgra tela. Ako radnik pri određenom poslu potroši 1 litar kiseonika u minuti, povećaće se temperatura jezgra tela na $37,3^{\circ}\text{C}$ do $37,6^{\circ}\text{C}$; ukoliko je rad intenzivniji i subjekt upotrebi 3 litra kiseonika po minutu, na primer tokom trčanja, temperatura jezgra tela se poveća na $38,7^{\circ}\text{C}$ do $39,6^{\circ}\text{C}$ [15].

Dakle, uopšteno se ujednačavaju toplotni gubici pomoću promene termoizolacijske vrednosti sloja vazduha na površini kože, promene termoizolacijske vrednosti potkožnog tkiva i promene brzine znojenja i isparavanja znoja.

3.2.2.2.b. Toplotna izolacija mirnog (nepokretnog) sloja vazduha na površini kože (ili odeće)

Mirni sloj vazduha na površini kože ima relativno visoku termoizolacijsku vrednost. Ta vrednost nije konstantna nego zavisi od kvaliteta površine kože (glatka, hrapava, kosmata) i njene geometrije (ravna, valjkasta ili sferna). Izgled kože se može mnogo promeniti zbog pilo-motorične aktivnosti (ježenje kože). Koža postaje hrapavija i dlake se usprave. Posledica takvog stanja površine kože se poveća termoizolacijske vrednosti sloja mirnog vazduha neposredno na površini kože. Tu vrednost izražavamo kao toplotni otpor i on u mirnom vremenu ima vrednost $0,034 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{kJ}$. Kada se kože naježi, ta vrednost se poveća na $0,0471 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{kJ}$ do $0,0514 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{kJ}$. Ovi toplotni otpori su

približno iste vrednosti kao toplotni otpori koje ima srednje topla odeća, koja omogućava područje ugodnosti prilikom sedenja na temperaturi približno 20 °C bez vetra. Ove osobine sloja vazduha su veoma korisne na hladnom vremenu, kada proizvodnja toplote jedva dostiže gubitke. Pri toplom vremenu ili kod povećane proizvodnje toplote, ta osobina površinskog sloja vazduha ima, u stvari, negativan uticaj. Ona sprečava gubitak toplote bez obzira na proizvodnju. Time se može narušiti toplotna ravnoteža i pojavljuje se pregrevanje organizma sa svim negativnim posledicama.

Toplotni otpor površinskog sloja vazduha je veoma osetljiv na brzinu kretanja vazduha u okruženju. Brzina vetra od 30 km/h već će smanjiti toplotni otpor površinskog sloja vazduha na 0,0081 m².h.⁰C/kJ. Stvarne promene toplotnog otpora površinskog sloja vazduha daje jednačina 3.3 za brzine vetra veće od 1 m/s. Kod brzine vetra 30 km/h izračunata vrednost otpora pomoću jednačine 3.3 iznosi 0,0069 m².h.⁰C/kJ. Vidimo da je vredost toplotnog otpora

izračunata pomoću jednačine 3.3, za približno 15 % manja od spomenute izmerene vrednosti [16]. Ova razlika je verovatno posledica razlike u kvalitetu površine na kojoj je sloj vazduha čiji smo otpor merili.

Sa druge strane, ovakva promena toplotnog otpora pod uticajem vetra u hladnom okruženju može biti veoma negativna, jer ubrzava gubitke toplote. Naime, u određenim situacijama narušava toplotnu ravnotežu - nastupa potpuno hlađenje organizma.

3.2.2.2.c. Izolacijska vrednost tkiva

Promena izolacijske vrednosti tkiva je posledica promene brzine kruženja krvi. U suštini je to glavni mehanizam toplotnih gubitaka (tu ne uzimamo u obzir odeću). Kao što smo ranije naveli, u potkožnom tkivu se menja toplotni otpor u intervalu 0,0343 m².h.⁰C/kJ do 0,0086 m².h.⁰C/kJ. Ukoliko je metabolizam na nivou bazalnog (spavanje), vrednost otpora se izuzetno povećava i do 0,0729 m².h.⁰C/kJ. Najčešće je oko 0,0471 m².h.⁰C/kJ [17].

Povećanje toplotnog otpora tkiva ne zavisi samo od smanjenja krvotoka u tkivu, koji prenosi veći deo toplote, nego i od promene upotrebljenih puteva. Izmereno je da je brzina protoka krvi u rukama pri niskim temperaturama samo 0,15 ml/min na 100 ml tkiva [17]. Takvo stanje omogućava da potkožno tkivo preuzme ulogu termoizolacijskog sloja, i ono bi imalo približno jednak otpor kao i sloj pluta iste debljine ako bi potpuno prestala cirkulacija u tom tkivu. Centimetar debela pluta daje približan otpor 0,0643 m².h.⁰C/kJ. Ako bi 1 cm debelo potkožno tkivo imalo isti otpor, toplotni gubici bi bili oko 46 kJ/m².h u slučaju kada je temperaturni gradijen 3 °C/cm. To važi u slučaju kada je krvotok veoma usporen. Jedan cm debela potkožna masnoća ima otpor oko 0,0343 m².h.⁰C /kJ.

Gubitak toplote kroz šake i prste ruka nije posledica visoke vrednosti toplotne izolacije potkožnog tkiva, jer ono na rukama ima relativno malu debljinu, nego manje vrednosti temperaturnog gradienta, koja je između 1,5 °C/cm i 2,0 °C/cm. Osim toga, određenu ulogu ima i temperaturna razlika među temperaturama na površini kože ruke (šake i prsti) i okruženja. Ako je temperatura na površini kože ruka samo 16 °C, a temperatura okruženja 16,6 °C, brzina gubitka toplote je samo oko 26 kJ/m.h. [17].

Kao što smo već naveli, prilikom izmena toplote arterijska krv se hladi. Tome dosta pomaže venska krv, koja se kreće od površine ka srcu. Na tom putu rashlađuje arterijsku krv i sama se zagreva. Takav mehanizam omogućava kruženje krvi na primer u šakama i prstima i kod relativno male izmene

toplote sa hladnim okruženjem. Na taj način se zadrži nizak nivo temperature u dubini potkožnog tkiva ruku.

U okolnostima kada je hladno, arterijska krv se više hladi venoznom krvi. Stanje se može i promeniti. Ako su mišići aktivni, može se čak i povećati temperatura njihove venske krvi. Vruća venska krv, koja odlazi iz mišića, hladiće se zbog izmene toplote sa arterijskom krvi (ako ona ima nižu temperaturu), koja dotiče iz dubine tela prema površini. Zbog tog delovanja smanjuje se toplotna izolacija mišićnog tkiva. Slično se događa prilikom drhtanja (cvokotanja). Hlađenje arterijske krvi nepoželjno je u vrućem okruženju. Takav je primer kada je temperatura okruženja veoma visoka; ponekad je viša nego temperature površine kože ili čak i jezgra tela. U tom slučaju emitovanje toplote u okruženje je uglavnom moguće samo isparavanjem znoja. Ukoliko su mišići aktivni i kroz njih protiče arterijska krv, ona će u blizini površine kože predati deo toplote venskoj krvi, koja se zagrijana vraća u unutrašnjost tela. Na taj način se deo toplote stvarno konzervira – ne izmenjuje se sa okruženjem. Posledica ovakvog mehanizma je postepeno povećanje temperature čitavog tela, što može imati negativne posledice - toplotni šok.

3.2.2.2.d. Uloga znojenja u kontrolisanju telesne temperature

Približno 24% svih gubitaka toplote tela je posledica isparavanja znoja sa površine kože i gubitaka pri disanju [18, 19, 20]. Ovi gubici menjaju se sa variranjem proizvodnje toplote. Gubitak toplote zbog isparavanja kroz organe za disanje zavisi od zasićenosti izdahnutog vazduha na 35 °C. Kada je parcijalni pritisak vodene pare u tom vazduhu 5,6 kPa, u stanju mirovanja subjekta, ispari oko 16 g vode na sat. Vazduh koji udišemo sadrži takođe određenu količinu vodene pare. Obično je delimični (parcijalni) pritisak vodene pare u vazduhu između 0,67 kPa i 2,00 kPa, te pod tim uslovima subjekat udahne u stanju mirovanja 2g/h do 6g/h vode. Ako to uzmemo u obzir, onda je neto količina isparene vode 10g/h do 14 g/h. Sa tom količinom izgubi se 24,4 do 33,6 kJ/h. Što je subjekat veći, i što je veća brzina metabolizma, tim veća je količina udahnutog i izdahnutog vazduha, a sa tim takođe veći gubici toplote kroz disajne organe. Prosečno se kroz disajne organe izgubi 8% do 10% toplote zbog isparavanja vode u stanju mirovanja subjekta. Ostali gubici toplote su posledica isparavanja znoja sa površine kože.

U znoju je razblaženi rastvor NaCl- 0,1% do 0,2% i još razređeniji rastvor KCl. Prilikom intenzivnog znojenja može doći do većih gubitaka tih soli [21, 22]. Aklimatizacijom na visoke temperature postiže se izlučivanje znoja sa manjom koncentracijom pomenutih soli.

Ukoliko su potrebe za znojenjem velike (zbog stanja okruženja i organizma), doći će do hipertrofije mehanizma lučenja znoja - znojnih žlezda [23]. Sa tim se veoma povećava učinak znojenja. Znojne žlezde se razvijaju u prve dve godine života. Deca koja su bila izložena vrućem okruženju imaju veći broj znojnih žlezda nego deca iz okruženja sa umerenom klimom [23].

Veći broj znojnih žlezda znači njihovu bolju raspoređenost u blizini površine tela. Posledica toga je veća površina, iz koje isparava znoj. To istovremeno znači brže isparavanje i bolje hlađenje organizma. Što je veći broj znojnih žlezda, manje je vidljivo znojenje. To je verovatno zbog toga što je brzina isparavanja znoja veća a isparava se sa veće površine, i pri jednakoj brzini znojenja, ako je više znojnih žlezda, manje je verovatno da će se koža prekriti znojem, nego ako ih je manje. Iz ovog

možemo zaključiti da će se u vrućem okruženju više hladiti ona osoba koja ima veći broj znojnih žlezda.

Kada se na površini kože stvori sloj znoja u tekućem stanju, promene se okolnosti emitovanja toplote u okruženje. Znoj i dalje isparava, no brzina izlučivanja znoja je veća od brzine isparavanja. Posmatrajmo голу osobu. Sloj vode na površini kože ima veću vrednost koeficijenta toplotne provodnosti od sloja mirnog vazduha, koji je pre toga bio neposredno na površini kože. To znači da će se toplota sa površine kože brže prenositi u okruženje ako je ona prekrivena znojem, nego ako je suva. To prija u vrućem okruženju; u relativno hladnom okruženju je nepoželjno. Pored toga postoji još jedna značajna promena prilikom gubitka toplote u odnosu na suhu površinu kože. Površina sloja vode je glatka i mirni sloj vazduha neposredno na površini sloja vode je pokretljiviji. Zbog toga se javljaju dva efekta. Prvo, mirujući sloj vazduha je tanji, odnosno daje manji toplotni otpor nego odgovarajući sloj na površini suve kože, i drugo, kod jednake relativne brzine kretanja vazduha na površini kože je sloj mirnog vazduha iznad površine oznojene kože pokretljiviji nego na površini suve kože. Moramo uzeti u obzir činjenicu da je mirni sloj vazduha nasićen vodenom parom. Posledica svega toga je manji toplotni otpor, zbog čega se više toplote izgubi u okruženje. Ukupni učinak tih promena je povećanje gubitaka toplote.

Ako je osoba odevena, stanje se nešto menja. U tom slučaju je komad odeće u neposrednom dodiru sa površinom kože. Kada je brzina izlučivanja znoja veća od brzine isparavanja, počne se površina kože prekrivati tečnim znojem, on počinje prodirati u odeću. Prilikom procesa kvašenja oslobađa se određena količina energije, koja ima pozitivnu ulogu u vrućem i negativnu u hladnom okruženju. U vlažnoj i mokroj odeći se smanji toplotni otpor, što je pozitivno u toplom okruženju, a ne odgovara za hladno okruženje, jer se povećava gubljenje toplote.

Prilikom projektovanja odeće moramo uzeti u obzir interakciju znoja sa odećom. Pri tome nije važna samo promena termoizolacijske vrednosti odeće, nego i uticaj znoja na estetski izgled (gužvanje i izgled vanjskih površina, na kojima ostaju mrlje zbog neisparljivih komponenti znoja - soli). Pored toga, u odeći se zadržavaju i aminokiseline koje se razlažu i prouzrokuju neprijatan miris. Pošto je znojenje veoma važno, kako sa fiziološkog stanovišta, tako i sa stanovišta pravilnog izbora slojeva odeće, posebno ćemo ga obraditi u poglavlju 4.

3.2.3. Telesna temperatura

3.2.3.1. Mehanizam regulacije telesne temperature

U hipotalamusu mozga su dva nervna centra; jedan u prednjem a drugi u zadnjem delu. Prvi reaguje na smanjenje temperature organizma, drugi u slučaju kada se temperature organizma poveća. Ukoliko se organizam zateče u hladnom okruženju i počne se zbog toga hladiti, prvi centar prouzrokuje reakcije koje usporavaju hlađenje organizma, kao što su: ježenje kože (pilo-motornična reakcija), skupljanje kapilara u blizini površine tela i cvokotanje/drhtanje. Posledica tih reakcija je stabilizovanje temperature u jezgru tela ili bar usporavanje brzine smanjivanja hlađenja. Istovremeno se smanjuje temperatura na površini kože.

Ukoliko organizmu preta pregrevanje, aktivira se drugi nervni centar, koji prouzrokuje neke aktivnosti koje imaju učinak hlađenja kao što su: ubrzano disanje kod životinja (na primer pasa),

širenje kapilara u neposrednoj blizini površine tela i znojenje kod ljudi. Ove reakcije, odnosno aktivnosti, ubrzavaju gubitak toplote. Iz ovog možemo zaključiti, da aktivnost jednog centra sprečava aktivnost drugog. U normalnim okolnostima su oba centra u ravnoteži: to je onda kada organizam dostigne područje ugodnosti.

Mozak se ne odaziva samo na osnovu informacija (impulsa) sa površine kože, nego reaguje i na promenu vlastite temperature, koja nastupa zbog bolesti ili nekog drugog uzroka. Ponekad se tresemo ili se naježimo, iako je temperatura na površini kože u području ugodnosti.

Ovaj kontrolni mehanizam ne reaguje ako je prekoračena granica osetljivosti. Na primer, ako je organizam izložen ekstremno niskim temperaturama, temperatura jezgra tela se snižava ispod 33 °C i intenzitet cvokotanja se smanji. Ukoliko je srednja temperature tela između 27 °C i 30 °C, čovek se oseća pospano. Ako temperatura tela padne ispod 27 °C, uspori se broj otkucaja srca i disanje. Ovakvo stanje je veoma opasno, zato što može doći do smrzavanja.

Telesna temperature raste kao rezultat narušene ravnoteže među proizvodnjom i gubicima toplote. Proizvodnja je veća od gubitaka. Zbog toga se povećava intenzitet znojenja, dok se taj mehanizam ne „potroši”, odnosno ne prestane delovati. Sa povećanjem telesne temperature, zbog opšteg povećanja aktivnosti hemijskih reakcija u organizmu, ubrzava se metabolizam.

Sa povećanjem temperature u organizmu povećava se i proizvodnja toplote, i to po logaritamskoj skali. Ukoliko se, na primer, poveća temperature za 10 °C, povećaće se proizvodnja toplote za 2,3 do 2,9-puta. Ako se srednja temperature tela poveća sa 35,5 °C na 39,5 °C, temperatura jezgra tela se povećava sa 37 °C na 40 °C U tom slučaju možemo izračunati količinu proizvedene toplote Q pomoću sledeće jednačine [24]:

$$Q = \frac{10}{39,5 - 35,5} \log(Q_2 - Q_1) \quad (3.4)$$

gde su:

- Q_1 . pri nižoj temperaturi tela
- Q_2 - brzina proizvodnje toplote pri većoj temperature tela i

Ako je $Q_1 = 210 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{h}$ (37 °C temperatura jezgre tela), onda je proizvodnja pri većoj temperature (40 °C temperatura jezgra tela, što je u tom slučaju prosečna temperature tela i ona je iznad kritične vrednosti 39 °C), 294 kJ/m².h do 315 kJ/m².h.

U slučaju kada se zbog niske temperature okruženja počne snižavati temperatura organizma, prvi centar pokrene pilo-motoričnu reakciju potkožnog tkiva, zbog čega se na koži pojavi ježenje. To smanji pokretljivost vazduha na površini kože. Posledica toga je veći toplotni otpor vazduha, i pored toga što se povećala površina kože.

Druga reakcija na hladnoću, koju izaziva prvi centar, jeste drhtanje/cvokotanje. Tada mišići učestvuju u tri različita tipa reakcija. Prvi tip reakcije je brzo skupljanje i opuštanje mišićnih vlakana. Pri tome se potroši energija za mehanički rad, a proizvede relativno mala količina toplote. Kod drugog tipa reakcije, kontrakcija mišića, prouzrokuje minimalno cvokotanje i maksimalan mehanički učinak.

Treći tip reakcije je cvokotanje/drhtanje. Pri tome se potroši malo energije za obavljanje mehaničkog rada, a proizvodi maksimalna količina toplote za dati stepen aktivnosti. Verovatno je to zbog toga što pri tome tipu reakcije mišići se delimično rotiraju, i vibriraju, i polagano se skupljaju. Posledica polaganog skupljanja je mali mehanički učinak i mali umor.

Posledica reakcije na mraz pomenutog nervnog centra je i povećano lučenje adrenalina, što prouzrokuje pojačani metabolizam. Intravenozno ubrizgavanje adrenalina ubrza metabolizam 20% do 30 %, kada odmaramo [25]. Izlučeni adrenalin ne pojača samo metabolizam, nego utiče i na potkožno tkivo, jer širi krvne sudove u mišićima. Sa tim podstiče treći tip reakcije mišića - cvokotanje, koje proizvodi najviše toplote.

3.2.3.2. Prosečna telesna temperatura

Telesna temperatura je na određenom nivou. Normalna temperatura jezgra tela je 37 °C, temperatura površine kože obično između 33 °C i 34 °C. Temperaturni gradijent je oko 3 °C/cm. To važi pre svega za trup. Kod ekstremiteta mogu postojati određena odstupanja, posebno kod niskih temperatura ili kod intezivnog rada mišića. Zbog toga možemo kazati da ekstremiteti nisu deo centralne površine kod koje temperatura bude na konstantnom nivou, čak i kod relativno velikih promena vrednosnih parametara okruženja ili intenziteta aktivnosti.

Pošto površina kože ima nižu temperature nego jezgro tela, temperatura raste kada idemo od površine ka unutrašnjosti. Drugim rečima, ako telo posmatramo kao valjak, omotač toga valjka ima nižu temperature od jezgra. Prilikom računanja prosečne temperature moramo uzeti u obzir udio oba ta dela. Prosečnu temperaturu tela možemo izračunati pomoću sledeće jednačine:

$$T = aT_1 + bT_2 \quad (3.5)$$

gde su:

- T - prosečna temperatura tela;
- T_1 - temperatura jezgra tela;
- T_2 - prosečna temperatura površine kože.

Vrednosti koeficijenata a i b se razlikuju zavisno od metode merenja. Ako merimo tako, da golu osobu potopimo u tekuću vodu, dobićemo sledeće vrednosti koeficijenata: $a = 0,65$ i $b = 0,35$ [26]. Ako gola osoba leži na čaršafu, pokrivena ribarskom mrežom, na temperaturi okruženja 22 °C do 35 °C, vrednosti koeficijenata su tada $a = 0,8$ i $b = 0,2$ [27].

Ako uzmemo da su specifične toplote omotača i jezgra tela približno jednake, onda koeficijent a označava udio mase jezgra a koeficijent b udio mase omotača. Kao što se iz vrednosti koeficijenata a i b vidi, udio mase omotača je veći onda kada je osoba, odnosno njeno telo, potopljena u tekuću vodu, nego ako je u vazdušnom okruženju. To je zbog toga što telo emituje toplotu u okruženje brže ako je to okruženje voda, nego ako je vazduh. Podrazumeva se da je u oba slučaja temperatura okruženja niža od temperature jezgra tela. Zbog toga će se granica početka promene temperature

jezgra tela pomeriti više u dubinu, posebno u ekstremitetima. Ta promena se pokaže pri promeni vrednosti koeficijenta a i b u jednačini (3.5).

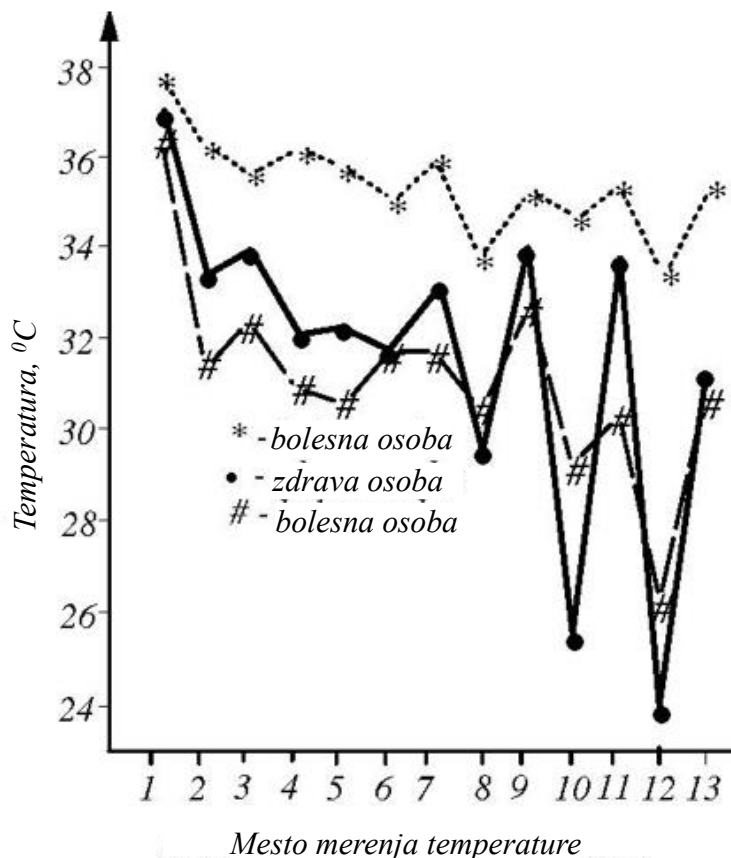
3.2.3.3. Raspoređenost temperature tela

Povećanje brzine kretanja vazduha, zajedno sa znojenjem, ima presudnu ulogu pri smanjenju temperature površine kože [28, 29, 30]. Posledica takvog smanjenja temperature kože je povećanje udela toplotnih gubitaka pomoću konvekcije i isparavanja znoja, i smanjenje gubitaka pomoću radijacije. Izuzetno se mogu smanjiti gubici toplote pomoću konvekcije, uprkos povećanju brzine vazduha; no istovremeno se povećaju gubici zbog isparavanja znoja. Za vreme teškog rada najviša temperatura mora biti u mišićima, a ne u jezgru tela. U tom slučaju jezgro tela dobiva tu dodatnu toplotu od miškulature.

Prilikom trčanja na duge staze, blizu svetskog rekorda, temperatura u jezgru tela poraste na 41°C ; u pojedinim skupinama mišića, koji veoma intenzivno rade pri trčanju, temperatura mora biti još viša - od 42 do 43°C [31].

Na slici 3-1 je prikazan raspored temperatura na površini kože. Ujedno je prikazana temperatura jezgra tela. Te temperature su izmerene na goljoj osobi u zatvorenom prostoru. Temperatura vazduha u tom prostoru je bila 24°C . Temperature na prikazanim lokacijama su merene jedan sat nakon što je osoba već bila sat vremena gola u prostoru [32]. Mesta merenja: 1 - rektum, 2 - trup, 3 - glava, 4 - ruka, 5 - stegno, 6 - lakat, 7 - šaka, 8 - noga, 9 - ruka, 10 - stopalo, 11 - prsti ruke, 12 - prsti noge, 13 - prosečna temperatura na površini kože. Krivulja * se odnosi na hiper-tiroidnog pacijenta, koji ima bazalni metabolizam 72 % iznad normalne vrednosti. Krivulja • se odnosi na zdravu osobu. Krivulja # se odnosi na hiper-tiroidnog pacijenta koji ima bazalni metabolizam 47 % ispod normalne vrednosti.

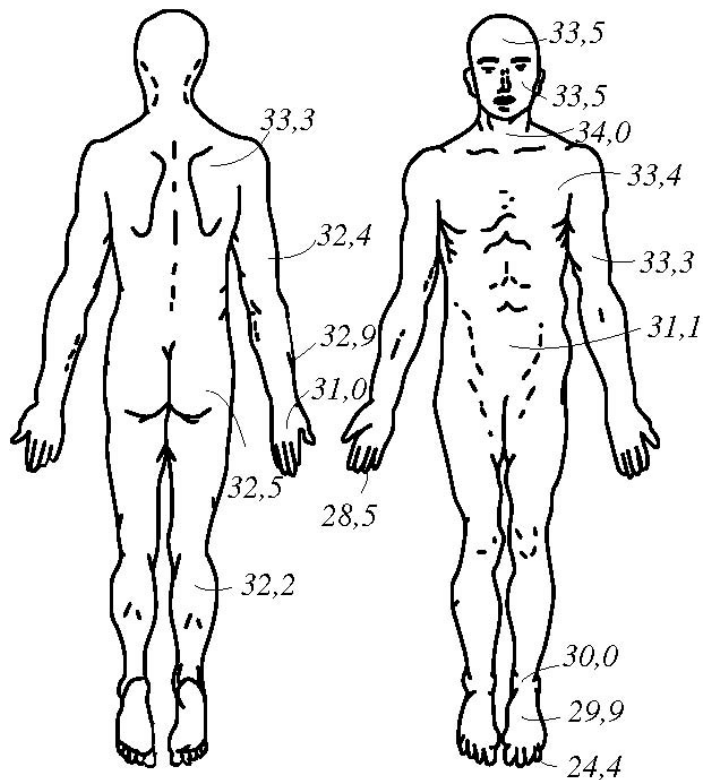
Na slici 3-2 je prikazan raspored temperatura na površini tela gole osobe sa tačno označenim mestima, na kojima je bila merena temperatura površine kože [33]. Raspored temperature, prikazan na slici 3-1 (puna linija) i 3-2, važi za normalnog zdravog čoveka. Merenja su vršena u približno jednakim okolnostima. Neke vrednosti se unekoliko međusobno razlikuju. Na slici 3-2 je više mernih mesta nego na slici 3-1. Promena temperature u zavisnosti od dubine je prikazana na slici 3-3. Krivulje 1 i 2 važe za dve osobe, kod kojih je bila merena temperatura unutrašnjosti podlaktice (0 mm temperatura površine kože) na vrućem letnjem danu, pri temperaturi $29,1^{\circ}\text{C}$. Donje krivulje 1' i 2' važe za istu osobu, merenja su vršena u jesen pri temperaturi 19°C , 3 - temperatura u rektumu, 4 - temperatura urina [34]. Na desnoj strani slike su prikazane još temperature jezgra tela, tačka 3, i temperature urina, tačka 4.



Slika 3-1: Raspored temperature na površini kože i u jezgru gole osobe

3.2.3.4. Uloga nervnih centara pri regulisanju telesne temperature

Funkciju nervnog centra moramo posmatrati povezano sa visokim nivoom metabolizma tkiva centralnog nervnog sistema. Za vreme odmora centralni nervni sistem preuzima 0,75 l krvi na minut i korisno upotrebi 46 ml/min kiseonika u odnosu na primljenu količinu 150 ml/min [35, 36, 37]. Centralni nervni sistem teži samo oko 2% čitave mase tela, a potroši oko 20% ukupno potrošene količine kiseonika. Uprkos tome što je metabolizam mozga relativno veliki zbog velikog protoka krvi kroz mozak, ne može bitno uticati na povećanje temperature krvi. Izuzetno se to može dogoditi samo na pojedinim lokacijama. Proračuni pokazuju da je venska krv, koja napušta mozak samo 0,2 °C do 0,3 °C toplija od arterijske krvi, koja dolazi u mozak. Temperatura mozga se može brzo promijeniti kao posledica promene temperature krvi. Takođe lokalno zagrevanje ekstremiteta može prouzrokovati određeno povećanje temperature arterijske krvi u jezgru tela. Ta promena temperature se dogodi za 3 do 4 minuta. Temperatura krvi koja napušta lobanju - merena u predelu vrata, samo je nešto viša od temperature arterijske krvi.

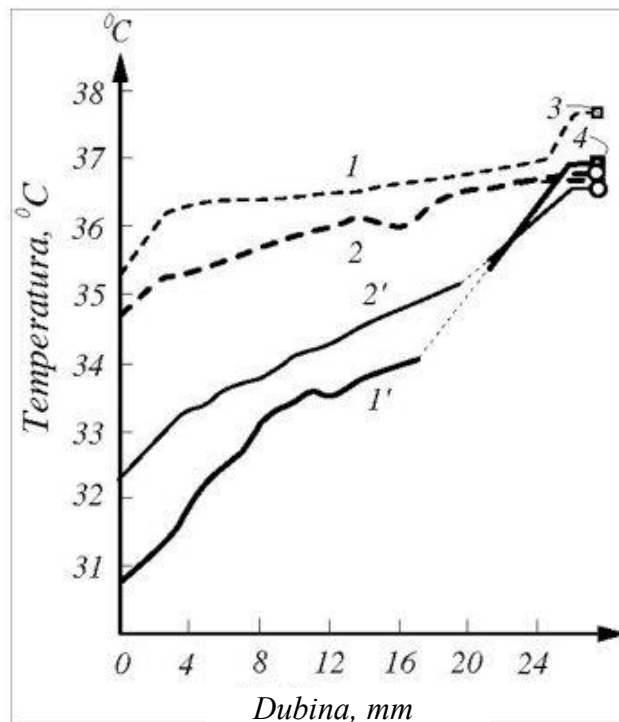


Slika 3-2: Raspored temperature ($^{\circ}\text{C}$) na površini kože gole osobe u zoni ugodnosti

Centralni kontrolni centar reguliše funkcionisanje dva pomoćna centra. Hipotalamus je sam po sebi veliki centar, koji koordinira brojne životne funkcije. Tu se kontroliše temperatura, količina vode u organizmu, dotok i potrošnja goriva (ugljeni hidrati i masti), vazo-motorična regulacija transportnog sistema, regulisanje hemijskih produkata unutrašnjeg izlučivanja i sl. Te funkcije su međusobno povezane. Čelije, koje su sastavni deo centra kontrole temperature, ne budu isključene za vreme delovanja pojedinih delova centra, koji regulišu vodenu ravnotežu u organizmu za vreme delovanja vazo-motoričnog transportnog sistema. Drugim rečima, svi centri međusobno saraduju tako da sve funkcije organizma rade optimalno.

Ranije navedeni podatak o težini centralnog nervnog sistema i dela potrošnje kiseonika nam kaže da centralni nervni sistem potroši oko 10 puta više goriva nego čitav organizam prosečno. Zbog toga mora biti dotok hranjivih tvari (goriva) i brzina sagorevanja tome odgovarajuća. Već smo rekli da se metabolizam povećava sa povećanjem temperature tako da se poveća 2 do 3 puta pri povećanju temperature za svakih 10°C . Posledica tog odnosa je da u određenim uslovima otkáže termostatika. Naime, što je veća temperatura, tim je veća proizvodnja toplote. To može dovesti do pregrevanja organizma, odnosno do toplotnog šoka.

Tokom metabolizma dešavaju se različite hemijske reakcije. Jedne su termostabilne, druge nisu. Pri tome mislimo na interval temperatura koje može imati jezgro tela. Neke hemijske reakcije se usporepi većim temperaturama. Ako je određena hemijska reakcija zavisna od termolabilnog katalizatora, takva reakcija se mora usporiti ili prestati na temperaturi pri kojoj se raspada katalizator.



Slika 3-3: Promena temperature u zavisnosti od dubine na podlaktici (0 mm - temperatura na površini kože)

3.2.3.5. Uloga senzorskih i refleksnih (efektornih) faktora kod regulisanja visine temperature

Novija saznanja o brzini protoka krvi u mozgu i visokom metabolizmu u njemu, teoretski omogućavaju povećanje temperature u mozgu, čak i onda kad se snizi temperatura jezgra tela. U početnoj fazi hlađenja dođe do suženja krvnih sudova, radi čega se uspori dotok ohlađene krvi iz omotača tela (koža i potkožno tkivo). Posledica toga može biti prethodno povećanje temperature jezgra tela i temperature krvi u aortama. U tom slučaju se može povećati temperatura mozga brže nego temperatura jezgra tela.

Zbog hlađenja površine kože smanjuje se razlika temperature između površine kože i okruženja, što prouzrokuje smanjenje brzine emitovanja toplote sa površine kože u okruženje. Kako smo već rekli, smanjuju se gubici toplote potkožnog tkiva. Taj otpor se povećava zbog suženja krvnih sudova i usporenog krvnog dotoka u potkožnom tkivu. Posledica svih ovih promena je postepeno i usporeno hlađenje organizma. Ako ne bi nastupile navedene promene, ne bi se smanjila brzina izmene toplote sa okruženjem. U tom slučaju bi u kratkom vremenu mogle nastupiti velike razlike između proizvodnje i gubitka toplote. Ta razlika bi se mogla nadomestiti samo energijom koja je nakupljena u tkivu. Posledica ovakvog mehanizma bi bilo relativno brzo hlađenje organizma.

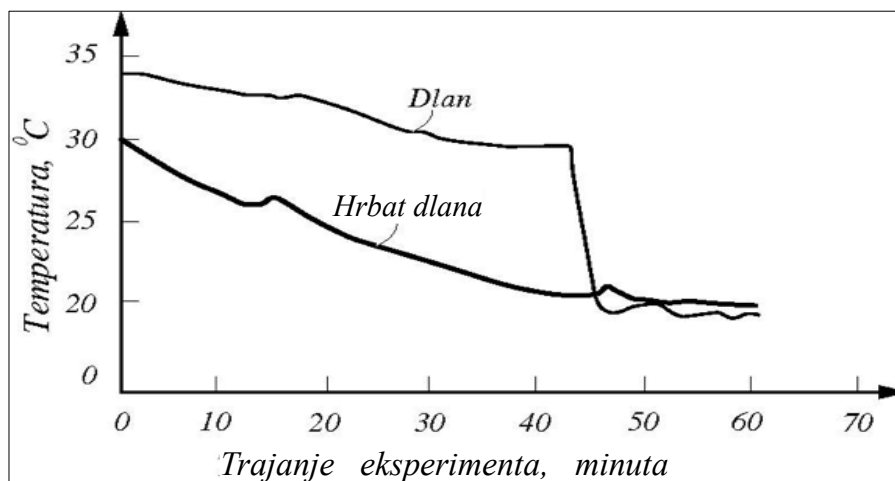
Ako se pod određenim uslovima aktivira refleks širenje krvnih sudova, doći će veća količina krvi u potkožno tkivo. Pritom će se smanjiti toplotni otpor potkožnog tkiva. Sa tim se povećava prenos toplote pomoću kondukcija kroz to tkivo, pri čemu se povećaju toplotni gubici sa površine kože [39].

Ohlađena krv će se vratiti venskim krvotokom u unutrašnjost tela i ohladiti će arterijsku krv. Ovaj mehanizam pokriva povećanje temperature na periferiji tela. Ilustrovan je na slikama 3-4 do 3-6 [40, 41].

Tehnolog (projektant odeće) ne poznaje fiziologiju, što takođe važi i za fiziologa u pogledu osobina odeće. Zbog toga bi ta dva profila stručnjaka trebalo da tesno sarađuju. To se najčešće i realizuje kod različitih projekata, koji se odnose na zaštitu čoveka u određenim okruženjima (ekstremno niske temperature okruženja, specifična radna mjesta: kosmonautika, ronjenje, zaštita pred otrovnim gasovima i sl.). U svakodnevnom životu te saradnje uglavnom nema. Zbog toga bi trebalo da se projektant odeće, koju upotrebljavamo u više ili manje „normalnim uslovima”, to znači za temperature približno $+40^{\circ}\text{C}$ do -40°C , makar informativno upozna sa onim delom fiziologije koji obuhvata problematiku oblačenja. To je takođe razlog što su u ovoj knjizi i poglavlja koja se odnose na tu problematiku (3, 4 i 5 poglavlje).

Da bi projektant odeće dobio osjećaj o pojavama pri hlađenju i zagrevanju organizma, opisaćemo eksperiment hlađenja i zagrevanje šake, koja je bila zaštićena rukavicom. Uopšte je najproblematičnija zaštita ruku pri niskim temperaturama, posebno ako pokušavamo zadržati nesmanjenu funkciju prstiju i šake.

Osoba je sedela u toploj sobi sa temperaturom 20°C . Ruke, odnosno šake, držala je određeno vreme u zamrzivaču na temperaturi -16°C . Na rukama je imala rukavice. Rukavica na levoj ruci je imala manji toplotni otpor nego rukavica na desnoj ruci. Leva ruka je bila u zamrzivaču 42 minuta, desna 61 minutu. U levoj ruci je osoba osetila neizdrživ bol poslije 42 minute a u desnoj posle 61 minute držanja ruke u zamrzivaču.



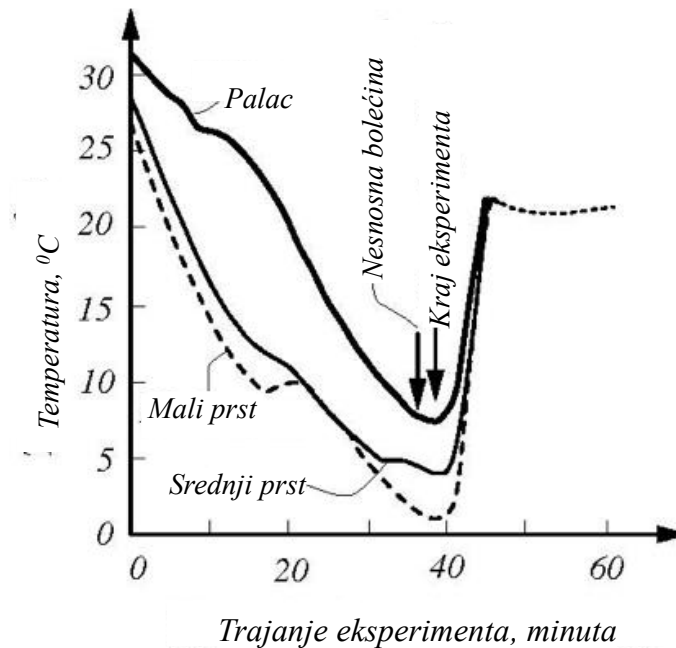
Slika 3-4: Promena temperature unutrašnje strane dlana i hrbatne strane dlana leve ruke u zavisnosti od vremena, pošto je bila u zamrzivaču (do 40 minuta) i pri sobnoj temperature (nakon 42 minute)

U trenutku kada je osoba levu ruku stavila u zamrzivač (vreme 0), temperatura dlana bila je nešto niža od 34°C , a temperatura na hrbatnoj strani dlana nešto viša od 30°C . Nakon 42 minute se temperatura unutrašnje strane temperatura dlana smanjila na 30°C , a temperatura površine hrbatne strane dlana na 20°C . Sledećih 20 minuta se, pri temperaturi okruženja 20°C , temperatura hrbata dlana nije promenila. Četiri minute kasnije, nakon što je osoba izvadila dlan iz zamrzivača, vrlo brzo

se temperatura dlana smanjila sa 30 na nešto manje od 20⁰C, uprkos tome što se temperatura okoline povećala sa -16⁰C na 20⁰C. Ovu promenu temperature dlana objašnjavamo raspodelom toplote na dlanu. Kao što vidimo iz slike 3-5, na površini malog prsta je samo nešto iznad 0⁰C, srednjaka oko 4⁰C, i palca oko 7⁰C. Te temperature su bile izmerene pošto je dlan bio već 42 minuta u zamrzivaču i osoba osetila bol koji nije mogla izdržati. Kada je bio dlan van zamrzivača, prsti su se počeli zagrevati, pritom je došlo do širenja krvnih sudova i iz prstiju se vraćala hladna venska krv, koja je ohladila arterijsku krv u dlanu. Zbog toga je došlo do drugačijeg rasporeda toplote u dlanu. Iz slike 3-5 se takođe vidi da se nakon 20 minuta pri sobnoj temperaturi 20⁰C, temperatura dlana nije podigla iznad temperature okruženja. Iz toga sledi da nam treba duže vremena da se normalizuje temperatura ohlađenog dela tela, odnosno u našem primeru ruke (dlana). Zanimljiva je, takođe, činjenica da se, na primer, temperatura na površini malog prsta snizi skoro na 0⁰C, bez ozbiljnijih oštećenja.

Posle 10 minuta držanja šake u zamrzivaču, osoba je osetila mraz u prstima; posle 20 minuta je srednje zebao čitav dlan; nakon 30 minuta je dlan veoma zebao i nakon 42 minuta je osetila nesnosan bol. Približno u tom vremenu je bila dostignuta najniža temperatura u prstima.

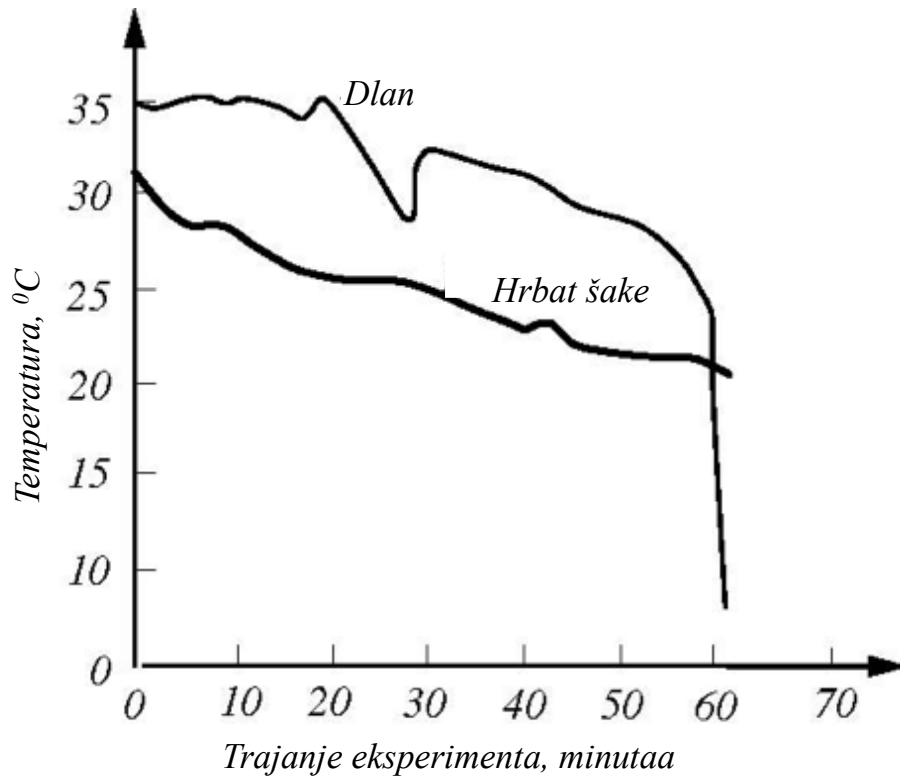
Na slikama 3-6 i 3-7 je prikazan tok promene temperature desne šake u zavisnosti od vremena u već opisanom eksperimentu. Slika 3-6 se razlikuje od slike 3-4 u tome što se smanji temperatura dlana na oko 7⁰C i to zbog raspodele toplote, nakon što osoba izvuče ruku iz zamrzivača. Temperature malog prsta, srednjaka i palca su na kraju eksperimenta približno izjednačene i one su samo nešto iznad 0⁰C. Ovaj eksperiment nam pokazuje na kojoj temperaturi je granica osetljivosti i kako termoizolacijski sloj (rukavice) utiče na vreme u kojem dostižemo tu tačku. Kod eksperimenata osetljivosti na mraz vidimo da on prouzrokuje nesnosan bol, slabost ili čak nesvest. Kako vidimo iz slika 3-5 i 3-7, bol je stvarno indikator brzine hlađenja. Bol se ne pojavljuje pri određenoj temperaturi; verovatnije je da se pojavi pri određenoj brzini promene temperature. Ako na primer, vrlo brzo potopimo šake u ledeno hladnu vodu, pojavi se vrlo brzo jak bol. Ako se brzina hlađenja uspori, prsti ruke se mogu ohladiti na 4⁰C u vremenu od 15 do 30 minuta bez nesnosnog bola. Ako se ruke postepeno hlade u zatvorenom prostoru, pri temperaturi 7⁰C, tako da osoba sedi obučena 30 ili više minuta, moguće je potopiti ruke u ledeno hladnu vodu i držati ih u njoj bez osećanja bola, uprkos tome što je pri takvoj temperaturi bol obično nesnosan.



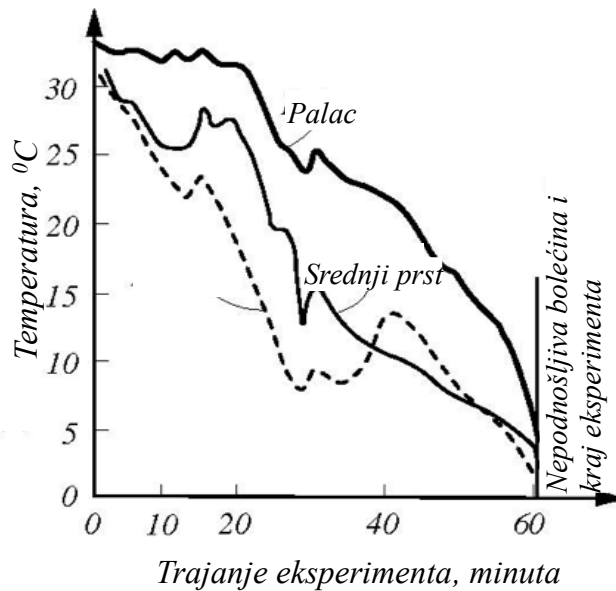
Slika 3-5: Promena temperature na nekim prstima leve ruke pokusne osobe u zavisnosti od temperature okruženja i vremena izloženosti toj temperaturi [40,41]

Bol je manje podnošljiv u slučaju kada je veća površina tela izložena hlađenju. Ako je izložena hlađenju manja površina - vrh prstiju u ledeno hladnoj vodi, pojaviće se inače jak bol, koji se još može trpeti. Ako se ud brzo ohladi, bol se pojavljuje neposredno posle velike brzine snižavanja temperature na tom mestu.

Brzina protoka krvi se usporava zbog suženja krvnih sudova i zbog povećanja viskoznosti krvi. Brzo širenje krvnih sudova, verovatno prouzrokovano kao reakcija na bol, dovodi do povećanja temperature posmatranog dela tela, koje smo postavili u okruženje sa višom temperaturom. Tačka osetljivosti za bol zbog vrućine (prenos toplote pomoću radijacije), pojavljuje se pri brzini primanja toplote $0,916 \text{ J/cm}^2 \cdot \text{s}$, no samo onda ako se toplota prima najmanje tri sekunde [42]. Možda postoji slična tačka osetljivosti za mraz [43], ali nije obavezno da ima jednaku vrednost.



Slika 3-6: Promena temperature unutrašnje strane dlana i hrbatne strane dlana desne ruke u zavisnosti od vremena držanja dlana u zamrzivaču, i promene nakon nekoliko minuta na sobnoj temperaturi



Slika 3-7: Promene temperature na nekim prstima desne ruke u zavisnosti od vremena držanja šake u zamrzivaču i temperature okruženja

3.2.3.6. Osetljivost za vrućinu i mraz

Stvarna osetljivost na temperaturu se razlikuje od osetljivosti na bol zbog vrućine. Ta razlika je u tome što se prag osetljivosti na temperaturu dostiže već pri dosta manjim temperaturnim promenama. Tačka osetljivosti na promenu toplote (temperature) približno je 1/1900 tačke osetljivosti na bol, koji prouzrokuje vrućina. Promena toplote se može registrovati već pri prijemu $0,00063 \text{ J/cm}^2 \cdot \text{s}$ [44, 45, 46], pod uslovom da stimulacija traje bar tri sekunde. Tačka osetljivosti je bila ustanovljena pomoću radijacije toplote kao stimulatorom. Ova brzina dovođenja toplote odgovara brzini povećanja temperature $0,001 \text{ }^\circ\text{C/s}$ za toplotu. Jednaka brzina je odgovarajuća smanjenju temperature za $0,004 \text{ }^\circ\text{C/s}$ za mraz. Takvu osjetljivost za toplotu možemo izračunati pomoću sledeće jednačine [44]:

$$\log \frac{I}{4,2} + 0,78 \log A = 2,09 \quad (3.6)$$

gde su:

- I - intenzitet radijacije, $\text{J/cm}^2 \cdot \text{s}$;
- A - površina, izložena radijaciji, cm^2 .

Činjenica da intenzitet osećaja za promenu toplote ne zavisi samo od intenziteta radijacije, nego takođe od površine kože, koja je izložena radijaciji, vrlo je važna pri kontroli osetljivosti na promene temperature u vreme brzog prilagođavanja u novim okolnostima.

3.2.4. Prilagođavanje mrazu i vrućini

3.2.4.1. Prilagođavanje mrazu

Pretpostavimo da se obučena osoba izloži temperaturi okruženja $30 \text{ }^\circ\text{C}$ koja se iznenada snizi ispod $20 \text{ }^\circ\text{C}$. U takvom okruženju sa nižom temperaturom zadržimo osobu duže vremena. Početno hlađenje površine kože povećava temperaturni gradijent, ujedno se stimulišu čula za registrovanje hladnoće. Ova reakcija nastupa nekoliko minuta posle promene temperature okruženja. Posledice te reakcije su skupljanje krvnih sudova neposredno ispod površine kože, pilo-motorična reakcija, koža se naježi pa se smanji pokretljivost vazdušnog sloja neposredno iznad kože, i čak cvokotanje. Temperatura površine kože se polako počinje snižavati. Proces hlađenja je spor zbog uticaja veoma visokog toplotnog kapaciteta kože i potkožnog tkiva. Tokom hlađenja može se dogoditi da se nešto poveća temperatura jezgra tela i mozga, kao posledica promenjene raspodele krvi i usporenog kretanja venske krvi. Uprkos usporenom kretanju, ohlađena krv, koja se vraća sa površine, vremenom će samo sniziti temperaturu centralnih delova tela.

Temperatura jezgra tela će se sniziti na normalni nivo ili čak niže, posebno ako je taj nivo u vrućem okruženju veći od prosečnog nivoa telesne temperature.

Vene u površini kože se skupljaju i skoro su potpuno van krvotoka. Ohlađena venska krv se vraća ka srcu i hladi arterijsku krv, koja se kreće ka površini tela. Pri tome se venska krv zagreva. Ovakva izmena toplote omogućava da hladna venska krv ne dođe u dubinu tela i da se temperatura jedne i

druge krvi postepeno izjednači. U nogama pingvina je arterija u veni, što omogućava brže izjednačavanje temperature jedne i druge vrste krvi. Kod takvog sistema kruženje krvi se ne zaustavlja. Gubici toplote su relativno mali zbog smanjenja temperaturne razlike u odnosu na temperaturu okruženja i zbog toga što je samo mala površina stopala u neposrednom dodiru sa tlom, odnosno snegom. Kada pingvin mirno stoji na snegu, on prste nogu podigne u vazduh. Zbog toga su samo zadnji delovi stopala u neposrednom dodiru sa snegom ili ledom.

Kod čoveka su venski i arterijski krvni sudovi jedni pored drugih. Zato prenos toplote nije tako efikasan kao kad bi krvni sudovi bili jedan u drugom, ali ipak je dovoljno efikasan za ekonomisanje toplotom. Postepeno se arterijska krv, koja se transportuje u neposrednu blizinu površine, ohladi na temperaturu koja je samo nešto veća od temperature površine kože. To posebno važi za ekstremitete do kojih dopire ohlađena arterijska krv. Ona donosi kiseonik i hranjive tvari. Pri tome je izmena toplote sa okolinom na najnižoj mogućoj ravni [47].

U procesu adaptacije suze se venski krvni sudovi u neposrednoj blizini delova površine kože na kojima se smanjila temperatura. Zbog toga dođe do smanjenja količine krvi u pogođenim delovima omotača tela. U početku se povećava krvni pritisak, ali nakon nekoliko sati uticaja hladnog okruženja može se sniziti, verovatno zbog povećanja zapremine slezine. Tok sužavanja krvnih sudova u koži se može usporiti, verovatno zbog teškoća pri raspodeli krvi u druge organe. Ako se krvni sudovi suze, i pri tome se ne proširi zapremina slezine, mora doći do smanjenja zapremine krvi. Da bi ova pretpostavka bila ostvarena, morala bi biti najprije odstranjena tekućina koja povećava koncentraciju proteinske plazme. U stvarnosti se za nekoliko sati odstrani previše proteinske plazme; to omogućava postepeno ostvarenje pretpostavke o smanjenju zapremine krvi sa normalnom koncentracijom proteina kroz nekoliko dana [48].

Smanjenje toplotnih gubitaka kod ranije navedenog prilagođavanja je posledica smanjenja temperaturne razlike između površine kože i okruženja, kao i povećanja toplotnog otpora potkožnog tkiva. Vrednost otpora obično ne prelazi $0,034 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}/\text{kJ}$, osim kod osoba koje imaju više masnog tkiva. Toplotni otpor se može povećati zbog povećanja toplotnog otpora sloja vazduha na površini kože pod određenim uslovima. Toplotni otpor sloja vazduha se poveća zbog smanjenja pokretljivosti vazduha na površini kože, zbog smanjenja isparavanja sa površine kože, koje je posledica smanjenja temperature površine kože i potkožnog tkiva i zbog smanjenja zračenja i konvekcije. Izuzetak su možda šake i stopala, kod kojih se arterijska krv ohladi pre nego što uopšte dođe do površine prstiju. Zbog toga se smanjuje temperaturni gradijent, što prouzrokuje da se na vrlo male vrednosti smanje gubici zračenjem i konvekcijom. U tom slučaju isparavanje se ne menja srazmerno sa promenom temperaturnog gradijenta. Deo izgubljene toplote, zbog isparavanja, može na tim površinama biti relativno veliki.

Ne menja se samo gubitak toplote, nego i njena proizvodnja. Ako nastupi cvokotanje, može se povećati proizvodnja toplote, kao posledica povećanog lučenja adrenalina, što još uvek za čoveka nije dokazano. Nakon određenog vremena se snižava temperatura na površini kože, hladi se potkožno tkivo i osećaj može biti pogrešan. Krajevi živaca na površini kože ne reaguju normalno, posebno kod bolesne osobe i ne prouzrokuju refleks cvokotanja. Na promene temperature u dubini tela, telo može da ne reaguje pa se ne aktivira mehanizam cvokotanja, ili se ne aktivira uprkos pothlađenju. Ako je aktiviran, prestaje delovati pri velikom hlađenju tela. Usporen protok krvi pod kožom i potkožnim

tkivom ima možda neposredan uticaj na snižavanje temperature u krvnim sudovima potkožnog tkiva, kao i na povećanje viskoznosti krvi. Pod tim uslovima može prestati cvokotanje, i sa tim dodatni izvor toplote.

Nema potpuno jasne indikacije o povećanju aktivnosti štitne žlezde kod čoveka, koja bi bila reakcija na mraz. Postoji neposredna indikacija za smanjenje njene aktivnosti u toplom okruženju. Ako je smanjenje aktivnosti bilo prouzrokovano u začetku pojave vrućine, može se očekivati normalno stanje njene aktivnosti kroz nekoliko dana. Za vreme prilagođavanja se smanjuje zapremina proteinske plazme. Ovaj mehanizam olakšava smanjeno kruženje krvi, koje je posledica skupljanja potkožnog tkiva.

Bolji osećaj se postiže za nekoliko dana ili sedmica izloženosti hladnom okruženju. U tom vremenu se, uglavnom, postiže prilagođavanje. Potpuno prilagođavanje mrazu ostvaruje se kroz nekoliko meseci ili čak kroz nekoliko godina. Za sada, o načinu i stepenu prilagođavanja mrazu još premalo znamo.

3.2.4.2. Prilagođavanje vrućini

Za studiranje procesa prilagođavanja na vrućinu posmatraćemo osobu, koja se aklimatizovala na temperaturu okruženja 21⁰C. Odjednom povećamo temperaturu okruženja na 32⁰C ili više. Početni učinak se pokaže u zagrevanju površine kože i u odgovarajućem smanjenju temperaturnog gradijenta u plitkoj zoni (neposredno ispod kože), koji je u vezi sa osećajem za hladnoću. Pored toga se obratno menja temperaturni gradijent u dubini tela, što je u vezi sa osećajem toplote. Promena - smanjenje temperaturnog gradijenta u plitkoj zoni će olakšati deaktiviranje čula za mraz, što će prouzrokovati postepeno širenje skupljenih krvnih sudova. Sa druge strane, to širenje će uticati na promenu temperaturnog gradijenta u dubini tela i na potpuno odstranjenje osećaja mraza.

Širenje krvnih sudova prouzrokuje povećan dotok krvi u hladnu površinsku zonu tela. Ova krv se ohladi i pri povratku u dubinu tela hladi arterijsku krv, koja teče prema površini kože. Ovaj proces uspori dizanje temperature na površini kože. Pored toga se venska krv, pre nego dođe do srca, ne ugreje dovoljno. To ima za posledicu snižavanje temperature jezgra tela i verovatno temperature mozga. Takvo stanje je slično stanju koje prouzrokuje jak mraz i može da nastane čak i cvokotanje.

Toplotna regulacija u vrućini je više zavisna od promene temperature unutrašnjosti tela nego od reakcije čula. Zbog toga se razlikuje od delovanja centra za konzerviranje toplote. To za posledicu ima kašnjenje reakcije, koja izaziva znojenje; izuzetno se može pojaviti bez povećanja temperature unutrašnjosti.

Uticaj, koji prouzrokuje zagrevanje, brzo se širi kroz tkivo. Ravnoteža se dostiže brže nego tokom hlađenja. Širenje krvnih sudova i brži opticaj krvi izjednačuju temperaturu u celom telu. Površinski sloj tela, koji je bio u prethodnom procesu ohlađen, zagreva se, kako usled primanja toplote iz tople okoline, tako i zbog promene toplote u unutrašnjosti tela. Ukoliko telo nije bilo previše ohlađeno, a zagreje se u jednom satu, tada već počinje znojenje.

Znojenje se nastavlja tako dugo dokle je osoba izložena toplom okruženju, koje ne dozvoljava povratak u zonu ugodnosti. Znojenje se smanjuje kada se telo bar delimično prilagodi toplom okruženju, ili kad se smanji količina odeće, ili intenzivnost aktivnosti, odnosno proizvodnja toplote.

Preveliko proširenje vena površinskih krvnih sudova prouzrokuje povećanje količine krvi u koži, a to opet izaziva preveliko skupljanje slezine. Srednje toplo okruženje može prouzrokovati pad krvnog pritiska. Toplota, koja prouzrokuje širenje i napetost, prouzrokuje povećanje krvnog pritiska.

Samo onda kada se poveća zapremina krvi, mogu se napuniti raširene vene, a da istovremeno ne dođe do intenzivnijeg skupljanja slezine. Širenje površinskih vena dostiže maksimum možda posle nekoliko dana, kada je zapremina krvi već promenjena. Početno povećanje zapremine krvi zavisi od apsorpcije tekućine, ali bez povećanja ukupne količine hemoglobina i sa malom promenom ukupne količine proteinske plazme.

Početne promene su brze, ali ograničene. Nakon nekoliko dana se osetno poveća količina proteinske plazme. Povećanje količine proteina nije tako brzo, kao njeno smanjenje u hladnom okruženju [48]. U eksperimentalnim uslovima nije bilo ustanovljeno povećanje količine hemoglobina [49].

Sa povećanjem zapremine krvi i širenjem površinskih krvnih sudova, većina krvi vraća se iz ekstremiteta, pre u površinske, nego u glavne vene. Zbog toga ona dopire do površine tela bez prethodnog hlađenja pa možemo ustanoviti visoku površinsku temperaturu šaka i stopala. Temperatura na tom nivou zagrevanja je niža u zonama koje su nešto udaljenije od površine. U toj fazi zagrevanja ne greje se venozna krv, kada se vraća u unutrašnjost, nego se hladi. Pod tim uslovima, površinska temperatura prsta ruke može biti viša nego površinska temperatura lakta.

Prilagođavanje na vrućinu postiže se u jednoj sedmici, a telo se potpuno prilagodi verovatno tek za nekoliko meseci. Pored promena u krvnim sudovima i krvi, verovatno zahvata prilagođavanje i hipertrofiju znojnih žlezda, kao posledicu njihove aktivnosti. Izlučeni znoj sadrži manje soli, što omogućava da se ona sačuva u organizmu. Ponekad se bazalni metabolizam uspori, kao rezultat smanjene aktivnosti štitne žlezde. To smanjenje je relativno malo.

Literatura

1. Barton A. C., Edholm O. 1957. *Čelovek v uslovijah holoda*. Moskva. Inostranaja literature: 333 str.
2. Gagge A.P., Stolwijk J.A.J., Saltin B. 1969. Comfort and thermal sensations and associated physiological responses during exercise at various ambient temperatures. *Environmental Research*, 2 (3): 209-229 [https://doi.org/10.1016/0013-9351\(69\)90037-1](https://doi.org/10.1016/0013-9351(69)90037-1) (13. april 2018).
3. Bykov K. M. in sodel., “*Učbenik fiziologiji*”, str.428-445, založ. Medgis, 1951.
4. Hardy D.J., Du Bois F.E., Soderstrom G. F. 1983. The technic of measuring radiation and convection: one figure. *The Journal of Nutrition*, 15 (5): 461–475. <https://doi.org/10.1093/jn/15.5.461> (13. 4. 2018).
5. Kričagin V. I. in sodel., “*Razработка metodov gigeničeskoj ocenki odeždi letnogo i tehničeskogo sestava VVS v polevih i laboratornyh usloviah*”, otčet 1960.
6. Đuričić I. (ur), Savićević M. (ur). 1966. *Medicina rada*. Izdanje 2., dopunjeno i prerađeno izd. Nakladnik Beograd; Zagreb: 1095 str.

7. Newburgh L. H. 1949. Physiology of heat regulation and the science of clothing. W. B. Saunders Co. Philadelphia & London: 457 str.
8. Kerslake D. M. 1971. Textiles for comfort. 3th Shirley International Seminar. Manchester.
9. Galvao P.E. 1947. Heat production in relation to body weight and body surface. *Inapplicability*, 148, (2): 478-489. <https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1947.148.2.478> (13.4.2018).
10. Horvath S. M., Hitchcock F. A., Hartman F. A. 1937. Response to cold after reduction of adrenal tissue. *American Journal of Physiology*, 121 (1): 178-184. <https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1937.121.1.178> (13.4.2018).
11. Newburgh L. H, Wiley F. H., Lashmet F. H. 1931. A method for the determination of heat production over long periods of time. *Journal of Clinical Investigation*: 703-721. <https://dm5migu4zj3pb.cloudfront.net/manuscripts/100000/100377/JCI31100377.pdf> (17.4.2108).
12. Mason E. D. 1944. Daily measurements of basal metabolism, body temperature and pulse rate during a journey to the tropics. *Indian Journal of Medical Research*, 32 (1): 27-30. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19452900402> (12.4.2018).
13. Cicenko G.V. 1967. Radiacionnyj balans poverhnosti tela čeloveka v različnyh klimatičeskijh uslovijah na territorii SSSR. *Trudy GGO*: 122-129.
14. Love L. H. 1948. Heat loss and blood flow of the feet under hot and cold conditions. *Journal of Applied Physiology*, 1 (1): 20-34.
15. <https://doi.org/10.1152/jappl.1948.1.1.20> (12.4.2018).
16. Nielsen M. 1938. Die Regulation der Körpertemperatur bei Muskelarbeit. *Acta Physiologica*, 79, (2): 13- 51. *Skandinavisches Archiv Für Physiologie banner*.
17. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1938.tb01246.x> (13.2.2018)
18. Gagge, A. P., Burton A. C., Bazett H. C. 1941. A Practical System of Units for the Description of the Heat Exchange of Man with His Environment. *Science. New Series*, 94 (2445): 428-430. https://www.jstor.org/stable/1668557?seq=1#page_scan_tab_contents (14.4.2018)
19. Forster R .E, Ferris B. G. Jr, Day R. 1946. The relationship between total heat exchange and blood flow in the hand at various ambient temperatures. *American Journal of Physiology*, 146 (4): 600-609. <https://www.physiology.org/doi/abs/10.1152/ajplegacy.1946.146.4.600?journalCode=ajplegacy> (12.4.2018).
20. Benedict F. G., Root H. F. 1926. Insensible perspiration: Its relation to human physiology and pathology. *Archives of Internal Medicine*, 38 (1): 1-35. <https://jamanetwork.com/journals/jamainternalmedicine/article-abstract/535154> (12.4.2018).
21. Johnston M. W., Newburgh L. H. 1930. The determination of the total heat eliminated by the human being. *Journal of Clinical Investigation*, 8(2): 147-160. <https://dm5migu4zj3pb.cloudfront.net/manuscripts/100000/100258/JCI30100258.pdf> (12.4.2018).
22. Newburgh L. M., Johnston M.W. 1930. Measurement of total water exchange. *Journal of Clinical Investigation*, 8 (28): 161-196 <https://dm5migu4zj3pb.cloudfront.net/manuscripts/100000/100259/JCI30100259.pdf> (12.4.2018).

23. Spalteholz W. 1927. Blutgefäße der Haut. V: Bloch B. (ur.), Pinkus F. (ur.), Spalteholz W. (ur.): Anatomie der Haut. Springer pBerlin Heidelberg: 379-433.
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-50669-7#about> (15.4.2018)
24. Mickelsen O., Keys A. 1943. The composition of sweat, with special reference to the vitamins. *Journal of Biological Chemistry* 149: 479-490.
<https://pdfs.semanticscholar.org/b395/ccaf7cc30db2c871190696caf25e716d9f02.pdf> (25.4.2018).
25. Ohhashidag T., Masao Sakaguchidag M., Tsuda T. 1998. Human perspiration measurement. *Physiological Measurement*, 19 (4): 499.
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0967-3334/19/4/001/pdf> (26.4.2018).
26. Burton A. C., Edholm O.G. 1955. Man in a cold environment. Physiological and pathological effects of exposure to low temperatures. London, Edward Arnold: 273str.
<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19552203495>(3.6.2018).
27. Burton A. C. 1935. Human calorimetry: II. The average temperature of the tissues of the body: three figures. *The Journal of Nutrition*, 9 (3): 261–280.
<https://doi.org/10.1093/jn/9.3.261> (25.4.2018)
28. Grant R. T., Holling H. E. 1938. Further observations on the vascular responses of the human limb to body warming; evidence for sympathetic vasodilator nerves in the normal subject. *Clinical Science* 3: 273-285.
29. Steggerda M., Benedict F. G. 1928. The basal metabolism of some browns and blacks in Jamaica. *American Journal of Physiology*, 85 (3): 621-633.
<https://www.physiology.org/doi/abs/10.1152/ajplegacy.1928.85.3.621?journalCode=ajplegacy> (25.4.2018).
30. Burton A. C. 1934. The application of the theory of heat flow to the study of energy metabolism: five figures. *The Journal of Nutrition*, 7 (5): 497–533.
<https://academic.oup.com/jn/article-abstract/7/5/497/4726374?redirectedFrom=fulltext> (26.4.2018).
31. Rubenstein B. B., *Endocrinology*, 12, (1928), 41.
32. Asmussen E., Bøje O. 1945. Body temperature and capacity for work. *Acta Physiologica Scandinavica*, 10 (1): 1-22. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1748-1716.1945.tb00287.x> (27.4.2018).
33. Newburgh, L. H. (ur.) 1968. Physiology of heat regulation and the science of clothing. New York, Hafner Publishing Co: 457 str.
34. Kolesnikov P. A. 1946. Teplozaščitnye svojstva odeždy. Moskva, Legkaya industrija: str.13.
35. Bazett H. C., McGlone B. 1927. Temperature gradients in the tissues in man. *American Journal of Physiology*, 82 (2): 415-451.
<https://www.physiology.org/doi/abs/10.1152/ajplegacy.1927.82.2.415?journalCode=ajplegacy> (5.5.2018).
36. Kety S. S., Schmidt C. F. 1945. The determination of cerebral blood flow in man by the use of nitrous oxide in low concentration. *American Journal of Physiology*, 143 (1): 53-66.
<https://www.physiology.org/doi/pdf/10.1152/ajplegacy.1945.143.1.53>(25.5.2018).
37. Kety S. S., Schmidt C. F. 1946. The effects of active and passive hyperventilation on cerebral blood flow, cerebral oxygen consumption, cardiac output, and blood pressure of normal young men. *The Journal of Clinical Investigation*, 25 (1): 107-119.
<https://www.jci.org/articles/view/101680> (25.5.2018).

38. Zobl E. G., Talmers F.N., Christensen R.C., Baer L.J. 1965. Effect of exercise on the cerebral circulation and metabolism. *Journal of Applied Physiology*, 20 (6): 1289-1293. Dostopno na: <https://www.physiology.org/doi/abs/10.1152/jappl.1965.20.6.1289>
39. Leeuwen W.S. van, Made M. van der. 1916. Über den Einfluss der Temperatur auf die Reflexfunktionen des Rückenmarkes von Warmblütern und Kaltblütern.
40. Pflüger's Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere, 165 (1–3): 37–83. <https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF01680972?LI=true> (25.5.2018.).
41. Friston K. J. (ur.), Frith C. D. (ur.), Dolan R.J. (ur.), Price C. J. (ur.), Zeki S. (ur.), Ashburner J. T. (ur.), William D. Penny W. D. (ur.). 2004. *Human brain function*. Elsevier Science.: 1144. str.
https://books.google.si/books?hl=en&lr=&id=AoWD2S8759kC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Brain,+&ots=EXypatb_36&sig=8hzpIZqjF8W70TkdmUmowWC4D94&redir_esc=y#v=onepage&q=Brain%2C&f=false.
42. Bazett H. C., Mendelson E. S. Love L., Libet B. 1948. Precooling of blood in the arteries, effective heat capacity and evaporative cooling as factors modifying cooling of the extremities. *Journal of Applied Physiology* 1 (2). 169-182.
<https://www.physiology.org/doi/abs/10.1152/jappl.1948.1.2.169>.
43. Mendelson E. S. in *sodel.*, *OSRD Report*, 435, jun (1945).
44. Hardy J. D., Wolff H. G., Goodell H. 1940. Studies on pain. A new method for measuring pain threshold: observations on spatial summation of pain. *The journal of clinical investigation*, 19 (4): 649-657.
<https://dm5migu4zj3pb.cloudfront.net/manuscripts/101000/101168/JCI40101168.pdf> (25.5.2018).
45. Wolf. S., Hardy J. D. 1941. Studies on pain. Observations on pain due to local cooling and on factors involved in the “cold pressor” effect. *The journal of clinical investigation* 20 (4) 521-533.
<https://dm5migu4zj3pb.cloudfront.net/manuscripts/101000/101245/JCI41101245.pdf> (25.5.2018).
46. Hardy J. D., Opper T. W. 1937. Studies in temperature sensation. III. The sensitivity of the body to heat and the spatial summation of the end organ responses. *The journal of clinical investigation*, 16 (4): 533-540.
<https://dm5migu4zj3pb.cloudfront.net/manuscripts/100000/100879/JCI37100879.pdf> (25.5.2018).
47. Harrison H. E., Darrow D. C. 1938. The distribution of body water and electrolytes in adrenal insufficiency. *The journal of clinical investigation* 17 (1): 77-86.
<https://dm5migu4zj3pb.cloudfront.net/manuscripts/100000/100931/JCI38100931.pdf> (26.6.2018).
48. Hardy D. J., Opper T. W. 1937. Studies in temperature sensation. II. The temperature changes responsible for the stimulation of the heat end organs, *The journal of clinical investigation* 16 (4): 525-531.
<https://dm5migu4zj3pb.cloudfront.net/manuscripts/100000/100878/JCI37100878.pdf> (26.6.2018).
49. Sheard C., Williams M. M. D., Horton B. T. 1941. *Skin temperatures of the extremities under various environmental and physiological conditions*. V: Dusen M.S. van (ur.). *Temperature, its measurement and control in science and industry*. xii + 1362 pp., 550 figs.

1941. New York:, Reinhold Publishing Corporation: 1362 str.
<https://doi.org/10.1002/jps.3030310310> (3.7.2018).

50. Spealman C. R. A. 1945. Characteristic of Human Temperature Regulation. Proceedings of the society for experimental biology and medicine, 60 (1): 11-12.
<https://doi.org/10.3181/00379727-60-15076P> (25. 6.2018).

51. Post R. L., Spealman C. R. 1948. Variation of total circulating hemoglobin and reticulocyte count of man with season and following hemorrhage Journal of applied physiology 1 (3): 227-233. <https://www.physiology.org/doi/abs/10.1152/jappl.1948.1.3.227> (26.5.2018).

Tabela 3-10: Parametri i konstante

Oznake	Jedinica	Opis
α	m^2/s	toplotna provodnost odnosno termička difuzivnost
a	P_a	konstanta
A	$kg/m.s$	turbulentna viskoznost odnosno koeficijent izmene
b		konstantna
c	$J/m^3.K$	specifična zapreminska toplota
c		konstantna
c_p	$J/kg.K$	specifična toplota pri konstantnom pritisku
D		količina karakteristike
e	Pa	parni tlak
E	Pa	zasićeni parni tlak
f	m^2	površina
f	%	relativna vlaga
G	W/m^2	Gustina toplotnog strujanja (toka)
h	Pa	pritisak
I_0	W/m^2	gustinaa energetskog strujanja radijacije sunčanih zraka, koje padaju normalno na ravan
I	W/m^2	gustina energetskog strujanja radijacije sunčevih zraka
K	m^2/s	turbulentna difuzija

φ	$^{\circ}\text{C}$	oštri ugao između smera sunčevih zraka i normalom ravnine na koju padaju
λ	W/m.K	koeficijent toplotne provodnosti
m	kg	masa
ρ	kg/m^3	gustina
ρ_v	kg/m^3	gustina vodene pare
R_v	$\text{m}^2 / \text{s.K}$	gasna konstantna
s		karakteristika
t	s	vreme
T	K	apsolutna temperatura
T_0	K	apsolutna temperature na $^{\circ}\text{C} = 273,16 + \text{K}$
v	m/s	brzina vetra
z	m	dubina ili visina

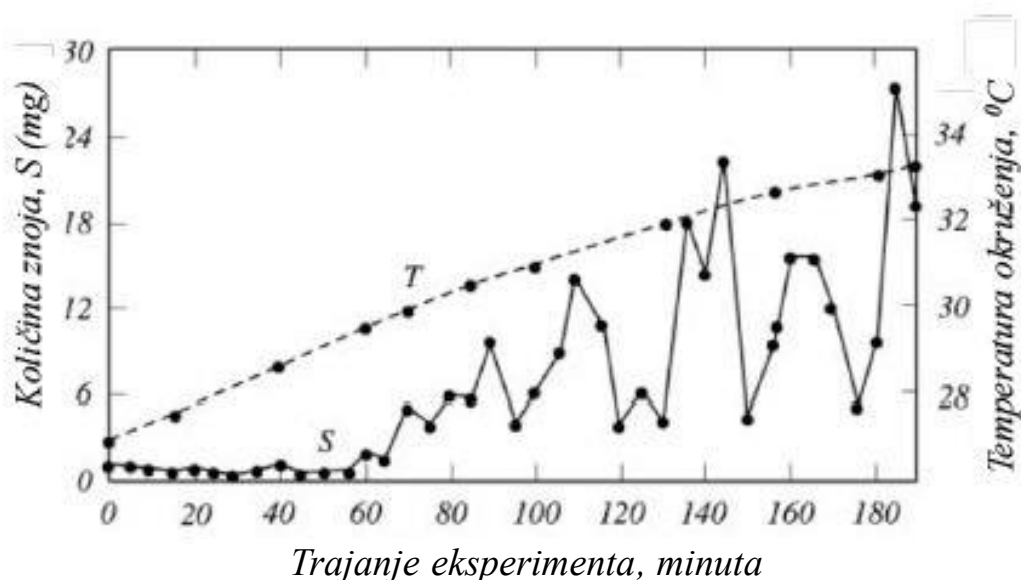
4. ZNOJENJE

4.1. Lučenje znoja

Znoj luče znojne žlezde. Telesni aparat koji proizvodi znoj sa stanovišta oblačenja nije zanimljiv, već su pre svega značajna ona stanja organizma kod kojih se luče veće količine znoja, povećava brzina lučenja znoja i možda menja sastav znoja. Ustanovljeno je da se lučenje znoja može povećati kao posledica psihičkog stanja ili kao posledica povećane temperature organizama [1, 2].

Znojenje je značajno kao mehanizam koji pomaže uravnoteženju temperature organizma. Pored toga, ono je patelj da li je odeća koju osoba nosi odgovarajuća, u datom okruženju i intenzitetu aktivnosti. Ako smo se u datim okolnostima oznojili i odeća se nakvasi znojem, mogu se pojaviti neželjene posledice kao što je podhlađenje organizma. Intenzivan rad u relativno hladnom okruženju može, na primer, prouzrokovati preveliko znojenje.

Ako zbog bilo kog uzroka prestanemo raditi, smanjiće se brzina znojenja, ali će znoj, koji je ostao u odeći, umanjiti vrednost toplotne izolacije, sa čime se povećava mogućnost bržeg hlađenja organizma. Ovaj uticaj detaljnije ćemo kasnije objasniti. U ovoj glavi pokazaćemo nekoliko primera uticaja promene stanja u organizmu ili promene stanja okoline na brzinu lučenja znoja. Brzina apotominutnim intervalima na površini 20 cm² na određenom delu tela.



Slika 4-1: Povećanje brzine znojenja u zavisnosti od povećanja temperature okruženja [1]

- S – količina izlučenog znoja,
- T – temperatura okruženja.

Na slici 4-1 je prikazana zavisnost brzine lučenja znoja od povećanja sobne temperature. Količina izlučenog znoja veoma varira. U prvih 60 minuta osoba praktično ne reaguje na promenu temperature okruženja, i to uprkos tome što se ona povećala za približno 3 °C. Nakon toga se počne naglo povećavati brzina lučenja znoja. To znači da odziv aparata za lučenje znoja nešto zaostaje za vanjskim stimulatorom – temperaturom. Brzina lučenja nije jednakomerna. No, uprkos tome možemo, kao prvu informaciju, pretpostaviti linearnu zavisnost od temperature okruženja. S obzirom na rezultate prikazane u tabeli 4-1, regresijska linearna kriva ima sledeću jednačinu

$$S = a + bT \quad (4.1)$$

gde su:

- S - količina izlučenoga znoja, mg;
- a - koeficijent;
- b - koeficijent;
- T - temperatura okruženja °C.

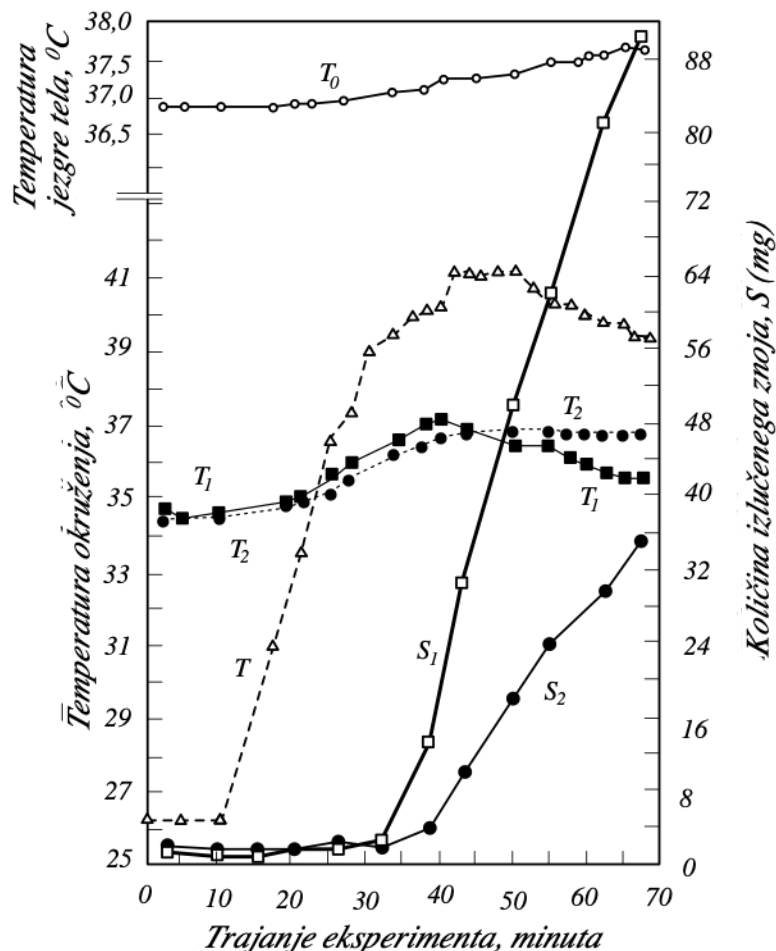
Jednačina ima sledeće vrednosti koeficijenata: $a = 519$; $b = 18,79$ i koeficijent korelacije $r = 0,86$. Brzina znojenja se povećava sa povećanjem temperature. Vrednost koeficijenta korelacije pokazuje da je ona veoma snažna. Svakako bi bolje podudaranje postigli ako bi krivu S razdelili na dva sektora, prvi do 60. minute eksperimenta i drugi nakon 60. minute.

Na slici 4-1 povećanje temperature okruženja je sporo i ne prelazi vrednosti temperature površine kože. Zbog toga je, takođe, relativno spora promena brzine znojenja kao i sama brzina znojenja. Promenu brzine znojenja nam pokazuje smer koeficijenta u jednačini (4.1) koji ima relativno nisku vrednost. Jednačina (4.1) se dobro poklapa sa eksperimentalnim rezultatima (slika 4-1), jer je brzina znojenja na 27 °C zanemarljivo mala. Iz jednačine (4.1) možemo zaključiti da će znojenje prestati na temperaturi 27,6 °C, pošto je $S=0$.

Ako je brzina povećanja temperature okruženja velika, povećaće se i brzina lučenja znoja. Na slici 4-2 prikazan je takav slučaj. Očito je da se sa povećanjem temperature u okruženju povećava temperatura jezgra tela. To povećanje je samo oko 0,5 °C i zaostaje za povećanjem temperature okruženja. Temperature na površini prsa i bedara veoma pravilno prate promene temperature okruženja, što je takođe logično, jer su temperature merene na golom subjektu. Temperatura na površini prsa se digne sa 34,5 °C na 37,5 °C, što predstavlja razliku od dobrih 3 °C, i to uprkos tome što se povećala temperatura okruženja u istom vremenskom intervalu za celih 15 °C.

Očigledno je kašnjenje povećanja lučenja znoja u odnosu na promenu temperature okruženja. Mera za to kašnjenje bi mogla biti vrednost koeficijenta korelacije odgovarajuće linearne regresijske krive. Na slici 4-1 je takođe očigledno kašnjenje početka promene brzine znojenja u odnosu na početak promene temperature okruženja, no merenja su bila završena pre nego što se temperatura okruženja

počela snižavati. Vrednosti koeficijenta linearne regresijske krive znojenja na površini prsa (slika 4-2) su: $a = - 555$; $b = 20,27$ i $r = 0,75$ i za brzinu znojenja s površine bedara: $a_1 = - 184$; $b_1 = 7,04$ i $r_1 = 0,72$. Ako uzmemo u obzir merenja do vremena 50 minuta, kada je temperatura okruženja dostigla maksimalnu vrednost, dobićemo uporedive vrednosti sa stanjem na slici 4-1. U tom slučaju bi koeficijenti bili: $a = - 164$; $b = 6,16$; $r = 0,76$ za prsa i $a_1 = - 32$; $b_1 = 1,60$; $r_1 = 0,75$ za bedra. Iz navedenih vrednosti koeficijenta korelacije vidi se da se brzina izlučivanja znoja slabije poklapa sa promenom temperature na slici 4-2 nego na slici 4-1.



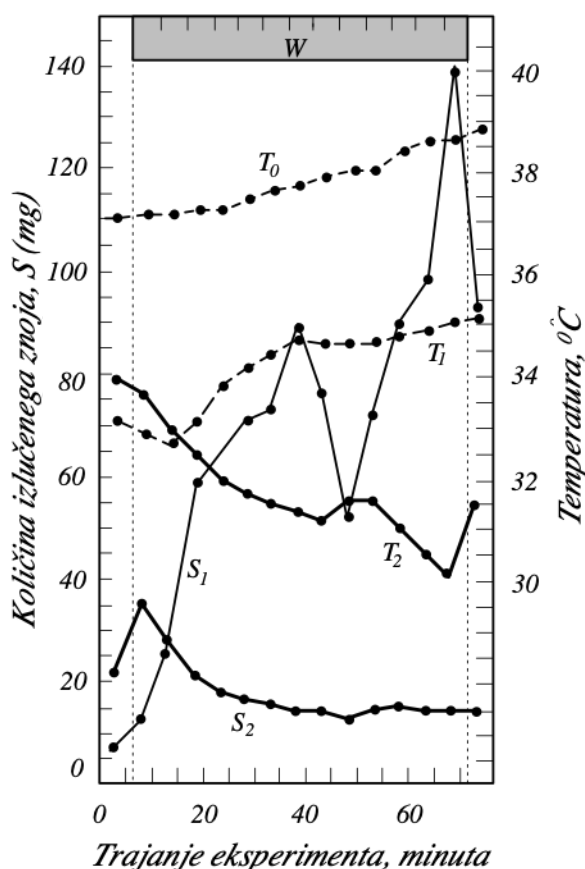
Slika 4-2: Znojenje u slučaju brzog povećanja promene temperature okruženja [1]

T_0 -temperatura jezgra tela, T - temperatura okruženja, T_1 - temperatura na površini prsa, T_2 - temperatura na površini stegna, S – brzina lučenja znoja $g/m^2.h$, S_1 - brzina lučanja znoja sa površine prsa, S_2 - brzina lučanja znoja sa površine bedra

Na slici 4-2 takođe vidimo da aparat za lučenje znoja ne reaguje pravovremeno samo na početak povećanja temperature okruženja, nego ima i određenu inerciju i povećava brzinu lučenja znoja, uprkos tome što se počela smanjivati temperatura okruženja poslije 50 minuta trajanja eksperimenta. Ujedno vidimo da je brzina lučenja znoja na prsima približno dvaput veća nego na površini bedara.

Na slici 4-3 prikazana je promena brzine znojenja u zavisnosti od izvršenog rada W , što važi za interval merenja između 5. i 70. minute. Izvršeni rad se odnosi na duže podizanje tega mase 7,5 kg. Kao posledica datog rada povećava se temperatura jezgra tela T_0 i temperatura površine dlanova T_2 ; međutim smanjuje se temperatura prsa T_1 . Po pravilu se, takođe, povećava brzina lučenje znoja S_1 sa površine prsa, dok se u početnoj fazi povećava brzina lučenja znoja na površini dlanova S_2 , pa se potom polako smanjuje. Takva promena tendencije brzine lučenje znoja sa površine dlanova objašnjava se saznanjem da lučenje znoja s površine dlanova, kao i sa površine stopala, nije u vezi sa povećanjem temperature tela, nego ga uzrokuju psihološki faktori. Između 45. i 55. minute trajanja eksperimenta, došlo je do znatnog smanjenja brzine lučenja znoja. To je verovatno posledica smanjenja tekućine u organizmu. W je trajanje eksperimenta.

Na slici 4-4 prikazana je brzina lučenja znoja u zavisnosti od trčanja brzinom 160 m/min u vremenu od 20 minuta (W na slici 4-4). S_1 i T_1 odnose se na merenja na prsima i S_2 na dlanovima. Kao što vidimo sa slike 4-4, brzina lučenja znoja na prsima se brzo povećava, istovremeno se smanjuje temperatura površine kože na prsima; temperatura jezgra tela se postepeno diže. Takođe, narasta brzina lučenja znoja na površini dlanova, ali je više od 4 puta manja nego na prsima.

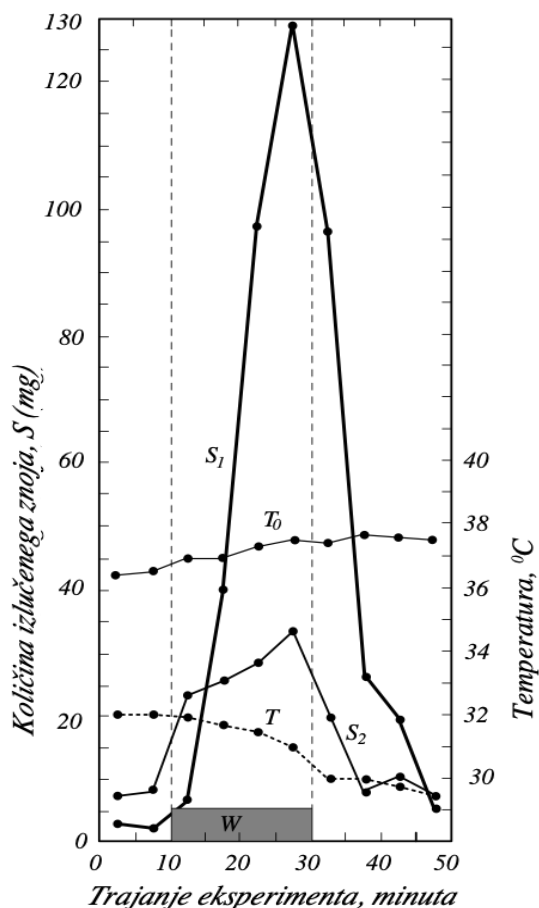


Slika 4-3: Lučenje znoja za vreme teškog rada [1]

Na povećanje brzine lučenja znoja takođe utiče povećana količina CO_2 u okruženju. To se može dogoditi u zatvorenom prostoru, gde je previše ljudi, a izmena vazduha slaba. Kao što vidimo sa slike 4-5a, lučenje znoja se povećava postepeno. Brzina lučenja znoja sa prsa (S_1) je nekoliko puta manja nego kod povećanja temperature okruženja, dok brzina lučenja znoja (S_2) na površini dlanova pada s

povećanjem procenta CO₂ u okruženju. Ako se količina CO₂ poveća na 7 % do 9 % (slika 4-5b), malo će se povećati i brzina lučenje znoja sa prsa (S₂).

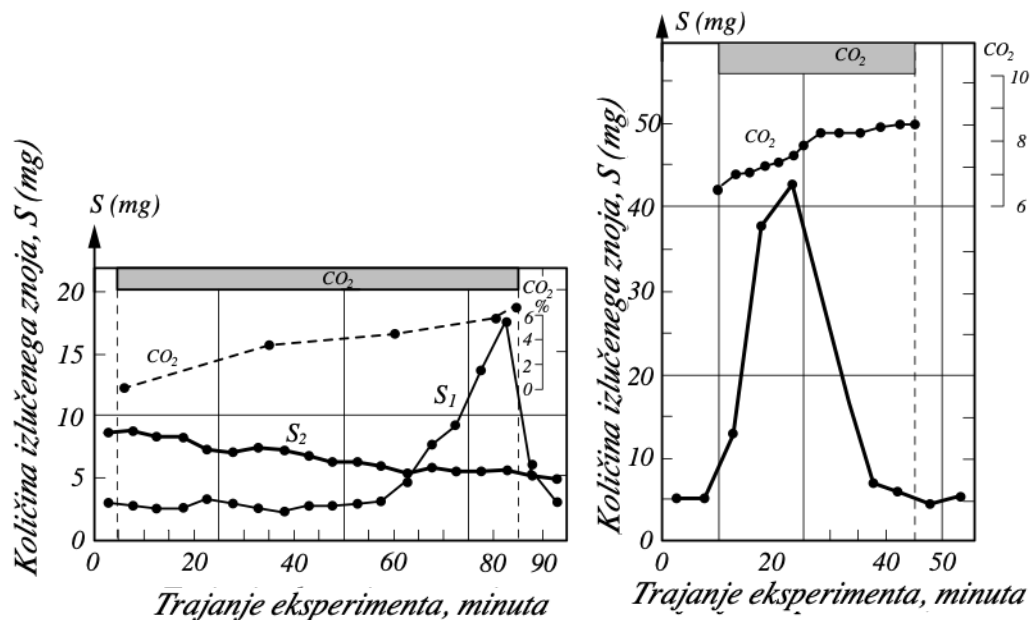
Sa slike 4-5b vidimo takođe da se brzina lučenja znoja, nakon što je dostigla maksimum, vraća na normalni nivo uprkos daljnjem povećanju koncentracije CO₂ u okruženju. Nema objašnjenja zašto uopšte dolazi do povećanja brzine lučenja znoja sa povećanjem koncentracije CO₂ i potom taj uticaj nestane. Promena brzine lučenje znoja je ovde slična promeni kod uticaja vrućine, bar u početnoj fazi. Zbog toga je najverovatnije da površina kože registruje povećanje koncentracije CO₂ kao povećanje toplote, zbog čega se takođe povećava brzina lučenja znoja. Nakon nekog vremena se smanji osetljivost površine kože što ima za posledicu je smanjenje brzine lučenja znoja uprkos povećane koncentracije CO₂ (slika 4-5). U pogledu znojenja možemo razdeliti površinu čovekovog tela na tri dela. U prvi deo možemo uvrstiti dlanove i stopala, gde se luči znoj zbog mentalne ili senzorske stimulacije, a ne toliko zbog uticaja toplote. U drugi deo uvrstavamo podpazuho i eventualno čelo, koji luče znoj kako zbog senzorske stimulacije tako i zbog uticaja toplote.



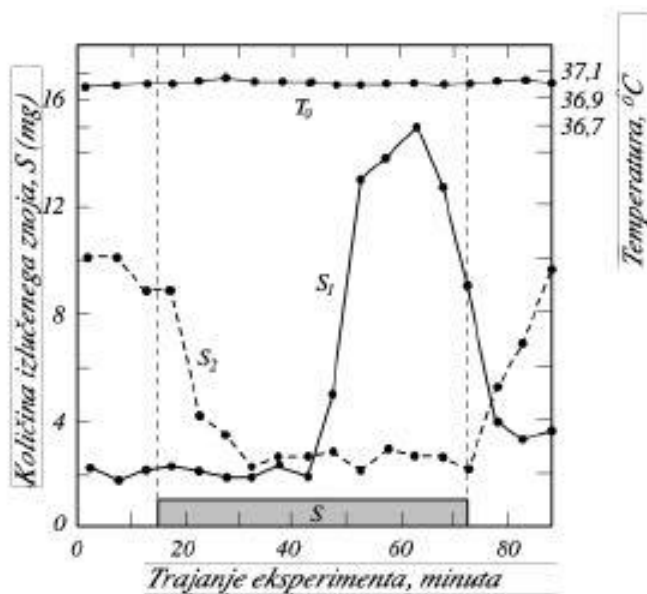
Slika 4-4: Brzina lučenja znoja u zavisnosti od vremena i intenziteta trčanja [1]

Treći deo čini preostala površina tela, na kojoj se znoj luči zbog toplotne stimulacije i na njega nema nikakvog uticaja mentalna ili senzorska stimulacija. Razlike između mentalnog i termalnog znojenja možemo obrazložiti različitim reagovanjem znojnih centara. Centar koji upravlja termalnim znojenjem ima malu osetljivost dokle god je osoba u okruženju koje ima nisku temperaturu; čim se temperatura okruženja poveća, postane veoma aktivan. Termalnom centru treba određeno vreme da

se aktivira. Zbog toga promena brzine znojenja zaostaje za promenom temperature okruženja. Kada je centar jednom aktiviran, ne reaguje samo na promenu temperature okruženja, nego i na mentalne i senzorske stimulacije.



Slika 4-5: Uticaj koncentracije CO₂ u okruženju na brzinu lučenja znoja [1]

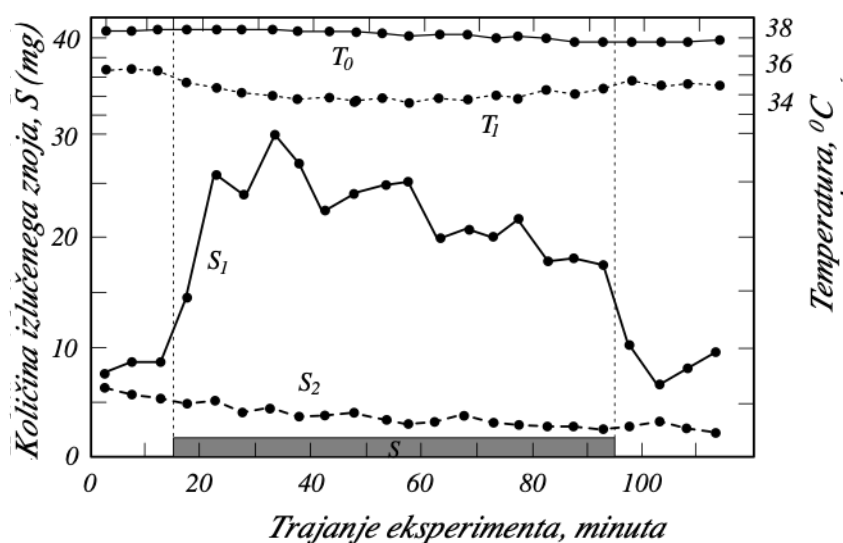


Slika 4-6: Promena brzine lučenja znoja sa dlanova (S₂) i prsa (S₁) u budnom stanju i tokom spavanja (S) na sobnoj temperaturi 29°C zimi [1]

Suprotno tome, centar koji reguliše mentalno znojenje je uvek aktivan i izgleda da se njegova aktivnost samo malo menja. Ipak, vreme aktiviranja je veoma kratko. Kad je osoba uzbuđena, emocionalni centar za znojenje sve vreme, neprekidno, prima nadražaje koji izazivaju znojenje. Centar koji reguliše lučenje znoja na površini dlanova i stopala ne reaguje na termičku (toplotnu) stimulaciju.

Zanimljive su promene brzine lučenje znoja tokom spavanja i u budnom stanju zimi i leti. Na slici 4-6 prikazana je promena brzine lučenje znoja (S) sa dlanova i prsa za vreme spavanja u sobi, koja ima temperaturu 29°C zimi. U budnom stanju (prvih 15 minuta trajanja eksperimenta) veća je brzina lučenja znoja sa dlanova (S_2) nego sa prsa (S_1). Pre spavanja se smanjuje lučenje znoja (S_1) sa dlanova i nakon 30 minuta spavanja brzo poveća znojenje sa prsa. Pritom se temperatura okruženja i temperatura jezgra tela (T_0) ne menjaju.

Za vreme leta, (slika 4-7) slika je nešto drugačija. U početku eksperimenta se brzina lučenja znoja sa dlanova (S_2) i prsa (S_1) ne razlikuju bitno. Brzina lučenje znoja sa dlanova se smanjuje i ustali se približno na nivou brzine lučenje znoja sa prsa u budnom stanju. Nasuprot tome, veoma se poveća brzina znojenja sa površine prsa nakon približno 30 minuta spavanja. Za vreme leta, (slika 4-7) u stanju mirovanja, brzina lučenje znoja sa prsa (S_1) nešto je veća nego sa dlanova (S_2), ali se veoma poveća tokom spavanja (S). Brzina lučenje znoja sa dlanova tokom spavanja se postepeno smanjuje. Takođe se smanjuje temperatura jezgra (T_0) tela i površine prsa (T_1).

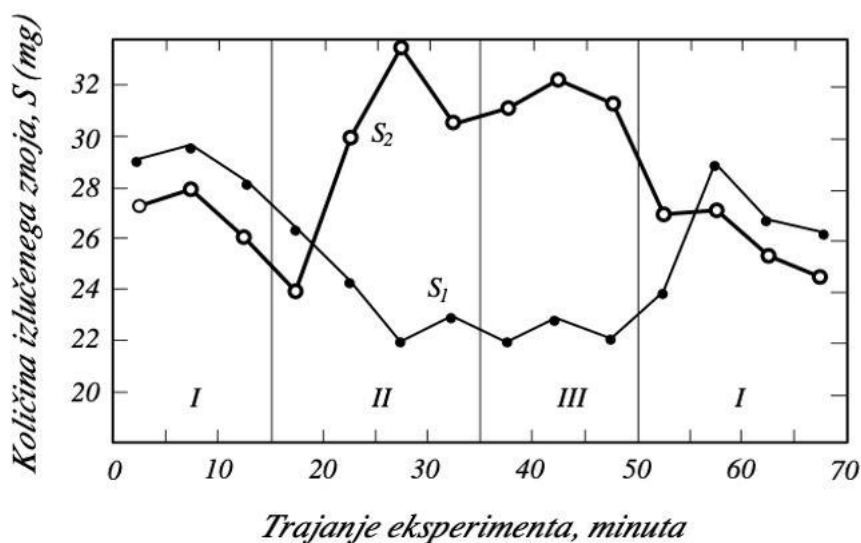


Slika 4-7: Promena brzine znojenja sa površine prsa (S_1) i dlanova (S_2) prilikom prelaska u san. Prikazane su takođe promene temperature jezgra tela (T_0) i površine prsa (T_1) [1]

Tokom spavanja u toploj letnoj noći dolazi do zanimljive pojave u vezi sa lučenjem znoja. Na onoj strani tela, na kojoj ležimo, smanjuje se lučenje znoja, a istovremeno se poveća na suprotnoj strani tela, odnosno na površini koja nije pod pritiskom. Zbog toga se prosečno lučenje znoja ne smanjuje.

Na slici 4-8 prikazan je primer merenja lučenja znoja sa površine kože osobe koja spava. S_1 je brzina lučenja znoja sa gornje strane desne šake i S_2 sa gornje strane leve šake. Eksperiment se sastoji iz tri

faze: *I* - osoba je spavala na leđima; *II* - osoba je spavala na desnom boku; *III* - osoba je spavala na desnom boku sa glavom okrenutom na levu stranu.

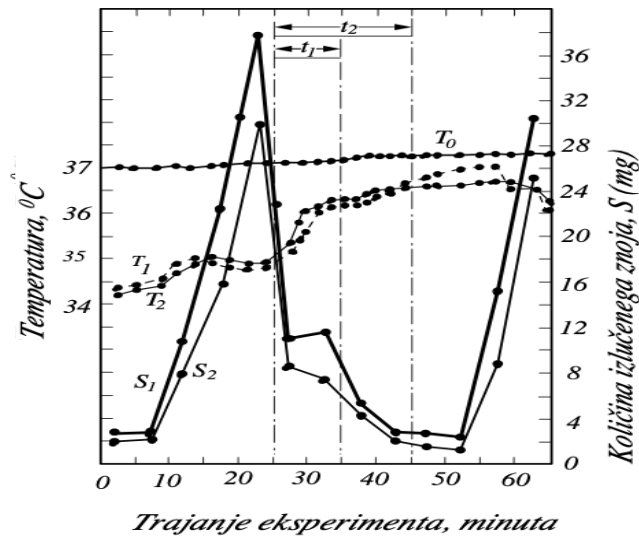


Slika 4-8: Uticaj pritiska tokom ležanja, na brzinu lučenja znoja [1]

Brzine znojenja na gornjim površinama levog i desnog dlana, kada osoba leži na leđima, bitno se ne razlikuju. Ako osoba leži na desnom boku, usporilo se lučenje znoja na gornjoj površini desnog dlana; ujedno se povećala brzina lučenja na gornjoj površini levog dlana - *II* i *III*. Kada se nakon 50 minuta ležanja okrenula na leđa - *I*, opet se uspostavilo stanje koje je bilo u početnoj fazi.

Uopšteno rečeno, znojne žlezde su aktivne onda kada je temperatura površine kože između 26 i 45 °C. Aktivnost znojnih žlezda se povećava u tom temperaturnom intervalu ako temperatura raste. Izvan tog temperaturnog intervala, aktivnost znojnih žlezda opada. Za aktivno delovanje znojnih žlezda u dužem vremenskom periodu vrlo je važno da su one normalno prokrvljene. U ranije navedenom temperaturnom intervalu variranje brzine kruženja krvi ne utiče bitno na delovanje znojnih žlezda. Čak i kad prestane kruženje krvi, lučenje znoja se nastavlja još 20 minuta, ili čak i dalje. Ako je deo tela, na primer dlanovi, izložen niskoj temperaturi, brzo lučenje znoja se smanji na čitavoj površini tela. Efekat usporavanja varira u zavisnosti od intenziteta znojenja, koje je bilo pre hlađenja, i od intenziteta hlađenja. Na slici 4-9 prikazana je promena brzine lučenja znoja sa prsa i podlaktice leve ruke u zavisnosti od smanjenja brzine kruženja krvi i hlađenja. Za vreme t_1 se je smanjilo kruženje krvi u desnoj ruci, koja je za vreme t_2 bila potopljena u vodu temperature 10 °C. Temperatura okruženja se podizala dok se osoba nije počela znojiti. Rezultati merenja su prikazani na slici 4-9. T_0 je temperatura rektuma, T_1 - prsa i T_2 - podlaktice leve ruke; S_1 je brzina lučenja znoja na prsima i S_2 - na podlaktici leve ruke.

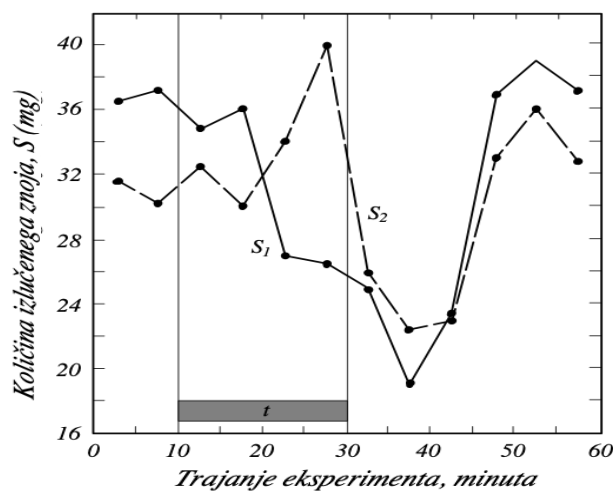
Kada se osoba počela vidno znojiti (maksimalna brzina lučenje znoja), podvezali su joj desnu ruku (smanjili kruženje krvi u njoj) i odmah je potopili u hladnu vodu, temperature 10 °C. To je prouzrokovalo brzo smanjenje lučenja znoja na prsima i podlaktici leve ruke, gde su bila merna mjesta. Nakon nekog vremena (7 do 8 minuta), pošto je osoba izvadila ruku iz vode (povez je bio odstranjen pre toga), počela se povećavati brzina znojenja.



Slika 4-9: Promena brzine znojenja na površini tela u zavisnosti od hlađenja desne ruke i smanjenja brzine kruženja krvi u njoj [1]

Ovaj eksperiment ilustruje činjenicu da se brzina znojenja veoma smanjuje ako se telo hladi. Ova je pojava pozitivna zbog čuvanja toplote; jer vlažna površina kože i vlažna odeća omogućavaju brži gubitak toplote, odnosno brže hlađenje organizma. Već u 3. poglavlju smo naveli da se smanjuje kruženje krvi u pothlađenim delovima tela. Smanjenje brzine kruženja krvi smanjuje aktivnost znojnih žlezda, odnosno smanjuje brzinu znojenja što slika 4-10 [1] bolje pokazuje nego slika 4-9.

S_1 je brzina lučenja znoja sa gornje površine desnog dlana, koji je u vremenu t bio podvezan, zbog čega se smanjila brzina kruženja krvi. S_2 je brzina lučenja znoja na gornjoj površini levog dlana, u kom je brzina kruženja krvi bila normalna (nije bio podvezan).



Slika 4-10: Uticaj promene brzine kruženja krvi na brzinu lučenja znoja [1]

4.2. Sastav znoja, mehanizam znojenja i prilagođavanje vrućem podneblju

4.2.1. Komponente znoja

- proizvode miris, koji može biti neprijatan, posebno za druge osobe;
- izlučuju se u odjeću i tamo uglavnom ostaju, kada ispari vodena komponenta;
- može se smanjiti koncentracija nekih soli u krvi ako je znojenje intenzivno i traje predugo.

Količina pojedinih elemenata koji čine neorganske spojeve varira, što naročito zavisi od svakog čoveka ponaosob, inteziteta i vremena znojenja. Izmerene količine pojedinih elemenata variraju u sledećim granicama, izraženim u hiljaditim delovima procenta: Cl - 36 do 995; Na - 17 do 400; K - 7 do 145; Ca - 0,3 do 11,8; Mg - 0,02 do 3,32; P - 0,0 do 4,8; S - u teško merljivim količinama do 7,37; SO₄ - 4 do 17; J - 0,0007 do 0,00095; Cu - 0,006; Mn - 0,006 in Fe - 0,024 do 0,2.

Očito je da je u znoju najviše Cl, Na i K, a to znači da je najviše NaCl i KCl. Svakako su zanimljivi azotni spojevi, i to zbog toga jer neki od njih imaju neprijatan miris. Izmerena čitava količina azota je u granicama 17 do 196 hiljaditih delova procenta. Pojavljuje se u obliku azotnih jedinjenja, koji nisu proteini, od 66 do 108, aminokiselina od 1 do 8, amonijaka od 1 do 34, urina od 7,5 do 128 i mokraćne kiseline od 0,0 do 1,2. Pored toga, znoj sadrži još lipide i šećere od 1 do 22 hiljaditih delova procenta, mlečnu kiselinu od 33 do 300 hiljaditih delova procenta, kao i vitamine i hormone.

Osnovni sastojci znoja se mogu razvrstati s obzirom na njihovu koncentraciju u znoju i krvnoj plazmi, kao i s obzirom na promene njihove koncentracije u zavisnosti od promene brzine znojenja. Koncentracija Na i Cl u znoju se povećava sa povećanjem brzine lučenja znoja; njihova koncentracija u znoju je manja nego u krvnoj plazmi. Suprotno tome, koncentracija glukoze i aminokiselina u znoju smanjuje se sa povećanjem brzine lučenja znoja. One su važne kao energetski izvor za znojne žlezde. Zbog toga se smanjuje njihova koncentracija u znoju, jer je za intenzivnije delovanje znojnih žlezda potrebno više energije.

Postoje, takođe, komponente koje imaju visoku koncentraciju u početnoj fazi znojenja, a koje se smanjuju povećanjem brzine lučenja znoja. U tu grupu možemo uvrstiti komponente koje imaju višu koncentraciju u znoju nego u krvnoj plazmi: kalijum, azot, mlečna kiselina i piruvična kiselina. Znojne žlezde sadrže te supstance ili ih stvaraju u procesu znojenja i prenose ih iz ćelija u znoj. Takođe, pokožica (epiderm) ih sadrži u većim količinama i njihove velike koncentracije u znoju u početnoj fazi znojenja su verovatno posledica prelazaka tih supstanci sa pokožice u znoj. Izuzetak je urea (mokraća), čija je koncentracija u znoju jednaka koncentraciji u krvnoj plazmi. Prosečne koncentracije pojedinih supstanci u znoju i krvnoj plazmi izražene su u hiljaditim delovima procenta. Pokazane su u tabeli 4-1

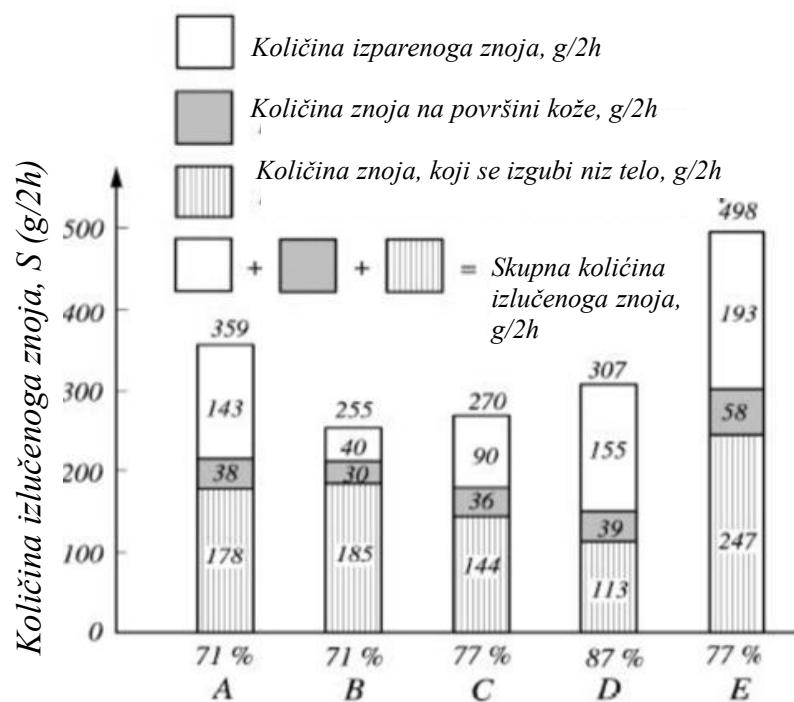
Tabela 4-1: Prosečne koncentracije supstanci u znoju i krvnoj plazmi (%) [1]

Supstanca	Znoj	Plazma
Cl	320	360
Na	200	340
K	20	18
Ca	2	10
Mg	1	2,5
Sečnina/mokraća	15	15
Aminokislinae	1	5
Amonijak	5	5
Glukoza	2	100
Mlečna kislina	35	15

4.2.2. Mehanizam znojenja i prilagođavanje vrućem okruženju

Brzina lučenje znoja uopšteno zavisi od stanja okruženja (visina pritiska vodene pare u okolnom vazduhu, temperatura vazduha i brzina kretanja vazduha), intenziteta i vrsta aktivnosti, individualnih ličnih razlika subjekata i stvarnog stanja posmatranog subjekta za vreme merenja. Za vreme rada u laboratoriji, u kom je temperatura vazduha 29 °C, osoba izgubi 3 kg do 3,3 kg vode na dan. To važi za osobu koja ima masu 65 kg. Od ukupne količine 3 kg kroz površinu kože (znoj) ispari oko 75 % ili 2,3 kg. Pritom je površina kože samo povremeno mokra. U nekim ugljenokopima u Engleskoj rudari su za vreme petočasnog rada izgubili 4,5 kg do 8,5 kg znoja. Uopšteno, nisu rijetki gubici i 10 kg mase u obliku znoja u vrućim prostorijama, a u tropskim područjima čak 15 kg i više. Maksimalna brzina znojenja može biti manja u suvom vrućem okruženju nego u vlažnu mokrom okruženju, do čega dolazi verovatno zbog razlike u temperaturi površine kože. U suhom vrućem okruženju znoj brže isparava. Zbog toga se hladi koža, koja retko ima višu temperaturu od 35 °C, dok u vlažnom vrućem okruženju dostiže nekoliko stepeni više. Pošto temperatura kože utiče na brzinu znojenja, brzina lučenje znoja je manja u vrućem suvom okruženju nego u vlažnom vrućem okruženju.

Ako posmatramo tok znojenja, možemo da vidimo da deo znoja ispari, deo se zadrži na površini kože, a deo teče po koži. To je naravno samo onda kada je brzina znojenja veća od brzine isparavanja. Udeo pojedinih komponenti zavisi od stanja u okruženju i organizma, koji luči znoj. Na slici 4-11 su prikazani udeli svih triju navedenih komponenti kod pet golih osoba koje su 30 minuta dizale teg težak 10 kg. Osobe od A do D su bile po konstituciji približno jednake, osoba E je bila veoma krupna. Razlike su očigledne u udelu pojedinih delova znoja kao i u količini izlučenog znoja, bez obzira na relativnu vlažnost. Osoba E pokazuje najveću količinu izlučenog znoja, verovatno zbog konstitucije.



Subjeki (A, B, C i E) i relativna vlaga, %

Slika 4-11: Delovi isparenog znoja i znoja, koji se zadrži na površini kože, kao i znoja koji se sliva po koži kod pet osoba na različitoj relativnoj vlažnosti [1]

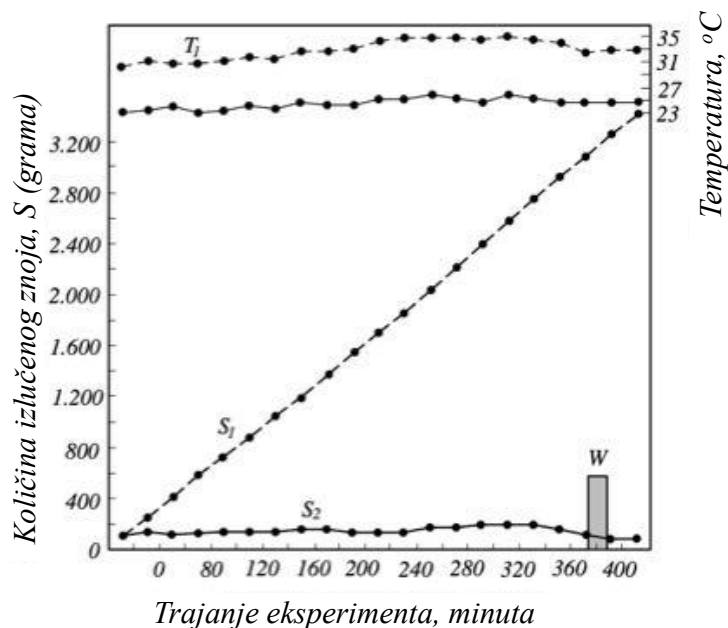
Organizam nije sposoban odmah nadomestiti svu količinu vode koju izgubi znojenjem. U početku se može nadomestiti samo oko 34% izgubljene tečnosti i približno nakon 6 sata oko 70%. U tabeli 4-2 je prikazan primer odnosa među gubicima i količinom nadoknađene vode prilikom jednog unosa (pijenja).

Tabela 4-2: Gubici i uzimanje vode pijenjem [1]

Hod, sati	Gubitak vode, kg	Unošenje vode (pijenje), kg	% nadoknađenih gubitaka vode
3	0,84	0,00	0
3	0,92	0,00	0
3,5	1,16	0,20	17
3,5	1,37	0,20	15
3	1,40	0,00	0
3	1,69	0,25	15
6	1,94	0,30	16
3	2,25	0,15	7
6	2,29	0,20	9
3	2,39	0,30	8
6,3	2,44	0,15	7
6,3	2,45	0,40	16
6	2,50	0,50	20
6	2,58	0,40	16
8	2,68	0,40	11

Na slici 4-12 je prikazana razlika između gubitaka znoja i unošenja vode. S_1 je kumulativna prava gubitaka znoja za 400 minuta, pri čemu su gubici mereni svakih 5 minuta. S_2 su pojedini gubici znoja svakih 5 minuta. W je količina vode koju je posmatrana osoba popila za vreme eksperimenta. T_1 je temperatura suvog termometra i T_2 temperatura mokrog termometra.

Promena temperature površine kože utiče na završetke nerava. Kada se poveća temperatura površine kože, oni prenose reflekse u centar za termičko znojenje i aktiviraju ga. Sa druge strane, sprečavaju reflekse koje šalju nervni završeci sa površine kože u slučaju kada se ona ohladi i tako smanjuju intenzitet delovanja centra koji reguliše znojenje. Primer za to je prikazan na slici 4-9. Iako je samo dlan bio potopljen u hladnu vodu, refleksni signali su bili dovoljno snažni da se smanjio intenzitet delovanja centra, koji reguliše delovanje znojnih žlezda u slučaju promene temperature površine kože.

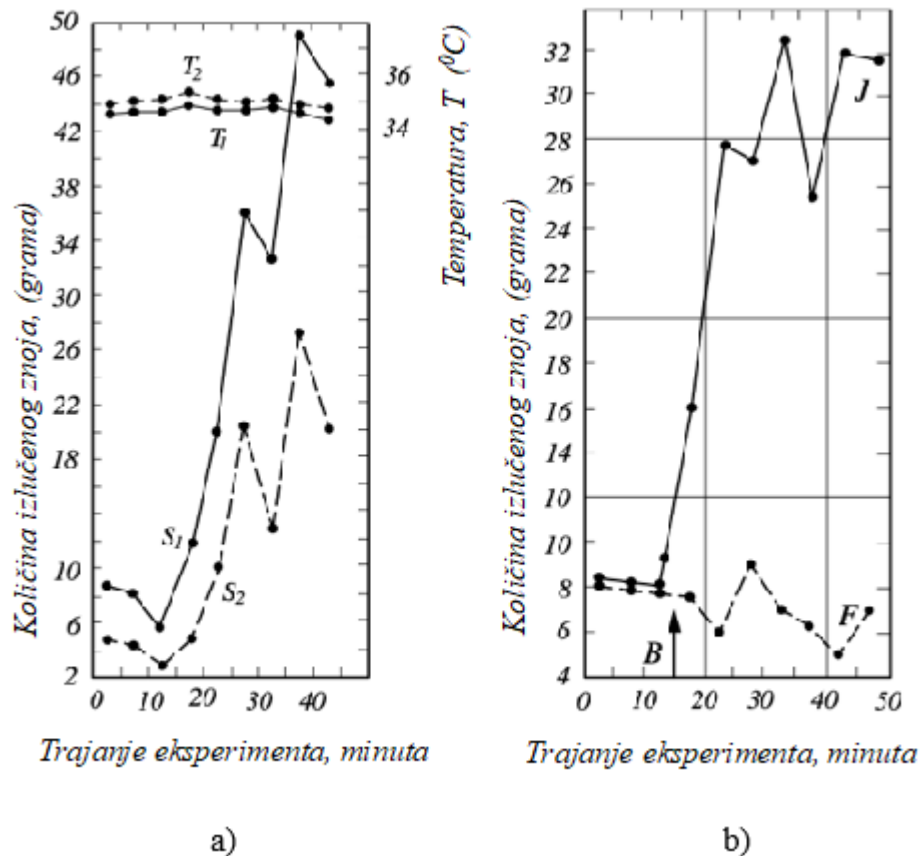


Slika 4-12: Maksimalna razlika između količine izlučenog znoja i u organizam unesene vode u posmatranom vremenskom intervalu [1]

S_1 - kumulativna linija gubitaka, S_2 - pojedinačna merenja gubitaka znoja, T_1 - temperatura suvoga termometra, T_2 - temperatura mokroga termometra, W - Količina popijene vode za vreme eksperimenta

Kako vidimo na slici 4-9, smanjila se brzina lučenja znoja sa cele površine kože uprkos tome što se malo povećala temperatura jezgra tela. Brzina lučenje znoja se može povećati pomoću treninga, kao što se vidi na slici 4-13a. Desna ruka je prethodno osam puta bila izložena vrućoj vazdušnoj kupki. Pedeset sati nakon toga je bio izveden eksperiment, čiji su rezultati pokazani na slici 4-13a. Jedno stopalo je bilo potopljeno u vodu koja je imala 44 °C. Brzina lučenja znoja (S_1) sa podlaktice desne ruke, koja je bila trenirana, bila je mnogo veća nego sa podlaktice leve ruke (S_2), koja nije bila izložena vrućoj kupki. Sa povećanjem brzine lučenje znoja smanjuje se temperatura podlaktice desne (T_1) i leve (T_2) ruke. To je posledica isparavanja izlučenog znoja.

Ranije opisani eksperiment jeste vrsta prilagođavanja, koje je verovatno kratkotrajno. Kako je već rečeno, već u detinjstvu nastaju stvarne razlike u pogledu broja znojnih žlezda. Ako osoba živi u tropskom podneblju, ona će drugačije reagovati na promenu temperature površine kože nego ako živi u umerenom pojasu: manje će biti osetljiva na promenu temperature. To se takođe vidi na slici 4-13b. Ako upoređujemo Japanca (J), koji živi u umerenom pojasu, i Filipinca (F), koji živi u tropskom pojasu, vidimo da prvi luči nekoliko puta više znoja po potapanju jednog stopala u vruću vodu 44,5 °C (vreme B na slici 4-13b) nego drugi.



Slika 4-13: Razlike brzine lučenja znoja [1]
 a) kao posledica treninga, b) kao posledica življenja u različitom podneblju

4.3. Isparavanje znoja

Kod povećane temperature površine kože povećava se brzina lučenje znoja. To je najefikasniji mehanizam regulisanja telesne temperature. On deluje samo ako znoj isparava. Za isparavanje jednog grama znoja sa površine kože potrošimo približno 2,5 kJ. Kao što vidimo sa slike 4-11, ispari samo deo izlučenog znoja, koji tako učestvuje u procesu hlađenja površine kože, odnosno celog organizma. Količina znoja, koji ne ispari, nema značajniju ulogu u regulisanju telesne temperature. Količinu toplote, koja se potroši za isparavanje znoja sa površine kože, možemo izračunati pomoću jednačine (4-2) [4]:

$$Q = \alpha WF(p_1 - p_2) \quad (4.2)$$

Gde su:

- Q - količina toplote, koja se potroši za isparavanje znoja sa površine kože, kJ/h;
- W- deo kože, koji je omočen znojem;
- F - cela površina kože osobe, m²;
- p₁ - parcijalni pritisak vodene pare u vazduhu na površini kože, Pa;
- p₂ - parcijalni pritisak vodene pare u okolnom vazduhu, Pa;
- α - koeficijent prenosa toplote u okruženje prilikom isparavanja znoja sa površine kože, kJ/m².h.Pa.

U normalnim okolnostima, kada je osoba u ugodnim uslovima, imamo W = 0,2. Ako je temperatura okruženja visoka i osoba se vidno znoji, onda je W = 1,0. Vrednost koeficijenta α zavisi od termoizolacijske sposobnosti odeće i brzine vazduha u okruženju. Za obučenu osobu važi:

$$\alpha = 0,0394\lambda \quad (4.3)$$

gde je λ koeficijent toplotne provodnosti. Za голу osobu ima sledeću vrednost:

$$\alpha = 0,329 + 0,274v \quad (4.4)$$

gde je v brzina okolnog vazduha, m/s.

Kao što se vidi iz jednačina (4.2), (4.3) i (4.4), količina isparenog znoja zavisi od brzine vetra, udela kože koji je prekriven znojem i od razlike parcijalnih pritisaka na površini oznojene kože i u okolnom vazduhu. Razlika pritisaka zavisi od temperature i relativne vlažnosti. Vrednost pritiska p₁ se veoma malo menja, jer je temperatura površine kože relativno konstantna. Menja se samo u uskom temperaturnom intervalu, dok se vrednost p₂ veoma menja. Zavisna je, naime, od temperature okolnog vazduha i njegove relativne vlažnosti.

Oba pritiska se mogu izjednačiti samo u slučaju ako je temperatura okolnog vazduha jednaka temperaturi kože i kada je ujedno relativna vlažnost u vazduhu 100 %. Čak i u tom slučaju se isparavanje nastavlja dok se ne smanji temperatura okolnog vazduha ispod temperature površine kože.

Maksimalnu moguću količinu isparenog znoja sa 1,65 m² (pored 1,8 m² koja se u literaturi takođe navodi kao prosečna površina kože subjekta) u gramima na minutu možemo izračunati na osnovu sedeće jednačine (4.5) [3]:

$$P = 0,00188(p_1 - p_2)(0,5 + v^{0,5}) \quad (4.5)$$

gde su:

- P - maksimalno moguća količina isparavanja znoja, g/1,65 m².min;
- p₁ – maksimalno mogući pritisak vodene pare na temperaturi površine kože, Pa;
- p₂ - pritisak vodene pare u okolnom vazduhu, Pa.

Količina (p_1-p_2) se naziva fiziološki deficit nasićenja. Njega možemo izračunati na osnovu tabela 4-3 i 4-4. Upotrebom tabela 4-3 i 4-4 možemo izračunati maksimalnu količinu znoja koja može ispariti pod određenim uslovima. Ako je, na primer, temperatura vazduha 20 °C, relativna vlaga 65 % i temperatura površine kože 32 °C, iz tabela 4-4 očitamo vrednost parcijalnog pritiska vazduha: $p_2 = 1467$ Pa, maksimalno mogući parcijalni pritisak je kod temperature površine kože 32 °C: $p_1 = 3066$ Pa; $(p_1-p_2) = 1599$ Pa. Ako je brzina vazduha $v = 1,0$ m/s, onda je moguće da sa površine kože 1,65 m² ispari 4,32 g znoja na minutu (tabela 4-3). Za svaki gram isparenog znoja pod tim uslovima potroši se 2,550 kJ. To znači da osoba, pod tim uslovima, za isparavanje znoja može potrošiti najviše 11,017 kJ/min ili 661 kJ/h.

Navedeni primer važi za povoljne vremenske prilike. Pogledajmo manje povoljan slučaj, kada je površina kože prekrivena znojem. To se događa onda kad je temperatura površine kože 35,6 °C do 36,6 °C (tabela 3-8).

Tabela 4-3: Količina isparenog znoja (g/1,65 m².min) u zavisnosti od fiziološkog deficita nasićenja ($p_1 - p_2$) u Pa i brzine vetra, m/s [4]

(p ₁ -p ₂), Pa	Količina isparenog znoja sa površine kože kod brzine vetra do 5 m/s									
	0	0,05	0,10	0,20	0,5	1,0	2,0	3,00	4,0	5,0
1333	1,20	1,88	1,92	2,25	2,88	3,60	5,22	6,00	6,50	7,50
1467	1,32	1,85	2,11	2,47	3,17	3,96	4,95	5,74	6,60	7,15
1600	1,44	2,02	2,30	2,70	3,47	4,32	5,40	6,26	7,20	7,80
1733	1,56	2,19	2,50	2,92	3,75	4,68	5,85	6,79	7,80	8,45
1866	1,68	2,35	2,69	3,15	4,06	5,04	6,30	7,31	8,40	9,10
2000	1,80	2,52	2,88	3,37	4,32	5,40	6,75	7,83	9,00	9,75
2133	1,92	2,69	3,08	3,59	4,62	5,78	7,20	8,35	9,60	10,40
2266	2,04	2,86	3,27	3,81	4,90	6,12	7,65	8,87	10,20	11,05
2400	2,16	3,02	3,45	4,04	5,20	6,50	8,10	9,39	10,80	11,70
2533	2,28	3,19	3,67	4,27	5,48	6,84	8,55	9,92	11,40	12,35
2666	2,40	3,36	3,84	4,50	5,76	7,20	9,00	10,44	12,00	13,00
2800	2,52	3,52	4,03	4,72	6,06	7,58	9,45	10,67	12,60	13,65
2933	2,64	3,96	4,22	4,95	6,35	7,82	9,90	11,50	13,20	14,30
3066	2,76	3,86	4,42	5,19	6,63	8,30	10,35	12,02	13,80	14,95
3200	2,88	4,03	4,61	5,30	6,83	8,75	10,80	12,54	14,40	15,60
3333	3,00	4,20	4,80	5,63	7,21	9,00	11,25	13,05	15,00	16,25

Uzmimo, na primer, da je temperatura kože 36 °C, temperatura vazduha 40 °C i relativna vlaga 65 %. Na površini kože je zrak nasićen (100 % - relativna vlaga). Maksimalni parcijalni pritisak u sloju vazduha neposredno na površini kože je 5.893 Pa, u okolnom vazduhu je 4.746 Pa. U tom slučaju je fiziološki deficit nasićenja $(p_1-p_2) = 1.147$ Pa. Pri brzini vetra 1 m/s bi u jednoj minuti moglo ispariti oko 3,2 g znoja (jednačina 4.5). Za svaki ispareni gram znoja pod tim uslovima, potrošiti ćemo oko 8,107 kJ/min ili 486 kJ/h. U poređenju sa prethodnim primerom u ovom slučaju su nepovoljnije okolnosti za dodatno hlađenje organizma pomoću isparavanja znoja. Stanje bi se pogoršalo, ako bi relativna vlažnost zraka bila još viša. Na slici 4-14 je prikazan tok krivih maksimalne moguće količine isparavanja znoja pri određenom fiziološkom deficitu zasićenosti u zavisnosti od brzine vazduha.

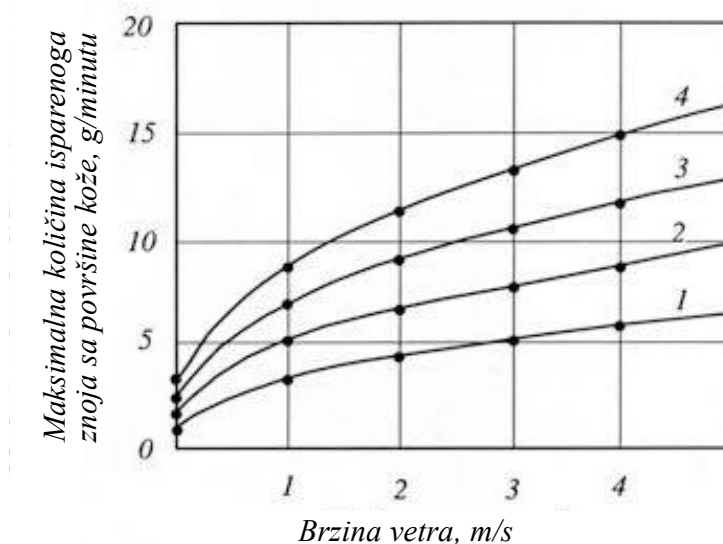
Tabela 4-4: Parcijalni pritisak vodene pare u Pa, u zavisnosti od temperature vazduha T1 i relativne vlažnosti vazduha 30 do 100 % [4]

T1, °C	Parcijalni pritisak vodene pare u vazduhu na određenom % relativne vlažnosti vazduha (30 do 100 %)											
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	90	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	187	213	240	267	307	333	373	400	427	493	547	613
5	257	307	347	373	427	467	520	560	613	693	787	867
10	360	213	480	533	613	667	720	787	840	960	1093	1227
12	413	307	560	627	693	760	827	907	973	1107	1253	1387
14	467	547	627	720	800	880	933	1013	1093	1253	1440	1560
15	533	627	720	800	893	987	1080	1173	1253	1440	1720	1800
18	600	693	800	893	1000	1093	1200	1307	1400	1600	1786	2000
20	667	800	907	973	1133	1240	1360	1469	1587	1813	1946	2266
22	773	907	1040	1173	1307	1440	1560	1693	1813	2093	2306	2613
24	893	1040	1173	1333	1480	1627	1786	1946	2080	2373	2666	2960
26	1000	1160	1333	1467	1627	1786	2000	2160	2333	2666	2933	3333
28	1120	1307	1497	1680	1866	2053	2240	2426	2613	2986	3360	93
30	1253	1467	1680	1893	2106	2320	2506	2693	2933	3373	3786	4200
32	1413	1640	1893	2106	2346	2586	2840	3066	3066	3786	4213	4706
34	1640	1840	2106	2373	2640	2906	3280	3520	3813	4213	4746	5266
36	1773	2066	2360	2666	2946	3240	3546	3733	4133	4720	5333	5893
38	1973	2293	2626	2946	3280	3613	3946	4280	4586	5253	5893	6573
40	2186	2546	2973	3293	3653	4026	4386	4746	206	5946	6586	7093
42	2426	2826	3240	3653	4053	4453	4853	5253	5653	6497	7306	8093

44	2680	3133	3686	4053	4493	4946	5373	5799	6266	7186	8106	8986
46	2981	3480	3986	4480	4960	5506	5973	6506	6959	7973	8359	9959
48	3226	3840	4413	4960	5506	6053	6599	7146	4693	8826	9919	11026
50	3706	4293	4933	5546	6159	6773	7399	8026	8599	9866	11092	12332

U poređenju sa prethodnim primerom, u ovom slučaju okolnosti za dodatno hlađenje organizma pomoću isparavanja znoja su nepovoljnije. Stanje bi se pogoršalo ako bi relativna vlažnost zraka bila još viša. Na slici 4-14 je prikazan tok krivih maksimalne moguće količine isparavanja znoja pri određenom fiziološkom deficitu zasićenosti u zavisnosti od brzine vazduha.

Voda se ne izlučuje samo kao znoj; izdišemo je, takođe, u obliku vodene pare. U tabeli 4-5 su prikazane brzine isparavanja vode u g/min kroz površinu kože i preko disajnih organa u zavisnosti od temperature vazduha i njegove relativne vlage. Sa povećanjem temperature vazduha i sa smanjenjem njegove relativne vlažnosti smanjuje se brzina isparavanja vode preko disajnih organa, a povećava isparavanje sa površine kože.



Slika 4-14: Zavisnost maksimalne brzine isparavanja znoja (g/min) od fiziološkog deficita nasićenja (Pa) i brzine vetra (m/s) [4]

Krive: 1: $p_1 - p_2 = 1,3kPa$; 2: $p_1 - p_2 = 2,0kPa$; 3: $p_1 - p_2 = 2,7kPa$; 4: $p_1 - p_2 = 3,3kPa$

Pošto je brzina isparavanja zavisna od temperature vazduha i istovremeno od njegove relativne vlažnosti, možemo je prikazati pomoću sledeće multiple linearne regresijske jednačine

$$v = a_0 + a_1T + a_2f \quad (4.6)$$

gde su:

- v - brzina isparavanja vodene pare, g/min;
- T - temperatura vazduha, °C;

- f - relativna vlažnost vazduha, %.

Brzinu isparavanja vode, koju izdišemo preko disajnih organa označimo sa v_d , sa površine kože sa v_k , i ukupnu brzinu isparavanja sa v_s . Ovo u slučaju ako posebno merimo brzinu isparavanja znoja.

Krive 1 do 4 na slici 4-14 odnose se na razliku pritiska p_1 i p_2 . (1 = 1,3 kPa; 2 = 2,0 kPa; 3 = 2,7 kPa; 4 = 3,3 kPa).

Pošto su u tabeli 4-5 navedene brzine isparavanja samo kod određenih temperatura i određenih vrednosti relativne vlage, moramo izračunati vrednosti koeficijenata a_0 , a_1 i a_2 u jednačini (4.6) da bismo mogli izračunati brzinu isparavanja za bilo koju temperaturu i relativnu vlagu u intervalima, navedenim u tabeli 4-5. Vrednosti tih koeficijenata su prikazane u tabeli 4-6. Parametar r je koeficijent korelacije ili koeficijent podudaranja brzine isparavanja u odnosu na temperaturu i relativnu vlažnost vazduha kao i vrednosti koeficijenata u jednačini (4.6).

S obzirom na činjenicu da je koeficijent a_1 kod svih brzina isparavanja negativan, korisnije je operisati sa apsolutnom temperaturom u K (stepeni Kelvina). Inače bi se, s obzirom na jednačinu (4.6), povećavala brzina isparavanja kada temperatura padne ispod 0 °C. Ako pređemo na K, bitno će se promeniti vrednost koeficijenta a , vrednosti drugih koeficijenata se ne menjaju. Nove vrednosti koeficijenta a_0 su za $v_s = 39,2315$; za $v_d = 0,5243$ i za $v_k = 38,7072$ i svi su pozitivni kao u tabeli 4-6.

Trend promena količine izdahnute vodene pare (tabela 4-5) čini se nelogičan. No, prikazane su stvarne neto količine. Za vreme spavanja izdišemo približno jednaku količinu vodene pare u jedinici vremena. Pri udisanju zraka udišemo takođe vodenu paru, koja je u vazduhu. Što je više pare u vazduhu, tim manja će biti neto količina izdahnute pare. Nećemo previše pogrešiti ako uzmemo da parcijalnom pritisku vodene pare u vrednosti 1 Pa odgovara apsolutna količina pare približno 0,0075 g/m³ vazduha. Iz tabele 4-4 se vidi da je na temperaturi 10 °C i 76 % relativne vlage oko 6,9 g vodene pare u 1 m³ vazduha. Kod temperature 28 °C i relativne vlage 55 % je čak oko 15,4 g/m³.

Vrednosti koeficijenta a_1 su negativne, što se čini nelogično, jer se sa povećanjem temperature povećava brzina isparavanja. To se odnosi na v_k i v_s . Tu je približno $a_2 = 2,5 a_1$ i ima preovlađujuću ulogu posebno kod temperatura koje su niže od 40 °C. One su interesantne za naše podneblje. Brzinu potrošnje toplote zbog isparavanja znoja sa površine kože obučene osobe, s obzirom na razliku pritiska i postotka kože koji je prekriven znojem, možemo izračunati pomoću sledeće jednačine (4.7) [4]:

$$Q = \frac{E}{S} = \frac{W\mu(p_1 - p_2)}{100} \quad (4.7)$$

gde su:

- E – brzina potrošnje toplote zbog isparavanja znoja, kJ/h,
- S - površina kože subjekta, m²;
- W - deo površine kože, koji je prekriven sa znojem, %;
- μ - konstanta za mokru površinu, koja je po obliku slična obliku površine čovečjeg tela;

- p_1 - parcijalni pritisak vodene pare na površini kože (nasićeni parni pritisak), Pa;
- p_2 - parcijalni pritisak vodene pare u vazduhu, Pa.

Parni pritisak na površini kože zavisi od više parametara i možemo ga izračunati pomoću sledeće empirijske jednačine:

$$p_1 = \frac{p_3 T_1 + (100 - W) p_2}{100} \quad (4.8)$$

gde su:

- p_3 - nasićeni parni pritisak vodene pare na površini kože;
- T_1 - temperatura površine kože.

Tabela 4-5: Zavisnost brzine isparavanja vode kroz disajne organe i površinu kože od temperature vazduha i njegove relativne vlažnosti za vreme mirovanja osobe [4]

Temperatura vazduha, °C	Relativna vlažnost vazduha, %	Brzina proizvodnje znoja, g/min		
		Kroz organe disanja	Kroz površinu kože	Ukupno
10	76	0,18	0,42	0,60
18	70	0,17	0,57	0,74
28	55	0,13	1,56	1,69
35	50	0,11	3,14	3,35
45	35	0,09	6,11	6,20

Tabela 4-6: Vrednost koeficijenata multiple linearne krive (jednačina (4.6) i koeficijenata korelacije zavisnosti brzine isparavanja od temperature i relativne vlažnosti vazduha [4]

Brzina isparavanja, g/min.	Vrednosti koeficijenata			
	a_0	a_1	a_2	r
V_s	14,4800	-0,08339	-0,204844	0,9499
V_d	0,1154	-0,001073	0,001073	0,9902
V_k	16,3546	-0,081841	0,20592	0,9517

Relativnu vlažnost f na površini kože (%) možemo izračunati pomoću sledeće jednačine;

$$f = W + 0,027(100 - W)p_2 \quad (4.9)$$

Vrednost parametra W možemo izračunati na osnovu eksperimentalno ustanovljenog nasićenog pritiska vodene pare p_4 na datoj temperaturi kože, iznad nakvašenog dela površine kože:

$$W = \frac{100(p_1 - p_2)}{p_4 - p_2} \quad (4.10)$$

Ako konstantu $W\mu$ u jednačini (4.7) zamenimo njenom recipročnom vrednošću, i to sa otporom difuziji vodene pare R , ona će dobiti sledeći oblik:

$$Q = \frac{E}{S} = \frac{p_1 - p_2}{R} \quad (4.11)$$

$$R = R_0 + R_z \quad (4.12)$$

gde su:

- R - zbir otpora prolazu (difuziji) vodene pare;
- R_0 - otpor odeće protoku vodene pare;
- R_z - otpor vazduha protoku vodene pare.

Literatura

1. Kuno Y. 1956. Human perspiration. Spring-filed, Thomas: 99–324.
2. Oppl L., Jokl M. 1962. Metodika izmerenija mikroklimatičkih uslovij v gigieničkoj praktike. Moskva, Medgis: 84 str.
3. Witte N. H. 1956. Teplovoj obmen čeloveka i ego gigieničkoe značenie. Kijev, Gosmedizdat USSR: 246 str.
4. Kolesnikov P. A. 1965. Teplozaščitnie svojstva odeždi. Moskva, Legkaja industrija: 346 str.

5. PRILAGODAVANJE NA NISKE I VISOKE TEMPERATURE

5.1. Prilagodavanje na niske temperature

Na niske temperature moraju se, pre svega, prilagoditi narodi koji žive u severnom polarnom krugu i na jugu Južne Amerike, delimično i domoroci u Australiji. Razvila su se, uglavnom, dva tipa prilagodavanja. Prvi tip možemo pripisati Eskimima i narodima severnog Sibira [1], koji su niskim temperaturama prilagodili pre svega odeću i prebivalište. Drugi tip su narodi juga Južne Amerike i australijski domoroci [2], koji su niskim temperaturama prilagodili organizam.

Pod izrazom niska temperatura podrazumevamo veoma širok temperaturni interval. U području severnog polarnog kruga i uopšteno u Sibiru su te temperature zimi često niže od -50°C . Na krajnjem jugu Južne Amerike (ostrvo Ognjena zemlja) te temperature su zimi prosječno čak više od 0°C .

Kako iskustvo pokazuje, kod takvih temperatura moguće je dostići prilagodavanje organizma i živeti bez odeće. Na -50°C to svakako nije moguće, nego se mora upotrebiti dodatna toplotna izolacija - odeća. Prilagodavanje neprijatnom okruženju, koje je trajalo verovatno više hiljada godina, zanimljivo je za studiju oblačenja i življenja. Bilo koje saznanje, koje se temelji na hiljadugodišnjem iskustvu, potpuno se slaže sa modernom naukom, koja se bavi problemom oblačenja u različitim podnebljima. Eskimi (Inuiti) su autohtoni severnoamerički narod azijskog porekla, koji živi na severnom delu Severne Amerike i na Grenlandu. Zanimljivo je pre svega njihovo oblačenje [3] i način stanovanja [4] u polarnoj noći tokom zime. Tada se temperatura snizi do -65°C . Leti temperatura na Severnom polarnom krugu može biti $+7^{\circ}\text{C}$, a na Aljaski (Fort Yukon) čak i do $+38^{\circ}\text{C}$.

5.1.1. Eskimi (Inuiti)

Nas pre svega zanima način oblačenja i stanovanja Eskima zimi, kada su temperature najčešće između -40°C do -50°C , u blizini obala i unutrašnjosti Grenlanda čak -60°C do -67°C . Odeća je primerena takvim temperaturama i izrađena je od krzna, kao jedinog dostupnog materijala. Između ženske i muške odeće nema nikakve razlike.

Odeća je po pravilu dvoslojna. Vanjski sloj (odelo) je dvodelan (pantalone i bluza), sa krznom vani. Ovaj vanjski sloj je veoma širok. Ako su prilike veoma oštre (niske temperature), moguće je ruke izvući iz rukava i sakriti ih ispod bluze, da su potpuno uz telo. Na taj način se smanji gubitak toplote i ruke su zaštićene od hlađenja. To je moguće samo onda kada se sa rukama ne vrši nikakav rad (sedenje na sankama i slično).

Odeća je najčešće izrađena od krzna severnog jelena. Drugi sloj odeće je onaj koji se nosi na telu. Sastoji se od košulje, donjih dugih gaća i čarapa. Kod ovog sloja je krzno okrenuto unutra, ka površini kože korisnika odeće. Pored ovoga, tu su još čizme, kod kojih je krzno okrenuto vani i rukavice sa prstima. Rukavice su obično dvoslojne. Krzno je okrenuto vani (vanjski sloj) i unutar (unutrašnji sloj). Čizme, koje su od kože tuljana, nepromočive su.

Na glavi je kapuljača koja je sastavni deo bluze. Bluza se oblači preko glave i za vreme nošenja otvoren je samo deo u predelu obraza. Samo 5% kože ili još manje, neposredno je izloženo vanjskom uticaju, odnosno nije zaštićeno odećom. Odeća je sašivena kožnim trakama, koje veoma dobro zaptivaju pa kroz šavove ne prolazi hladni zrak u unutrašnjost odeće. Takođe, ostali otvori (krajevi

rukava i nogavica, pojas kao i područje prsi i lica) dobro su zaptiveni. Zato su gubici toplote zbog prodiranja hladnog vazduha u odeću veoma mali. Sa druge strane, tako izrađena odeća omogućava prenos vodene pare sa površine kože u okruženje.



Slika 5-1: Tradicionalna odeća Eskima (Inuita) [3]

Kod nekih indijanskih plemena u severnoj Kanadi česta je pojava slepila, kao posledica uticaja oštrih ledenih kristala, koje nosi vetar. Oni se zabadaju u oči i vremenom prouzrokuju slepilo. Snežna belina, takođe, negativno utiče na vid.

Za razliku od njih, Eskimi su razvili „naočare” koje to sprečavaju. Te naočare naravno nemaju nikakvih leća, nego se sastoje iz dva komadića kože koji su oblikovani prema očima. Svaki komadić ima mali otvor, koji propušta dovoljno svetlosti, ali ne previše, i tako onemogućava štetno delovanje malih ledenih kristala.

Možemo reći da je eskimska zimska odeća konstruisana po svim zahtevima moderne nauke o oblačenju u zimskim uslovima. Koža pruža veliki otpor provođenju vodene pare. Ako se osoba zbog stanja okruženja i organizma (temperatura okruženja i intezitet aktivnosti) previše znoji, odeća se namoči znojem. Zbog toga se smanji toplotna izolacija odeće i stvore se pogodni uslovi za razvoj bakterija, koje razlažu krzno. Odeća mora biti suva, odnosno mora se, ako je mokra, osušiti da ne dođe do truljenja kože i opadanja dlaka.

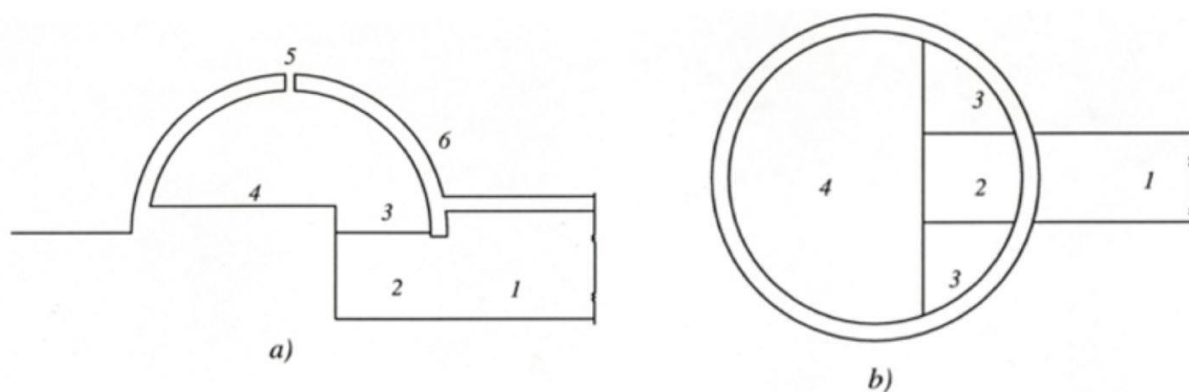
Eskimsko zimsko boravište, takozvani iglu, poglavlje je za sebe. Iglu je prikazan na slici 5-2. Slika 5-2a (vertikalni presek iglua) pokazuje da je ulazni rov, označen sa 1, 2, na mnogo nižem nivou nego niža ravan označena sa 3. U tom rovu je temperatura niža nego na nižoj ravni 3. Na ovom nivou je otvoreno „ognjište”, odnosno gori sveća. Pored toplote koju emituju stanovnici iglua, sa „ognjišta” dolazi dodatna toplota. Na taj način se zagreva vazduh u igluu. Pošto se topli zrak diže naviše, temperatura vazduha na gornjem nivou, označenom sa 4, veća je nego na donjem nivou 3. Gornji

nivo je namenjen spavanju i odmoru. Temperatura vazduha na gornjem nivou je između 26 °C i 32 °C.

Otvor za ventilaciju, označen sa 5, jeste toliki da omogućava dovoljno brzu izmenu vazduha u unutrašnjosti iglua, a da se njegov hemijski sastav bitno ne menja, odnosno da se bitno ne poveća količina CO₂. Na ulazu rova 1 je zavesa od kože, koja sprečava nekontrolisan ulaz vanjskog hladnog vazduha u iglu.

Osnovnu konstrukciju iglua čini kupola označena sa 6, napravljena od ledenih kocki. Zidovi kupole su dovoljno debeli, pa je konstrukcija stabilna. Pored toga gubici toplote kroz takav zid su relativno mali, uprkos tome što je temperaturna razlika ponekad veća od 30 °C. Na unutrašnjoj strani kupole je temperatura oko 0 °C, dok je temperatura vanjskog vazduha je -30 °C ili čak niža.

Činjenica je, da je koeficijent toplotne provodljivosti leda 8,4 kJ/m.⁰C.h, ali to važi samo za čisti, kompaktni led. Ukoliko je struktura leda poroznija, ta vrednost je manja. Vani se može nakupiti mnogo snega, tako da iz njega viri samo deo kupole. Sve to prouzrokuje bolju toplotnu izolaciju. Pošto je specifična toplota vazduha samo oko 1 kJ/kg.⁰C, on se uprkos relativno malom izvoru toplote brzo zagreva, jer ni prostor iglua nije veliki. Ulaz je uvek okrenut u zavetrinu. Leti se koristi šator od koža.



Slika 5-2: Eskimsko zimsko boravištee – iglu; a) nacrt; b) tlocrt



Slika 5-3: Unutrašnjost eskimskog iglua [4]

5.1.2. Stanovnici Sibira

Slično kao Eskimi, i sibirska plemena su imala, i još uvek imaju, odeću ili delove odeće od krzna. Na početku 19. veka je donji (unutrašnji) deo odeće činila krznena košulja, kod koje je krzno bilo okrenuto unutra prema koži, kao kod Eskima. Vanjski deo odeće – odelo - je imao krzno okrenuto vani. Preko odela je bila vetrovka - duga krznena košulja od lake kože, koja ih je štitila od vetra i snega. Šator je napravljen od koža. Na unutrašnjoj strani se nakuplja vlaga, što može negativno uticati na kožu jer se razvijaju bakterije. Vani su zimi često temperature -50°C . U tom slučaju je temperatura u šatoru samo oko -11°C . Krzna suše tako što ih obese vani na mraz. Uopšteno gledano, takav je šator slabije rešenje nego iglu. Odeća je veoma slična eskimskoj odeći.



Slika 5-4: Žene iz plemena Neneta na takmičenju narodnih nošnji u Nadimu [5]

5.1.3. Goli narodi izloženi mrazu

To su neki narodi Južne Amerike (Ognjena zemlja), Australije, Tasmanije i Južne Afrike. Kada su ti narodi došli u dodir sa Evropljanima, bili su na nivou paleolitske kulture. Danas su neki od njih već izumrli. Što više idemo prema jugu Južne Amerike (područje Ognjene zemlje), ljudi su sve manje odeveni. Tu pojavu možemo nazvati fiziološka adaptacija na surove prilike podneblja. Na krajnjem jugu Južne Amerike podneblje nije tako oštro kao na sjevernom polarnom krugu, jer su prosečne godišnje temperature 6°C , prosečne zimske temperature su oko 2°C , i letnje 10°C . Ovde duvaju hladni i vlažni vetrovi. Uprkos takvom podneblju, koje je za naše prilike veoma surovo, pripadnici plemena Jagani nosili su samo pokrivalo iz kože preko ramena; pripadnici plemena Ona na Ognjenoj zemlji su bili praktično potpuno goli i grejali su se na vatri, otuda ime Ognjena zemlja. Kada je Darwin prolazio kroz Magelanov prolaz, primetio je grupu domorodaca u kanuu, više muškaraca i jednu ženu, koji su bili potpuno goli. Temperatura vazduha je bila samo oko 6°C . Noću su spavali na vlažnoj zemlji zbijeni u grupu [6].



Slika 5-5: Prvobitni stanovnici Ognjene zemlje [6]



Slika 5-6: Nastup plesne grupe „Gubbi Gubbi” na festivalu Booin Gari [7]

Autohtono stanovništvo u Australiji je takođe živelo bez odeće. Ipak se podneblje u Australiji u mnogo čemu razlikuje od podneblja Južne Amerike. U centralnom i zapadnom delu kontinenta je suvo podneblje. Godišnja količina padavina (kiša) je samo oko 28 mm. Za to podneblje je značajno veoma veliko variranje dnevne temperature (pustinjska klima). U januaru (leto) srednja temperatura varira između 12 °C i 28 °C. Variranje dnevnih temperatura (temperature vazduha po danu i po noći) veoma je veliko, i to u granicama između -5 °C i 47 °C. Uprkos takvim promenama temperature, koja je noću često ispod nule, domaćini spavaju direktno na tlu, bez ikakve toplotne izolacije. Istraživači nisu pritom registrovali povećanje metabolizma.

Pretpostavlja se da je kod tih naroda veoma razvijen kontrolni mehanizam kruženja krvi u potkožnom tkivu. Prilikom hlađenja se promeni kruženje krvi u potkožnom tkivu tako da se ono veoma uspori i istovremeno se suže krvne žile. Krajnji učinak tog mehanizma je povećanje toplotne izolacije potkožnog tkiva, što sprečava brže hlađenje organizma. Pritom moramo uzeti u obzir činjenicu da je hladno samo noću i da je golo telo izloženo hlađenju relativno kratko vreme (oko 8 sati), a da su noćne temperature samo rijetko kad niže od -5 °C. Pošto je moguće smanjiti temperaturu na površini prstiju i do 5 °C bez ozbiljnijih posledica, čak i kod neprilagođene osobe, verovatno se Australijancima veoma snizi temperatura na površini kože tokom spavanja u relativno hladnoj noći. Tada se smanji razlika temperatura vazduha i površine kože, zbog čega se smanji brzina protoka toplote sa površine tela u okruženje. Sa druge strane povećava se toplotna izolacijska vrednost potkožnog tkiva zbog ranije navedenog mehanizma u vezi sa kruženjem krvi, što takođe smanjuje prelaz toplote iz jezgra tela kroz potkožno tkivo i kožu u okruženje. Na taj način se polako hladi površina tela, a i potkožno tkivo, dokle se ne dostigne ravnoteža između gubitaka i proizvodnje energije na određenoj temperaturi površine kože i određenoj temperaturi vazduha. Izgleda, da se ta ravnoteža dostigne na višem temperaturnom nivou nego što je temperaturni prag osetljivosti osobe na mraz. Na osnovu zapažanja zaključujemo da je prag osetljivosti mnogo niži nego kod neprilagođene osobe, na primer Evropljanina [8].

5.2. Prilagođavanje na visoke temperature

Razlikujemo dve osnovne vrste toplog podneblja: toplo i suvo, te toplo i vlažno podneblje. U pogledu oblačenja ta dva podneblja zahtevaju različite vrste odeće, kao i različite vrste prostora za stanovanje. Nakratko ćemo opisati jednu i drugu vrstu podneblja.

5.2.1. Toplo i suho podneblje

Takvo podneblje značajno je, pre svega, za Egipat, Srednji i Bliski istok. U starom Egiptu tekstilni proizvodi su uglavnom bili laneni. Vunu su upotrebljavali mnogo manje. Pamuk i prirodna svila do rimskih vremena nisu bili u upotrebi. Od obuće su (3.200 godina pre nove ere) nosili samo sandale. Za vreme starog kraljevstva (2.780 do 2.270 g. pre naše ere) nosili su haljinu do kolena ili do tla od belog lanenog platna.

Bela odeća je imala dve prednosti: nije je trebalo bojiti, ako su uopšte poznavali postupke bojenja, i odbijala je najveći deo sunčeve svetlosti, čime se smanjivalo toplotno opterećenje iz okruženja. Tokom srednjeg kraljevstva (2.100 do 1.788 pre naše ere) toj odeći je dodata još i košulja. U novom kraljevstvu, imperiji, (1.580 do 1.090 pre naše ere) u modi je bila kratka košulja sa rukavima ili bez

njih. Dostojanstvenici su tokom državnih i verskih praznika nosili čak i vlasulje. Seljaci su imali samo haljine od lanenog platna. U delti Nila su prosečne zimske temperature oko 13 °C, a letnje oko 28 °C. U gornjem Egiptu je srednja temperatura vazduha zimi oko 19 °C, leti najviša dnevna temperature je čak više od 50 °C. U Egiptu je suho podneblje sa malo padavina. Približno takvi uslovi podneblja su bili i u starom Egiptu. Podneblje se od tada nije bitno promenilo.



Slika 5-7: Tradicionalna odeća u starom Egiptu [9]

Promene su se dogodile pre tog vremena; pre više od devet hiljada godina u Sahari je bilo dovoljno padavina što se vidi sa slika na stenama u području Tasili [2]. Još i sada se dobro vide suva korita reka (vadi) kao svedoci dovoljno vlažnog podneblja koje je omogućavalo postojanje biljnog i životinjskog sveta.

Drugo zanimljivo područje je Mesopotamija, zato što je slično podneblje kao u Egiptu, samo što je hladnije zbog blizine velikih planinskih lanaca na severu i istoku. U Bagdadu je u januaru srednja temperatura 9°C, minimalna 7°C, u julu je srednja temperatura 35 °C, maksimalna 50 °C, Tokom zime padne manje od 20 mm padavina. Podneblje se menja: temperatura se po pravilu povećava i količina padavina smanjuje.

Na tim područjima starih kultura sada većinom žive Arapi. Beduini su nomadi u arapskom svetu, koji još uvek žive u pustinji pod šatorima. Njihova odeća je primer dobrog prilagođavanja odeće pustinjskom i polupustinjskom podneblju. Muški nose pojas od kože gazele preko široke košulje sa dugim rukavima, koja dopire do tla. Košulja napred ima rascep. Preko nje dolazi duga bela haljina do

tla, koja je veoma kosmata. Ima duge, široke rukave, koji dopiru preko dlanova. Preko toga se nosi pojas od vune ili kože. Povrh toga je zadnji sloj - ogrtač (aba). On je spreda otvoren i dopire do tla. Mnogo je širi od ramena korisnika. Rukavi dopiru nešto preko lakta. Ogrtač je od vunene tkanine ili ovčjeg krzna. Obično su obučeni u sandale ili čizme. Na glavi nose okruglu kapu i preko nje prekrivač. To je komad tkanine, koji ima površinu 0,4 m² i pričvršćen je na glavu i kapu pomoću trake.



Slika 5-8: Odeća u Mesopotamiji [10]

Žene nose dugu tamnoplavu košulju, koja je duža od njih i ima duge rukave. Oko vrata je pripijena. Košulja je, takođe, pritegnuta oko pojasa širokim tkanim pojasom. Višak dužine košulje visi preko pojasa. Preko toga dođe ogrtač kao kod muškaraca. Ponekad je pod njim kratki prsluk. Prkrivalo preko glave je približno kao kod muških, samo je obično crne boje.

Kao što vidimo, odeća je veoma široka i pokriva celo telo. Prekrivač na glavi se može prepraviti tako da pokrije i obraz. Taj prekrivač koristi u pustinjskim olujama kao filter. Pošto je odeća stisnuta uz telo, ne pojavljuje se takozvani učinak prodora (tunel efekat) do koga bi inače došlo kod tako široke odeće. Ovaj učinak znači kretanje zraka od dole naviše. To je inače korisno za hlađenje, no u pustinjskim olujama bi značilo kretanje peska po istom putu, što je svakako nepoželjno. Pored toga se zbog učinka prodora povećava brzina isparavanja, što u pustinjskim okolnostima znači opasno povećanje gubitka tečnosti. Noću se temperatura vazduha veoma snizi i na takvoj temperaturi učinak prodora nije poželjan, jer bi to značilo ubrzano hlađenje tela. Kroj i oblik odeće se čine nepraktični.

Ne smemo zaboraviti da se Beduini pre svega bave stočarstvom i pri tom poslu im odeća ne smeta. Ovakva odeća nije najpogodnija za vrućinu. Zbog toga je troslojna, što omogućava prilagođavanje

povećanoj temperaturi. Kod visokih temperatura preko dana dovoljan je samo jedan sloj, koji pokriva celo telo. Beduini žive u šatorima koji su veoma prostrani. Ulaz u šator je uvijek u senci i u zavetrini da bi što manje peska ulazilo u šator.



Slika 5-9: Tradicionalna odeća Beduina [11]

5.2.2. Toplo i vlažno podneblje

Toplo i vlažno podneblje ima Indonezija, Centralna Afrika, Srednja Amerika i Amazonija. Zanimljivo je videti kako su se narodi u takvom podneblju odevali i kako su stanovali. Na Ostrvu Java muškarci su nosili komad batik tkanine (bojene u batik tehnici) kao ogrtač, koji se omota oko pasa. Pod tim ogrtačom su pantalone i donje gaće. Oko glave su nosili komad tkanine. Ogrtač dopire približno do koljena. Može se produžiti ili skratiti po potrebi tako što se stegne ili popusti u pojasu. Na gornjoj polovini tela nosili su prsluk.

Žene nose sarong - dugi komad tkanine, čiji su krajevi sastavljeni zajedno, tako da tkanina čini širok i kratak valjak. Telo prekriva od pazuha do koljena i čini haljinu. Preko toga se obično nosi tesan prsluk. Srednja temperatura u Džakarti je 26 °C u januaru, do 27 °C u oktobru. Maksimalna razlika temperatura je između 36 °C i 19 °C. Srednja količina padavina je 1.832 mm. Slično podneblje je takođe u Srednjoj Americi, gde su živeli Maji (poluotok Jukatan, Gvatemala, Belize). U tim krajevima su prosečne godišnje temperature 27 °C. Najniža temperatura, izmerena u januaru je 13°C, najviša u aprilu 41°C. Srednja godišnja količina padavina je 1.767 mm. Srednja mesečna relativna vlaga varira između 66% u aprilu i 83% u septembru. To uglavnom važi za Gvatemalu. Na Jukatanu su temperature slične, samo je padavina približno dva puta manje nego u Gvatemali. Na Jukatanu su tla krečnjačka i reke teku uglavnom ispod zemlje – ponornice.



Slika 5-10: Tradicionalna odeća u Indoneziji: sarong i kebaja [12, 13]

Stari narodi Maja su nosili komad kanine, slično kao Javanci, koji su nekoliko puta omotali oko pojasa. Jedan kraj te tkanine je visio spređa, drugi pozadi. To je bila pamučna tkanina, koja je bila tkana vrlo spretno u ornamentima. Žene su oblačile suknju sličnu vreći, otvorenu na obe strane. Grudi nisu bile pokrivenne. Deca su bila gola. U pogledu oblačenja i stanovanja postoji vrlo velika sličnost između Maja i Javanaca, što znači da su se na sličan način prilagodili sličnom podneblju. Kod opisanog odevanja možemo uočiti veoma veliku sličnost. Takođe u pogledu stanovanja nema bitnih razlika. Kuće su prizemne. Podovi su nešto izdignuti u odnosu na nivo tla oko kuće da ne bi došlo do poplave. Oko kuće je dvorište. Krov je pokriven slamom ili trskom. Takav krov je dobar toplotni izolator. Dobra toplotna izolacija krova omogućava smanjenje toplotnog opterećenja koje prouzrokuju sunčevi zraci. Krov ima, dakle, ulogu kišobrana i suncobrana. Stare kulture su se, kao što vidimo, razvile kako u vrućem i suvom podneblju (Egipt, Mezopotamija), tako i u vrućem i vlažnom podneblju (Java, Jukatan, delimično Indija).

U vrućem vlažnom podneblju se metabolizam ne smanjuje. Javanci kao i Maje su imali veoma širok izbor prehrane, koja nije bila kalorična, te minimalnu količinu odeće, što svakako povoljno utiče na fiziološko prilagođavanje takvom podneblju. Možemo navesti još nekoliko zanimljivih pojedinosti u pogledu prilagođavanja podneblju. Depilacija je bila raširena kod starih Egipćana. Primenjuju je i moderni muslimani, kao i mnogi primitivni narodi Južne Amerike i Afrike. Možda ta navika potiče iz potrebe za prilagođavanjem vrućem podneblju. Znoj lakše otiče ako nema dlaka i, takođe, brže isparava. Zbog toga se smanjuje nadražaj kože i loš osećaj.

Slična je razlika između cipela i sandala. Sandale su otvorene i omogućavaju dobro isparavanje znoja a cipele ne. Zato se u cipelama skuplja znoj, povećava se temperatura, omogućen je razvoj

gljivica i uopšte se pogoršava osećaj. Zbog toga su u vrućem podneblju sandale primerenije nego cipele.



Slika 5-11: Tradicionalna odeća Maja [14]

Zanimljiva je konstrukcija šešira. On je u južnoj Kini i u jugozapadnoj Aziji pleten i zbog toga veoma porozan. Unutra je obruč, koji stoji na glavi, tako da je vrh ili dno šešira odmaknut od površine glave za oko 5 cm. To omogućava dobro isparavanje sa površine glave (temena) i prenos vodenih isparenja u okruženje. Na taj način je omogućeno idealno hlađenje glave i sa tim čitavog tela. Ujedno šešir sprečava dodatno toplotno opterećenje iz okoline zbog sunčevog zračenja. Šešir ima traku, da ga seljak može objesiti na leđa ako ga ne koristi. U Meksiku je obod šešira veoma veliki tako da praktično daje senku celom telu.



Slika 5-12: Šešir sa juga Kine i meksički sombrero [14, 15]

Južnoamerički Indijanci (Amazonija) su praktično goli i spavaju u visećoj mreži, drugi narodi na asuri ili na tlu. Ovi načini su u vrućem podneblju pogodniji (telo se bolje hladi) nego u slučaju konvencionalnog kreveta.

Ravni krovovi se pojavljuju u svim područjima koja imaju suvo podneblje. U vrućim noćima su idealno mesto za spavanje. Tradicionalne kuće u Iranu (nekadašnja Persija) često su do pola ukopane u zemlju, jer je u ukopanom delu hladnije leti a toplije zimi nego u gornjem delu kuće. Debeli zidovi od nepečene opeke, visok plafon i visoko postavljeni prozori su veoma dobri konstruktivni elementi u suvom i vrućem podneblju. Koriste se takođe duge lepeze, koje se polako njišu i tako prouzrokuju kretanje vazduha. Pokrenuti vazduh omogućava povećanje isparavanja znoja sa površine kože, što znači povećanje količine emitovane toplote u okruženju, a zbog toga je intenzivnije hlađenje organizma. Odeća je pod određenim uslovima čak i štetna. U Polineziji i Mikroneziji je većina tamošnjih naroda bila bez odeće. Misionari su smatrali da to nije u skladu sa hrišćanskom verom pa su ih obukli. U tim predelima česte su tropske oluje i vetrovi.

Ako je osoba gola, brže se osuši i bolje je toplotno izolovana nego ako na sebi ima mokru odeću, zato što je vazduh bolji toplotni izolator od vode. Zbog duvanja vetra, organizam se brže ohladi u mokroj odeći, nego ako je potpuno gol. Posledica takvoga oblačenja je bilo povećanje obolelosti autohtonog stanovništva i povećanje smrtnosti, takođe. To je samo jedan primer kako dostignuće jedne kulture može biti pogubno za druge ako njegova upotreba nije primerena.

Literatura

1. Stenton R. D. 1991. The adaptive significance of caribou winter clothing for arctic hunter-gatherers. *Études/Inuit/Studies* 15 (1): 3–8.
2. Bacon E. (ur.) 1965. Išezle civilizacije: zaboravljeni narodi drevnog sveta. Beograd, Jugoslavija: 360 str.
3. Newbery N. 2018. Traditional Inuit clothing. *Arctic Journal* December 28.
4. Kløver O. G. 2018. Lessons from the Northwest Passage: Roald Amundsen's experiences in the Canadian Arctic. *Canadian Geographic* Jul 6 2018.
5. Bryan and Cherry Alexander B., Alexander Ch. 2016. Nenets women competing in a traditional clothing competition during the reindeer herders' festival at Nadym. Yamal, Western Siberia, Russia. Nature picture library.
6. Barral X., Gusinde M., Barthe; Ch., Palma M., Chapman A., Legoupil D. 2015. The lost tribes of Tierra del Fuego: Selk'nam, Yamana, Kewésqar. London, Thames & Hudson: 297 str.
7. Tatham H. 2016. The Gubbi Gubbi Dance group performs at the Booin Gari indigenous festival at Noosaville. ABC Sunshine Coast. 6 Apr 2016.
8. Gilligan I. 2008. Clothing and Climate in Aboriginal Australia. *Current Anthropology* 49 (3): 487–495.
9. Vector-Ancient Egyptian man and woman in traditional costumes.
10. <https://anmolminhas.wordpress.com/2014/09/13/the-ancient-egyptian-fashion/> (15. 10. 20121).

10. Mesopotamian Clothing and Family Life.

<https://alancentrivervalleycivilizations.weebly.com/clothing--family-life.html> (15. 6. 2018).

11. Robinson J. 2017. The everyday lives of Bedouins - 100 years ago: Black and white photos show nomadic Arab tribes at the turn of the twentieth century. Dailymail 17. 7. 2017.

12. Sarong. <https://australiansarongs.com/sarongs-in-south-asia/> (15. 6. 2018).

13. Kebaya. <https://en.brilio.net/wow/from-courts-to-commoners-7-types-of-traditional-kebaya-in-indonesia-170512r.html#> (15. 6. 2018).

14. Ancient mayan traditional clothing. <https://www.pinterest.com/pin/400046379372278105/> (15.6.2018).

15. Chinese bamboo hat. <https://www.amazon.com/Sunnyhill-Chinese-Oriental-Bamboo-Fishing/dp/B01M7TVRN9> (15. 6 .2018).

16. Discover ideas about Mexican Sombrero Hat

<https://www.pinterest.com/pin/775252523329804091/> (15. 6. 2018).

6. POLAZIŠTA PROJEKTOVANJA ODEĆE

6.1. Namena odeće

S obzirom na to da je namena odeće veoma raznovrsna, teško je dati potpunu klasifikaciju. To i nije naša namera. Obradićemo samo nekoliko najvažnijih grupa odeće u pogledu namene. Pod izrazom odeća podrazumevamo sve što posmatrana osoba ima na sebi u datim okolnostima. Pritom mislimo i na obuću i slično. Nećemo obrađivati u pojedinostima, na primer, konstrukciju cipela i materijale od kojih su napravljene, nego samo njihovu funkciju i ulogu u sastavu odeće.

Prvi sloj odeće čini donje rublje koje je u neposrednom dodiru sa površinom kože. Drugi sloj je obično odelo u konvencionalnom smislu te reči. Treći sloj je gornji sloj odeće - ogrtač i slično. U našem podneblju dovoljna je troslojna odeća zimi i dvoslojna leti. To ne važi uopšteno. U planinskim predelima čak i leti obično nije dovoljna dvoslojna odeća, posebno na većim visinama. Pri tome mislimo na vreme kada sija sunce. Zimi više puta nije dovoljna troslojna odeća, nego su nam potrebni dodatni slojevi na pojedinim delovima tela. Broj slojeva odeće zavisi od temperature okruženja, vrste i intenziteta aktivnosti, brzine vetra, kao i vrste padavina i sl.

Po nameni možemo odeću razvrstati u više grupa: svakodnevna odeća, radna odeća u zatvorenom prostoru, radna odeća na otvorenom, vojna uniforma, sportska odeća, odeća za posebne namene i sl. Sve te grupe odeće moraju zadovoljiti neke osnovne zahteve, kao na primer: estetski izgled, na koji utiču kroj, oblik, kompozicija boja i izgled površine proizvodnog materijala (tkanina, pletenina i sl.), ugodnost prilikom nošenja, otpornost prema gužvanju i habanju. To su manje-više parametri kvaliteta koji su značajni kod svakodnevne odeće, bez obzira na to da li je to muška, ženska ili dečja odeća. Pored toga mora odeća zadovoljiti i druge potrebe, kao što su: termoizolacija, propusnost vodene pare, propusnost vazdušne mase (vetar), fiziološki osećaj, zaštita od padavina, funkcionalnost i sl. Nabrojani parametri kvaliteta imaju različitu važnost u pogledu namene odeće. Zbog toga ćemo uzeti u obzir samo one parametere, koji su najvažniji za datu vrstu odeće. Pokušaćemo, takođe, uzeti u obzir vrednosti manje značajnih parametara, ali ne na štetu onih koji imaju osnovni uticaj za datu vrstu odeće. Uvek ćemo se pokušati što više približiti optimalnom rešenju.

6.2. Projektni zahtevi za odeću

Projektni zahtevi su osnova za konstrukciju odeće. Ona treba uzeti u obzir projektne zahteve tako da se dobije optimalno rešenje. Zašto optimalno rešenje? Možemo dobiti, na primer, projektni zahtev za odeću, koja mora biti propusna za vodenu paru, koja nastaje zbog isparavanja znoja. Istovremeno se zahteva da ta odeća štiti od kiše, odnosno da se ne nakvasi nakon određenog vremena izloženosti uticaju kiše. Možemo konstruisati takvu odeću koja će u datim okolnostima imati dovoljno veliku propusnost za protok isparenog znoja, ali se istovremeno brzo nakvasi na kiši. Sa druge strane možemo konstruisati nepromočivu odeću i sa tim ispuniti zahtev u pogledu kiše, no ispareni znoj će se kondenzovati u odeći i sa tim poništiti učinak nepropusnosti za vodu iz okruženja. Nijedno od rešenja ne daje željeni učinak. Zbog toga pokušavamo naći optimalno rešenje, koje će uzeti u obzir oba zahteva, što znači da omogući najmanju moguću količinu vlage u odeći u datim okolnostima bez

obzira na to da li ta vlaga potiče sa površine tela ili iz okruženja. Pokušaćemo odrediti projektne zahteve za pojedine grupe odeće u pogledu namene.

6.2.1. Svakodnevna odeća

Za ovu vrstu odeće se ne zahteva ni jedna posebna osobina. Moramo zadovoljiti nekoliko osnovnih potreba u pogledu svakodnevnih aktivnosti, stanja okruženja, navika i sl. U tu grupu spadaju muška, ženska i dečija odeća.

6.2.1.1. Muška odeća

6.2.1.1.a. Uticaj okruženja

Odeća se sastoji iz donjeg rublja, košulje, čarapa, odela (pantalone i sako), ogrtača, kape, eventualno kravate i cipela. U našem podneblju odeća bi morala štiti korisnika na temperaturama okruženja - 20 °C do +10 °C zimi, od 10 °C do 20 °C u proleće, od 20 °C do 30 °C leti i 0 °C do 15 °C u jesen.

Kod nas najčešće duva bura koja je, po pravilu, hladan vetar, posebno u jesen i zimi. Najčešća brzina toga vetra je između 40 km/h i 80 km/h. Jugo i maestral su manje hladni vetrovi i nemaju posebnog značaja za konstrukciju odeće. Prilikom konstrukcije odeće moramo uzeti u obzir i padavine, posebno kišu, i to pre svega onda kada kišobran ne možemo upotrebljavati zbog vetra ili vrste aktivnosti vani, kada nam ruke nisu slobodne.

Intenzitet padavina - kiše - može biti veoma veliki – ponekad se odeća nakvasi za manje od pet minuta. Pošto osoba nekad provodi i više vremena vani u svakodnevnoj odeći, moramo običnoj odeći dodati poseban deo, koji štiti od kvašenja, kao npr. kišobran, kišni ogrtač ili moramo gornje delove odeće impregnirati stalnom vodoodbojnom impregnacijom. Na relativno niskim temperaturama okruženja i posebno ako još duva vetar, morala bi obična odeća ostati nepromočiva bar jedan sat. Svakodnevna odeća mora biti propusna za vodenu paru - ispareni znoj. Pošto u svakodnevnoj odeći obično ne obavljamo teške poslove kod kojih se izlučuju veće količine znoja, ta odeća treba da omogući uspostavljanje ravnoteže između normalne brzine lučenja znoja i brzine njegovog isparavanja.

6.2.1.2. Funkcionalnost

Kod odeće moramo još uzeti u obzir i funkcionalnost u pogledu udobnosti za vreme nošenja. Donje rublje (donje gaće i majica) mora biti elastično i meko da bi se prilagodilo telu. Odeća ne sme smetati krvotoku niti iritirati površinu kože. Ukratko, mora omogućiti najugodniji osećaj. Kroj i oblik moraju biti prilagođeni funkcionalnosti. Ne sme ometati uobičajene životne pokrete. Uticaj vode nije veliki, pošto se dodatno možemo zaštititi vodootpornom vetrovkom, koja ne sme negativno uticati na funkcionalnost.

Košulja dugih rukava prekriva gornji deo tela i predstavlja jedan sloj odeće. Najčešće je proizvedena od guste tkanine ili pletenine. Zbog toga ima ulogu prepreke na kojoj je veliki pad pritiska vodene pare, pod uslovom da je u okruženju pritisak vodene pare niži od nasićenog, ukoliko je preračunat na temperaturu, koja vlada na površini košulje Time se sprečava moguća kondenzacija isparenog znoja u vanjskim slojevima odeće. Pored toga košulja ima i zadatak da zadrži izlučene soli i masnoće da ne prodru u vanjske slojeve odeće. Ona takođe ima delimično funkciju filtera koji smanjuje brzinu prolaza nečistoća iz okruženja ka površini kože. Košulja kratkih rukava ima približno istu funkciju

kao košulja dugih rukava, samo se koristi leti. Zbog toga mora biti izrađena iz poroznije tkanine ili pletenine da bi omogućila bržu difuziju vodene pare i, takođe, bržu izmenu zraka na površini kože, koja je bogata ugljikovim dioksidom, sa okolnim vazduhom. Veća koncentracija ugljikovog dioksida prouzrokuje, makar u početku, povećanje brzine lučenja znoja, što je inače u toplom okruženju poželjno. Znoj može iritirati površinu kože.

Kravata ima dve osnovne funkcije, estetsku i termoizolacijsku. Kravata sama po sebi ne pokriva veću površinu tela, ali povećava zaptivenost okovratnika košulje oko vrata. Na taj način se sprečava takozvani tunelski efekat. Vazduh na površini kože, naime, ima višu temperaturu nego okolni vazduh kad je hladno vreme. Zbog toga se ugrejani vazduh sa površine kože podiže. Veliki deo toga vazduha između okovratnika košulje i vrata, ako između ima dovoljno prostora, ide u okruženje. Umesto toga vazduha dolazi hladni vazduh iz okruženja kroz otvore na odeći (rukavi, čarape, pantalone i sl.) kao i kroz površinu dela odeće. Ako je oko vrata zavezana kravata, nema prostora za prolaz toplog vazduha između vrata i okovratnika i izmena se obavlja kroz slojeve odeće. Odeća obično ima veliki vazdušni otpor. Na taj način se smanjuje izmena toplog vazduha sa hladnim. To znači usporavanje gubitaka toplote. Ako je temperatura okruženja relativno visoka, tunelski efekat je poželjan zbog boljeg hlađenja organizma i izmene vazduha na površini kože radi ranije navedenog uticaja ugljikovog dioksida, kao i zbog ubrzanja isparavanja znoja. Iz toga se vidi da je na vrućini kravata nefunkcionalna. U pojedinim slučajevima može prevladati estetski motiv ili tradicija i protokol. U takvim slučajevima se upotrebljava kravata uprkos tome što fiziološki ne odgovara.

Odeća u užem smislu reči (sako i pantalone) najvažniji je sloj odeće. Praktično se nosi čitave godine. Zavisno od tkanine od koje je proizvedena, ima različite termoizolacijske vrednosti. Njena glavna funkcija je termoizolacija, na drugom mestu je estetska funkcija. U svakodnevnom životu nije uvek tako. Ponekad je na prvom mestu „estetska” komponenta, koja je najčešće posledica trenutne mode. Moda retko kad uzima u obzir funkcionalnost odeće u odnosu na stvarne okolnosti upotrebe, već sledi svoju logiku koja je ponekad čak štetna za zdravlje. Za hladne zimske prilike svakako nisu odgovarajuće „farmerice” i sako od pamučne tkanine, iz koje su napravljene i farmerice. Pored toga, takav sako često ima takozvani engleski kroj, što znači nezaštićena krsta. Dodatna mana je ako su sako i kaubojke pripijeni uz površinu kože. Takav sloj odeće ima mali toplotni otpor u poređenju sa normalnom vunenom odećom, ujedno onemogućava normalne pokrete i nije primeren za obavljanje nekih poslova.

Estetska funkcija je najčešće funkcija mode. Estetska merila se menjaju. Utiču na kroj i oblik, dezene, preovlađujuće nijanse boje, konstrukciju tkanine, površinski izgled tkanine, razne ukrasne dodatke i sl. U slučaju niskih temperatura dodaje se dodatni sloj odeće između odela i rublja odnosno košulje. Ovaj dodatni sloj odeće je najčešće pulover sa rukavima ili bez rukava. U predelu vrata može biti oblikovan izrez u obliku slova V ili u obliku „puli”, okovratnika koji se može otvorarati na vratu ili ne. Donji deo ovog dodatnog sloja su najčešće duge donje gaće. Kao i donje rublje, ovaj sloj je izrađen iz pletenine, koja zbog strukture ima relativno visoku vrednost toplotnog otpora. Pulover je najčešće deblji i ima veći toplotni otpor nego donje duge gaće. To je zato što je emitovanje toplote kroz površinu nogu (bez stopala) jedanput veće nego preko trupa (vidi tabelu 3-2). Ako se pulover nosi kao gornji deo odeće, značajna je i estetska funkcija.

Gornji deo odeće (razne vrste ogrtača ili vetrovka) ima različite funkcije. Svakako je estetska funkcija značajna, bez obzira na specifičnost namene. Ipak, značajnija je funkcija namene. Ona može biti termoizolacijska, vodoodbojna ili vodonepropusna, zaštita od vetra i sl. Ako je gornji deo odeće namenjen za termoizolaciju, mora biti izrađen od deblje tkanine ili od kombinacije guste, srednje teške tkanine i uloška, koji može biti umetno krzno (veoma retko prirodno) ili vlaknovina. Ovakva kombinacija omogućava višestruku namenu. Uložak ima ulogu termoizolacijskog sloja, dok ogrtač ima ulogu zaštite od vetra i vodoodbojni sloj. Pored toga, može imati kapuljaču za zaštitu glave i vrata. Glavu štitimo kapom, kapuljačom, šeširom i sl.

Donji deo nogu i stopala štitimo čarapama. One mogu biti debele, za niske temperature, ili tanke, za toplije periode. U izuzetnim slučajevima možemo upotrebiti i više slojeva čarapa. Čarape, kao i pokrivala za glavu imaju termoizolacijsku i estetsku funkciju. Nekad preovladava jedna, nekad druga.

6.2.1.3. Ženska odeća

U poređenju sa muškom odećom bitna je razlika u donjem rublju i suknji. Ako je suknja dovoljno duga i odgovarajuće široka, zahvata dosta vazduha, koga zagreva površina tela. Kad je vreme mirno, suknja ima dobru termoizolaciju jer se ugrejani vazduh pod suknjom samo malo meša sa spoljnim, hladnijim vazduhom. Tokom vetrovitog vremena se vazduh meša, suknja menja položaj i podiže se. Zbog toga je manje pogodna za zaštitu od mraza nego pantalone. Kod ženske odeće je veoma naglašena estetska funkcija, koja je veoma podložna modnim promenama. Za žensku odeću važe drugi kriteriji nego za mušku.

6.2.1.4. Dečja odeća

Ovde mislimo na odeću za predškolsku decu i posebno za dojenčad. Odeća školske dece se razlikuje od odeće odraslih samo u beznačajnim detaljima i veličinskim brojevima. Odeća za dojenčad mora biti meka, hidrofилna, ulošci ne smeju prouzrokovati alergije na koži, posebno u mokrom stanju. Toplotni otpor mora biti prilagođen stanju okruženja i stanju organizma deteta. Kroj i oblik moraju biti funkcionalni, tako da odeća ne stiska i ne ometa dete u aktivnostima.

6.2.2. Uniforme

Uniforme su takođe radna odeća, pošto su u većini slučajeva službene uniforme (vojne, policijske, vatrogasne i sl.). Bojom, krojem i, kao i raznim dodacima naglašavaju pripadnost korisnika određenoj grupi (vojsci, policiji, vatrogascima, željeznici i td.) Osoba u uniformi je najčešće službena osoba (policajac, sprovodnik voza, portir i sl.) i sa uniformom može biti određen položaj korisnika u odnosu na ostale građane. Uniformom se mogu naznačiti određena prava ili dužnosti.

Pored vanjske oznake pripadnosti, uniforma može imati i drugu funkcije, isto kao i svaka druga odeća. Uniforma portira, koji radi u zatvorenom zagrejanom prostoru se po funkcionalnosti razlikuje od uniforme saobraćajnog policajca, koji reguliše promet ili kontroliše događanja po gradu. Uniforma vatrogasaca mora biti negoriva.

Najraširenija je vojna uniforma. Kod vojne uniforme moramo rešiti:

- Uniformiranost;

- Univerzalnost;
- funkcionalnost u užem smislu;
- maskiranje;
- zaštitu od fizičkih, hemijskih, i bioloških oštećenja;
- zaštitu od neprijatnog uticaja podneblja i
- specifičnosti.

6.2.2.1.b. Uniformisanost

Tradicionalno imaju kopnena vojska, vazduhoplovstvo i mornarica uniformu različitih boja. Razlike su delimično i u sastavu kompleta uniforme, kroju i obliku pojedinih delova. U novije vreme, svi imaju maskirnu uniformu, bez obzira na državu kojoj vojnik pripada. Po običaju, posebnu uniformu imaju samo piloti vojnih, a i civilnih putničkih aviona. To isto važi za civilnu mornaricu, takođe, posebno za posade putničkih brodova. Uniforma policije u normalnoj službi razlikuje se od drugih uniformi. Posebne antiterorističke jedinice obično upotrebljavaju normalnu maskirnu uniformu i neke dodatne delove, koji štite korisnika od napada terorista, kao i od razjarenih masa, tokom raznim demonstracija (kacige, neprobojni prsluci).

6.2.2.1.c. Univerzalnost

Sastav kompleta uniforme mora biti takav da je upotrebljiva u svim godišnjim dobima, na svim područjima na kojim deluju korisnici uniforme. To znači da se uniforma mora prilagoditi promenama parametara podneblja (temperatura, kiša, vetar i sl.) i takođe promenama aktivnosti, odnosno promenama brzine proizvodnje toplote i njenog emitovanja u okruženje. Zbog toga uniforma mora biti višeslojna, sa mogućom zamenom pojedinih delova uniforme u određenim godišnjem dobima ili vrsti aktivnosti (rat, odmor, marš i sl.).

6.2.2.1.d. Funkcionalnost

Kroj uniforme mora omogućiti optimalnu funkcionalnost kompleta i pojedinih delova za određene borbene aktivnosti, u pogledu opterećenja, pokretljivost i bojevu gotovost u celini. Osnovni predmeti uniforme, kao što su vetrovka, bluza i pantalone, moraju omogućiti nesmetano nošenje i upotrebu osnovnog naoružanja, municije i drugih ratnih i ličnih sredstava.

6.2.2.1.e. Funkcionalnost u užem smislu

Boja uniforme (gornji sloj) mora biti takva da optimalno maskira na svim vrstama terena u vidnom i infracrvenom delu spektra. S obzirom na to maskirna uniforma ne može biti univerzalna. Pustinjsko ili polu pustinjsko okruženje drugačije odbija svetlost nego okruženje u umerenom pojasu. Zbog toga jedinice koje se šalju na Bliski ili Srednji istok moraju biti opremljene posebnom maskirnom uniformom, koja maskira u vidnom delu spektra na pustinjskom i polupustinjskom terenu.

6.2.2.1.f. Zaštita od fizičkih, hemijskih i bioloških povreda

Uniforma mora štiti od neposrednih fizičkih povreda do kojih bi moglo doći prilikom manipulacije i upotrebe oružja, kretanja po neravnom terenu (kamenje, grmlje, trnje, blato i sl.). Takođe, prilikom

eksplozije atomske bombe (delimična zaštita od radioaktivnog zračenja i toplotnog udara), prilikom upotrebe bojnih otrova i bioloških agenasa, bez obzira na agregatno stanje. Uniforma mora štiti i od neposredne vatre i podneti do $42 \text{ J/cm}^2 \cdot \text{s}$, kao i od opekline I stepena ($8,4 \text{ J/cm}^2 \cdot \text{s}$ do $12,6 \text{ J/cm}^2 \cdot \text{s}$).

6.2.2.1.g. Zaštita od neprijatnih uticaja podneblja

Za razliku od normalnih okolnosti u kojima se korisnik svakodnevne odeće ne izlaže ekstremnom stanju okoline (veoma niske i veoma visoke temperature, padavine, jak vetar i sl.) ili im se izlaže relativno kratko vreme, vojnik ne može svoje vanjske aktivnosti prilagoditi stanju okruženja, nego ih prilagođava potrebama odbrane (vežbe, borba i sl.). Zbog toga uniforma mora omogućiti borbenu gotovost korisnika u temperaturnom intervalu od $-25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+30 \text{ }^{\circ}\text{C}$, bez obzira na padavine i brzinu vetra. Ova zaštita trebala bi trajati šest i više sati. Šest sati je donja granica vremenske tolerance. Ako je vojnik šest sati u određenom okruženju, i ako je kod određene vrste i inteziteta aktivnosti još uvek sposoban obavljati postavljeni zadatak, računa se da uniforma zadovoljava date uslove. Ako se, na primer, nakon četiri sata u određenim uslovima počne smanjivati korisnikova bojeva gotovost, uniforma nije odgovarajuća za date uslove upotrebe.

Da se uniforma pri kišnom vremenu ne bi nakvasila, gornji slojevi uniforme se impregniraju stalnom vodoodbojnom impregnacijom ili se proizvode iz vodoodbojnih vlakana. Ako se bitno ne promeni težina uniforme koja je izložena kiši, ovo rešenje zadovoljava. Ovakva zaštita uniforme je značajna iz dva osnovna razloga:

- ne povećava se težina uniforme zbog kvašenja, šta je vrlo važno, jer je korisnik i bez toga dodatnog nekorisnog tereta dovoljno opterećen;
- ne smanjuje se toplotni otpor uniforme, što je veoma važno u jesen i zimi, na niskim temperaturama.

Računa se da uniforma dobro štiti od padavina (kiše), ako se težina vodoodbojnog vanjskog sloja uniforme ne poveća više od 30 % za tri sata, uz intenzitet padavina 15 mm/h . Zaštitni sloj od vetra neka ne propušta više od $1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$. Tu se podrazumeva vazduh pod pritiskom 100 Pa . Pored toga mora uniforma omogućiti što bolju propusnost vodene pare, koja nastaje kao posledica isparavanja znoja. Gusti zaštitni sloj od vetra slabo propušta vodenu paru. Zbog toga je neophodno potražiti optimalno rešenje. To omogućava kroj i sastav uniforme, odnosno kompleta. Sa povećanjem brzine vetra povećava se i brzina isparavanja znoja (jednačina (4.5)). U takvim okolnostima ne dolazi često do neravnoteže između znojenja i isparavanja znoja. Ako nema vetra, kroj mora omogućiti smanjenje otpora prolasku vodene pare povećanjem otvora, što se najčešće postiže otkopčavanjem delova uniforme. Postoji takođe mogućnost da se zaštitni sloj skine, a da se bitno ne oslabe druge osobine uniforme.

6.2.2.1.h. Specifičnosti

Upkos težnji ka univerzalnosti, vojna uniforma se ne može koristiti za sve namene. Ponekad je potrebno dodati još neki deo ili postojeći zameniti drugim, koji bolje odgovara. Uniformu je potrebno delimično modifikovati za potrebe padobranaca, tenkista, podmorničara, ronilaca, jedinica za dekontaminaciju i sl. Piloti obično imaju specifičnu uniformu, koja je prilagođena aktivnosti u tesnoj

avionskoj kabini (lovački avioni), i mora omogućiti optimalnu aktivnost i katapultiranje u slučaju da avion pogodi projektil, zbog čega će se avion srušiti.

Za zaštitu od bojnih otrova, osim gas maske, neophodna je posebna odeća koja se oblači preko uniforme. Ona mora biti propusna za vodena isparenja i vazduh, ali ne za pare otrovnih gasova. Ovakva dodatna zaštitna odeća bi morala biti troslojna. Prvi, gornji sloj bi morao biti izrađen od guste tkanine, obrađene vodoodbojnom impregnacijom, koja je ujedno i ulje-odbojna. Ovo zbog toga da tečni bojni otrov ne bi sa vodom prodro kroz gornji sloj zaštitne odeće. Veličina i broj pora moraju biti takvi da zbog hidrodinamičnog udara tečnih kapljica bojnih otrova prodre kroz taj sloj najviše 1% količine bojnog otrova, koja je pala na površinu gornjeg sloja.

Pošto su bojni otrovi veoma jaki, za ozbiljnije povrede ili čak smrt bilo bi dovoljno i tih 1%. Zbog toga mora postojati još jedan sloj da apsorbuje tu količinu, odnosno isparenja koja postepeno otpušta bojni otrov. Ovaj drugi – unutrašnji – sloj mora sadržati aktivni ugalj ili ugljenisani PAN, pamučnu ili viskoznu tkaninu. Ovakvu zaštitnu odeću je moguće upotrebiti i prilikom prskanja voćnih stabala otrovnim supstancama. Treći sloj je postava koja štiti unutrašnji apsorpcijski sloj.

6.2.3. Radna odeća

Radna odeća je prilagođena vrsti posla i stanju okruženja na radnom mestu. U većini slučajeva radna odeća je modifikovana svakodnevna odeća, tako da je deo odeće zamenjen radnim mantilom, radnim odelom (pantalone i bluza) ili radnim kombinezonom. Ponekad je svakodnevna odeća takođe radna odeća i to na radnim mestima gde nema posebnih uticaja okruženja ili zahteva radnog mesta, kao što je rad u kancelariji i slično.

Obično govorimo o radnom odelu a ne o radnoj odeći. To je zbog toga što je obično onaj deo odeće, koji smo dodali svakodnevnoj odeći ili smo njime zamenili deo svakodnevne odeće, jednoslojan. Uopšteno možemo reći da radna ili zaštitna odeća ima neke ili većinu sledećih funkcija, odnosno, da štiti donje slojeve odeće ili korisnika od:

- prljavštine, agresivnih supstanci i habanja;
- agresivnog okruženja;
- visokih temperatura i opekotina;
- vlage;
- vetra i niskih temperatura;
- jakog svetla;
- povreda i sl.

Navedene funkcije, odnosno parametri, imaju različitu ulogu i vrednosti kod radne odeće namenjene za različite poslove. Ako korisnik radi u hemijskom laboratoriju, mora imati mantil, koji na takvom radnom mestu obično ima ulogu radne odeće, otporan na baze i kiseline. Ako imamo posla sa lako zapaljivim tvarima, radno odelo, ili čak čitava odeća, moraju biti nezapaljivi. Nezapaljivo je onda ako ne gori u atmosferi koja ima do 25% kiseonika. Ponekad se ta granica poveća na 27% kiseonika. U građevinarstvu se često koriste cipele koje iznad prstiju imaju čeličnu ploču - abok, koji prste štiti od

povreda u slučaju da kakav teži predmet padne na nogu. Radne rukavice u građevinarstvu su primer zaštite ruku od povreda zbog trenja. Sa druge strane, rukavice na rukama hirurga imaju ulogu zaštite bolesnika od zaraze.

Iz ovih nekoliko slučajeva vidimo da je spektar funkcija radne odeće, odela ili pojedinih delova odeće, stvarno veoma širok. U svakom pojedinom slučaju moramo dobro proučiti namenu odeće, odela ili pojedinih predmeta, okruženje i način upotrebe. Ukratko, moramo proučiti stanje okruženja i stanje korisnika u pogledu vrste i inteziteta aktivnosti i na osnovu toga potražiti optimalno rešenje za zaštitu koju mora pružati radna odeća, odelo ili pojedini komad odeće.

6.3. Osnovni parametri, koje moramo uzeti u obzir prilikom konstrukcije odeće

Kao proizvodni materijal za odeću upotrebljavaju se pre svega tkanine, pletenine, vlaknovine, trake, dugmad, zatvarači i sl. Tkaninu možemo potpuno opisati sa više od 50 parametara kvaliteta. Neki od njih su u određenoj međusobnoj zavisnosti. Ta zavisnost obično nije funkcijska nego je stohastička. Zbog toga je nekad potrebno propisati samo interval vrednosti pojedinog parametra kvaliteta. U praksi je veoma važna ekonomičnost kontrole kvaliteta. Zbog toga se propisuje optimalni broj parametara za kontrolu kvaliteta tkanine. Ponekad je taj broj minimalan. To je onda kada proizvodnja teče vanredno (smetnje na tržištu, rat, itd.) i svaka detaljnija kontrola kvaliteta bi bila neprimerena. Obično je dovoljno 10 do 20 parametara kvaliteta za dovoljno detaljan opis kvaliteta tkanine.

Prilikom konstruisanja proizvodnog materijala za pojedine slojeve odeće i upotrebe određenog kroja i oblika pojedinih komada odeće, te kompozicije odeće, uzećemo u obzir samo nekoliko osnovnih parametara kao što su: termoizolacija, otpor protoku vodene pare, kvašenje i estetski izgled odeće. Drugi parametri su specifični s obzirom na vrstu i namenu odeće.

6.3.1. Toplotna izolacija odeće

Osnovni parametar kvaliteta odeće u našem podneblju je svakako toplotna izolacija. Zaštita od hladnoće je bila osnovni uzrok zbog koga se čovek počeo oblačiti. Slabiju toplotnu izolaciju vlastitog krzna je nadomestio krznom ulovljenih životinja. Kada je odeću počeo redovno upotrebljavati njegov vlastiti kosmati prekrivač – krzno, bilo je sve manje značajan

Pod toplotnom izolacijom odeće podrazumevamo količinu odeće koja u datim uslovima omogućava korisniku da postigne osećaj ugodnosti. Ovaj parametar izrazićemo kvantitativno toplotnim otporom. Kao što se vidi iz jednačine (3.2), on je jednak kvocijentu debljine odeće i toplotne provodnosti odeće. U slučaju višeslojne odeće toplotni otpor predstavlja zbir otpora svih slojeva odeće i sloja nepokretnog vazduha na površini odeće. Taj zbir možemo izraziti sledećom jednačinom:

$$R_s = \sum_{i=1}^n R_i + R_z = \sum \frac{d_i}{\lambda_i} + R_z \quad (6.1)$$

gde je:

- R_s -ukupni toplotni otpor slojeva odeće i sloja mirnog vazduha na površini odeće, $m^2 \cdot ^\circ C \cdot h/kJ$;

- R_i - toplotni otpor i -tog sloja odeće, $m^2 \cdot ^\circ C \cdot h / kJ$;
- R_z - toplotni otpor sloja mirnog vazduha na površini odeće, $m^2 \cdot ^\circ C \cdot h / kJ$;
- d_i - debljina i -tog sloja odeće, m ;
- λ_i - koeficijent toplotne provodnosti i -tog sloja odeće, $m \cdot ^\circ C \cdot h / kJ$;
- n - broj slojeva odeće.

Kao merilo da toplotni otpor ima zadovoljavajuću vrednost u određenim slučajevima, uzima se vreme tolerancije šest i više sati. To znači da, ako odeća omogućava da korisnik ostane u području ugodnosti šest i više sati u datim uslovima, odeća zadovoljava u pogledu toplotnog otpora, odnosno toplotne izolacije. Stvarno je veoma teško izračunati pravilnu vrednost toplotnog otpora u realnoj odeći. To je zato što se menja međusobni položaj slojeva odeće, posebno pri kretanju (hodanje ili određeni pokreti pri vršenju određenog posla). Prilikom hodanja, na primer, najmanje je udaljena vanjska površina spoljnog sloja odeće od površine kolena, kada je ono u najvišem položaju napred. Istovremeno je površina kolena druge noge, koja je krajnjem zadnjem položaju, najudaljenija od površine vanjskog sloja odeće. U takvom položaju je najčešće vanjska površina pantalona. Uopšte je, na primer, u troslojnoj odeći stvarno sedam slojeva, koji pružaju određen toplotni otpor. Prvi sloj je sloj vazduha neposredno na površini kože korisnika. Potom dođe prvi sloj odeće, pa sloj vazduha između prvog i drugog sloja odeće i tako dalje. Na površini poslednjeg sloja odeće je još jedan sloj mirnog vazduha, čiji otpor je R_z u jednačini (6.1). Ovaj poslednji sloj mirnog vazduha ima konstantan toplotni otpor u mirnoj atmosferi. Ako duva vetar sa više od 1 m/s, počinje se veoma brzo smanjivati toplotni otpor tog sloja (jendačina (3.3)).

Realne okolnosti upotrebe odeće možemo simulirati na lutki (manekenu) koja ima proporcije prosečnog čoveka i ima pokretne udove, tako da je moguće simulirati hod pri različitim brzinama kretanja i izmeriti toplotni otpor. Ako te mogućnosti nemamo, upotrebicemo laboratorijske metode. U tom slučaju stavimo sloj odeće među dve ploče, koje imaju različite temperature, i merimo količinu toplote koja prolazi kroz sloj odeće (uzorak).

Nakratko ćemo opisati jednu od metoda za određivanje toplotne provodnosti ravnih tekstilnih proizvoda. Aparat se sastoji od dva termostata, u kojima je voda sa temperaturom $60^\circ C$ i $20^\circ C$, i iz valjka, koga čine gornji cilindar, kroz koji se pretače voda temperature $60^\circ C$, gornje bakrene ploče, uzorka, srednje bakrene ploče, referentne staklene ploče, donje bakrene ploče i donjeg cilindra kroz koji se pretače voda temperature $20^\circ C$. Sve tri bakrene ploče su termoelementima povezane na rastavni prekidač, a on sa mili-voltmetrom i termostratom koji ima temperaturu $0^\circ C$.

$$Q_x = \frac{\lambda_x}{d_x} (T_2 - T_3) S t \quad (6.2)$$

$$Q_n = \frac{\lambda_n}{d_n} (T_3 - T_n) S t \quad (6.3)$$

$$Q_x = Q_n \quad (6.4)$$

$$\lambda_x = \left[\frac{\lambda_x d_x}{d_n} \right] \left[\frac{T_3 - T_n}{T_2 - T_3} \right] \quad (6.5)$$

U jednačinama (6.2) do (6.5) parametri znače:

- Q_x - količina toplote, koja u vremenu t prolazi kroz sloj odeće (uzorak), kJ;
- Q_n - količina toplote, koja u vremenu t prolazi kroz referentnu staklenu ploču, kJ;
- λ_x - koeficijent toplotne provodnosti sloja odeće (uzorka), kJ/m.⁰C.h;
- λ_n - koeficijent toplotne provodnosti referentne staklene ploče, koji je poznat, kJ/m.⁰C.h;
- S - površina poprečnog preseka valjkasteg stuba odnosno površina sloja odeće (uzorka), koja je jednaka površini staklene referentne ploče, m²;
- T_2 - temperatura gornje bakrene poče, °C;
- T_3 - temperatura srednje bakrene poče, °C;
- T_n - temperatura donje bakrene ploče, °C;
- d_x - debljina sloja odeće (uzorka), m;
- d_n - debljina referentne staklene ploče, m.

Cilindrični stup je izolovan plutom ili stiroporom. Nakon dva sata uspostavlja se stacionarni toplotni tok. Zbog razlike temperatura, u termoelementima nastaje električna struja, koju merimo milivoltmetrom. Pomoću mernih krivulja očitavamo odgovarajuće temperature (svakom naponu odgovara određena temperatura).

Metoda je zasnovana na pretpostavci da je količina toplotnog toka, koji ide kroz uzorak, jednaka količini toplotnog toka koji prolazi kroz referentnu staklenu ploču, čiji koeficijent toplotne provodljivosti poznajemo. Pretpostavku jednakog toplotnog toka možemo ilustrovati pomoću gornjih jednačina. Temperature se mere na sredini debljine ploča a ne na površini uzorka odnosno referentne ploče. Pored toga, između uzorka i referentne ploče je srednja bakarna ploča. Kroz omotač tih ploča se izgubi određena količina toplote, što znači da Q_x stvarno ima nešto veću vrednost nego Q_n i zbog toga će realna vrednost λ_x biti nešto viša nego što je izračunato jednačinom (6.5). Ako je koeficijent toplotne provodnosti referentne staklene ploče određen na osnovu poznatog koeficijenta toplotne provodnosti uzorka, onda su gubici toplote kroz omotač valjka već u velikoj mjeri uračunati.

6.3.1.2. Uticaj temperature

Pošto smo izmerili koeficijent toplotne provodnosti i debljinu sloja odeće, izračunaćemo toplotni otpor posmatranog sloja jednačinom (3.2). Pošto je koeficijent toplotne provodljivosti zavisen od temperature; onda je od temperature zavisan i toplotni otpor. Tu zavisnost možemo opisati sljedećom empirijskom jednačinom:

$$\lambda_T = \lambda_0 (1 + k_T \Delta T) \quad (6.6)$$

gde su:

- λ_T - koeficijent toplotne provodnosti na temperaturi T , kJ/m.⁰C.h;
- λ_0 - koeficijent toplotne provodnosti na temperaturi 0 °C, ili na temperaturi koju ima standardna atmosfera (20 °C), zavisno od dogovora, kJ/m.⁰C.h;
- k - empirijska konstanta, koja ima vrednost 0,0025/⁰C.

S obzirom na vrednost empirijske konstante k sa povećanjem temperature se veoma lagano povećava vrednost koeficijenta toplotne provodnosti. Ako, na primer, određena tkanina ima koeficijent toplotne provodnosti 0,0119 kJ/m.⁰C.h, na 0 °C, ta vrednost će se povećati kod 100 °C na 0,019 ili za oko 25 %. Ako toplotnu provodnost merimo na 40 °C, kao u ranije opisanoj metodi, izmerena vrednost koeficijenta toplotne proizvodnosti biće 0,0131 kJ/m.⁰C.h, što je za 10 % viša nego bi bila na 0 °C. Kako vidimo iz ovog slučaja, odstupanja su prevelika. Tu činjenicu treba uzeti u obzir prilikom konstruisanja odeće. S obzirom na jednačine (3.1) i (3.2), možemo napisati ukupni toplotni otpor u sedećem obliku:

$$R = \frac{1}{Q}(T_1 - T_2)St \quad (6.7)$$

gde su:

- Q - toplota, koja se prenosi kondukcijom s površine tela do površine odeće, kJ;
- R - ukupni toplotni otpor m².⁰C.h/kJ;
- T_1 - temperatura na unutrašnjoj površini odeće °C;
- T_2 - temperatura na vanjskoj površini odeće °C;
- S - posmatrana površina kože korisnika m²
- t - vreme posmatranja.

Toplota Q , definisana jednačinom (3.1) stvarno je toplota koja se prenosi pomoću kondukcije od površine tela do površine odeće. Toplota se prenosi u okruženje konvekcijom i zračenjem. Pretpostavićemo da sva toplota koju osoba emituje ide kroz površinu kože u okruženje, a istovremeno je osoba u stanju ugodnosti. To ne znači da je Q u jednačini (6.7) jednaka količini toplote koju osoba emituje kroz površinu kože. Ona je stvarno možda manja za količinu toplote koju preuzme površina odeće iz okruženja. Zbog toga se usled dodatne količine toplote, koja dolazi iz okruženja, povećava ukupna količina toplote koja je na raspolaganju i tako dostižemo ravnotežu na manjoj vrednosti toplotnog otpora.

6.3.1.3. Uticaj vode

Kao što smo već naveli u poglavlju 3.0, voda bolje provodi toplotu nego tekstilno vlakno, odnosno tekstilni proizvodi ili vazduh. Ravni tekstilni proizvod se sastoji iz tri komponente: vlakana, vode i vazduha. Količina vlakana je konstanta. Čak kad im se poveća zapremina zbog nabreknutosti,

povećanje možemo pripisati vodi koju su upila. Sa povećanjem količine vode u tekstilnom proizvodu se, dakle, smanjuje količina vazduha, i obratno.

Pošto je koeficijent provođenja toplote vode 20 puta veći nego „mirnog“ vazduha, povećaće se ukupni koeficijent provođenja toplote testilnoga proizvoda istovremeno sa povećanjem količine vode u njemu. Vuna provodi toplotu 7,3 puta više nego vazduh, pamuk pak 17,5 puta više.

U pogledu trokomponentnog sastava zapremine ravnog tekstilnog proizvoda i činjenice, da se, sa povećanjem količine vode u njemu smanjuje količina vazduha, realno je očekivati linearno povećanje vrednosti ukupnog koeficijenta toplotne provodljivosti sa povećanjem količine vode u tekstilnom proizvodu. Tu promenu možemo izraziti pomoću jednačine (6.8).

$$\lambda_w = a_0 + a_1 \Delta W = \lambda_0 (1 + k_w \Delta W); \quad \lambda_0 = a_0; \quad k_w = \frac{a_1}{a_0} \quad (6.8)$$

gde su:

- a_0 - koeficijent toplotne provodljivosti apsolutno suvog ravnog proizvoda, kJ/m.⁰C.h;
- a_1 – koeficijent smera prave ($a_0 > 0$);
- W - količina vode u ravnom tekstilnom proizvodu, % na suhu masu proizvoda, ili % relativne vlage okolnog vazduha;
- λ_0 - početna vrednost koeficijenta λ (koeficijent toplotne provodnosti), kod apsolutno suvog proizvoda.

Početna vrednost koeficijenta λ kod apsolutno suvog proizvoda i vrednost koeficijenta smera mogu biti različiti kod različitih ravnih tekstilnih proizvoda, što zavisi od strukture proizvoda, sirovinskog sastava i sl. Pošto je veoma teško dobiti apsolutno suv uzorak tekstilije, najprimerenije je da se početna vrednost koeficijenta toplotne provodnosti odnosi na standardnu atmosferu, što znači da uzorak ima onoliko vlage, koliko je propisano za datu vrstu sirovine u standardnoj atmosferi.

U tabeli 6-1 je prikazana promena vrednosti koeficijenta toplotne provodnosti u zavisnosti od količine vode u proizvodu [2]. Sa povećanjem količine vode povećava se toplotna provodnost. Na 100 % relativne vlage neimpregniran uzorak upije 13,29 % vode; dok impregnirani upije samo 11,9 %. Apsolutno suv impregniran uzorak ima približno 9 % veću provodnost toplote nego neimpregniran. Pošto neimpregnirani uzorak upija više vode na određenoj relativnoj vlazi okolnog vazduha, ta se razlika smanjuje sa povećanjem relativne vlage vazduha. Na 100% relativne vlage impregnirani uzorak ima približno 1 % nižu vrednost koeficijenta toplotne provodnosti. To je takođe razumljivo s obzirom na sadržaj vode u posmatranim uzorcima.

Zanimljive su promene koeficijenta toplotne provodnosti na 50 %, 75 % i 100 % sadržaja vode u uzorku. Kod 50 % sadržaja vode neimpregniran uzorak ima još uvek veću vrednost, na 75 % i 100 % sadržaja vode se ona bitno menja. Impregnirani uzorak ima oko 4 % veću vrednost koeficijenta toplotne provodnosti nego neimpregniran uzorak. Ta očigledna promena verovatno je posledica načina raspodele vode u uzorku. Ako poredimo debljine uzoraka, vidimo da neimpregnirani suvi uzorak ima za 14 % veću debljinu nego impregnirani. Na 100 % sadržaja vode se ta razlika povećava

na 19 %. Na osnovu toga možemo zaključiti da neimpregnirani uzorak više nabrekne nego impregnirani. Ova promena još je izrazitija na 50 % sadržaja vode, gde iznosi 25 %.

U neimpregniranom uzorku je veći deo vode u vlaknima i pređi, dok su pore među nitima potke i osnove još uvek ispunjene vazduhom. Pošto se toplota prenosi kroz tvrde stvari i tekućine zbog kretanja atoma, grupe atoma i molekula, ona će se prenositi sa sloja vode koji je na površini uzorka kroz vlakna i vodu, koja je u njima, i kroz sloj vode na površini, a onda kroz sloj vazduha, koji usporava prenos toplote. Koncentracija molekula u vazduhu (gustina vazduha), koje prenose energiju, manja je od koncentracije molekula u vodi ili vlaknu.

Verovatnije je da je u impregniranom uzorku voda među nitima osnove i potke i na površini vlakana. Tako čini povezanu mrežu, koja je povoljnija za provođenje toplote, nego što je to slučaj u neimpregniranom uzorku. Otuda verovatno razlike u brzini prenosa toplote.

Jednačina (6.8) testirana je na većem broju različitih tkanina [2]. Ustanovili smo da je najmanja vrednost koeficijenta korelacije bila veća od 0,93 prilikom testiranja zavisnosti koeficijenta toplotne provodnosti od relativne vlage (interval od 0 % do 100 %). Zanimljivije je posmatrati promenu koeficijenta toplotne provodnosti u zavisnosti od sadržaja vode u tkanini ili drugom ravnom tekstilnom proizvodu. Testiranje ispravnosti jednačine (6.8) kod sadržaja vode u uzorku od 0 % do 100 % pokazalo je da je najmanja vrednost koeficijenta korelacije veća od 0,96. Pored toga, proveravano je takođe podudaranje promena sa polinomom regresijska krive, jednačina (6.9) i ustanovili smo, da je $a_3 = 0$.

(6.9)

$$\lambda = a_0 + a_1W + a_2W^2 + \dots + a_nW^n$$

Tabela 6-1: Uticaj količine vode i vodoodbojne impregnacije na promenu vrednosti koeficijenta toplotne provodnosti u vunenoj češljanoj tkanini za muška odela (f je % relativne vlage u vazduhu) [2]

Stanje vzorca	λ , kJ/m.h. ⁰ C	λ , kJ/m.h. ⁰ C	Debelina tkanine, mm	Debelina tkanine, mm	Količina vode, %	Količina vode, %
	Impregni-rano	Ne impregnirano	Impregni-rano	Ne impregnirano	Impregni-rano	Ne impregnirano
0 % f	0,2418	0,2251	0,598	0,685	0,0	0,0
25% f	0,2583	0,2629	0,579	0,681	1,6	1,7
50% f	0,2709	0,2538	0,561	0,662	5,5	6,8
75% f	0,2793	0,2631	0,579	0,681	9,4	10,4
100% f	0,2881	0,2912	0,572	0,675	11,9	13,9
50% vode	0,6452	0,8060	0,592	0,741	50,0	50,0
75% vode	0,9387	0,9030	0,630	0,722	75,0	75,0
100% vode	1,089	0,9425	0,641	0,761	100,0	100,0

Vrednost koeficijenta a_2 po pravilu je mnogo manja nego a_1 . Pošto se a_2 množi sa kvadratom sadržaja vode u % ili relativne vlage vazduha u %, on nije zanemarljiv. Najmanja vrednost koeficijenta korelacije je veća od 0,99. Na osnovu toga se jednačina (6.9) bolje podudara sa eksperimentalnim rezultatima nego jednačina (6.8). Ipak, sa praktičnog stanovišta primerenija je jednačina (6.8) nego jednačina (6.9), i njena tačnost u praksi je zadovoljavajuća. U tabelama 6-2 i 6-3 su prikazani rezultati testiranja jednačine (6.8). U tabeli 6-3, uzorci 1, 2 i 3 su vunene češljane tkanine za mušku odeću. Uzorak 2 je identičan uzorku 1, samo je obrađen sa vodoodbojnom impergnacijom. Kod uzoraka 4 i 5 je na uzorak 3 nalepljena laka pamučna tkanina (uzorak 4), odnosno vrlo tanka vlaknovina (uzorak 5). Kod uzoraka 6 do 9 na češljanu tkaninu (uzorak 1) su nalepljene jednake vlaknovine; uzorci 8 i 9 su impregnirani vodoodbojnom impregnacijom. Uzorak 10 je fresco češljana tkanina izrađena iz vune i PES vlakana (45/55). Kod uzorka 11 je na nju nalepljena tanka pamučna tkanina. Slično je kod uzorka 12, samo je nalepljena tkanina gušća. U tabeli 6-3 su isti uzorci, kao u tabeli 6-2.

Tabela 6-2: Vrednost koeficijenata linearne regresijske krive (jednačina (6.8)) u zavisnosti od promene vrednosti koeficijenta toplotne provodnosti od % relativne vlažnosti vazduha (r je koeficijent korelacije) [2]

Uzorak	$a_0 \cdot 10^{-3}$	$a_1 \cdot 10^{-3}$	r
1	233	0,529	0,94
2	245	0,454	0,99
3	251	1,369	0,98
4	276	0,550	0,97
5	264	0,378	0,95
6	263	0,445	0,93
7	256	0,790	0,99
8	239	0,605	0,98
9	263	0,328	0,94
10	239	0,302	0,99
11	288	0,386	0,99
12	246	0,634	0,97

Tabela 6-3: Vrednost koeficijenata linearne regresijske krive (jednačina (6.8)) u zavisnosti od promene vrednosti koeficijenta toplotne provodnosti, koji se menja u zavisnosti od sadržaja vode u uzorku (0 % do 100 %); r je koeficijent korelacije [2]

Uzorak	$a_0 \cdot 10^{-3}$	$a_1 \cdot 10^{-3}$	r	a_1/a_0
1	175	8,97	0,98	0,0513
2	218	8,99	0,99	0,0412
3	258	8,19	0,97	0,0317
4	271	11,59	0,99	0,0428
5	215	9,28	0,97	0,0483
6	247	9,49	0,99	0,0384
7	242	11,68	0,99	0,0483
8	220	7,31	0,99	0,0332
9	230	6,8	0,98	0,0296
10	209	10	0,99	0,0478

11	293	9,28	0,99	0,0317
12	265	10,08	0,99	0,038
Prosečna vrednost a_1/a_0				0,0398

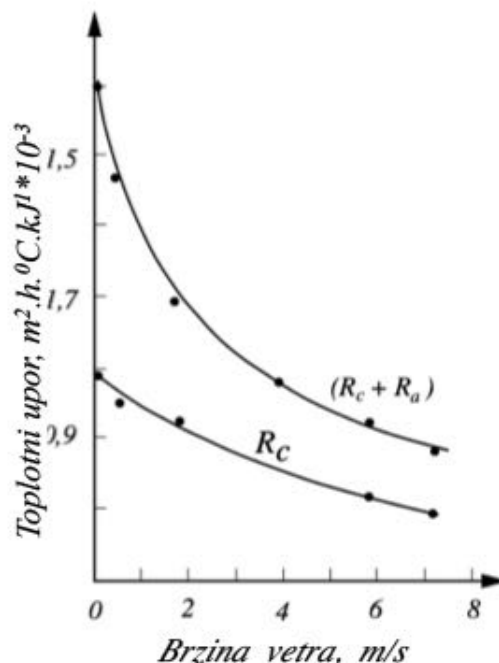
6.3.1.4. Uticaj brzine vetra

Vetar ima veliki uticaj na promenu toplotnog otpora odeće. Jednačina (3.3) daje kvantitativnu zavisnost promene toplotnog otpora kroz sloj mirujućeg vazduha, na primer, na površini kože osobe, ako je ona gola. Ako je osoba obučena, uzima se u obzir sloj mirujućeg vazduha na površini spoljnog sloja odeće. Pritom su okolnosti mnogo drugačije nego kod gole osobe.

Koža nije propusna za vazduh, odeća jeste. To znači da vetar neće uticati samo na promenu toplotnog otpora mirnog sloja vazduha na površini odeće, nego i na promenu toplotnog otpora odeće. To vidimo iz slike 6-1 [3]. Vetar prodire kroz odeću, pritom se zagreva i tako zagrejan napušta odeću. Posledica toga je povećanje toplotnih gubitaka. Vani se to pokazuje kao smanjenje toplotnog otpora odeće. Smanjenje ukupnog toplotnog otpora R_s date odeće u zavisnosti od brzine vetra prikazano je u tabeli 6-4.

Tabela 6-4: Uticaj brzine vetra na ukupni otpor odeće provođenju toplote [3]

Toplotni otpor odeće, $m^2 \cdot ^\circ C \cdot h/kJ$	Brzina vetra, m/s 1,3	Brzina vetra, m/s 6,3	Brzina vetra, m/s 10,7
Izmereni R_s	0,1457	0,1144	0,0857
Izmereni R_s sa jednačinom 3.3	0,1457	0,1384	0,1368
Odstupanja, %	0,0	21,3	60



Slika 6-1: Uticaj brzine vetra na promenu ukupnog toplotnog otpora odeće i mirnog sloja vazduha na površini odeće i toplotnog otpora odeće

Rezultati u tabeli 6-4 potvrđuju pretpostavku da kroz odeću na određenoj brzini vetra prodire vazduh i time ubrzava gubitak toplote, i to u slučaju ako je brzina vetra veća od 1,3 m/s. Sa povećanjem brzine vetra se ti gubici povećavaju, pa je kod brzine vetra 10,7 m/s ta razlika već 60 %. Na taj problem ćemo se vratiti kod obrade približnog izračunavanja ukupnog toplotnog otpora odeće.

6.3.1.5. Uticaj oblika površine odeće

Oblik odeće je prilagođen obliku tela. Pojedine delove površine tela obrađujemo kao ravne površine (delovi trupa, stopala i dlanova), drugi su valjkasti (noge ruke i prsti), a postoji i sferni oblik površine (vrhovi prstiju, lobanja). Gubitak toplote kroz ravnu površinu je manji nego kroz valjkastu ili sfernu površinu [4, 5]. Te razlike se povećavaju sa smanjenjem promera valjka odnosno cilindra. Zbog toga se pojavljuju veliki problemi u pogledu toplotne izolacije dlanova, odnosno prstiju ruku u hladnom okruženju.

6.3.1.5.a. Provođenje toplote kroz ravnu površinu

To stanje opisuje jednačina (3.1). Pritom se podrazumeva da je površina, kroz koju posmatramo prolaz toplote, mnogo veća nego rubna površina, koja je jednaka proizvodu obima oboda posmatrane površine i debljine tela, čiju površinu posmatramo. Ako je, na primer, površina ravnog tekstilnog proizvoda, na kome posmatramo protok toplote, krug sa promerom 0,5 m i debljinom 1 mm, imaće površinu 0,785 m² a obodna površina je 0,003142 m² ili samo 0,4% od površine kroz koju posmatramo protok toplote. U tom slučaju možemo zanemariti količinu toplote koja se gubi kroz rub posmatranog tekstilnog proizvoda. Pošto proizvodnju ili gubitke toplote često dajemo u jedinici vremena, jednačinu (3.1) ćemo delimično promeniti:

$$Q = \frac{\lambda S}{d}(T_1 - T_2) \quad (6.10)$$

gde su:

- Q - Količina toplote, koja proteče kroz ravni tekstilni proizvod, kJ/h;
- λ - koeficijent toplotne provodnosti posmatranog tekstilnog proizvoda, kJ/m.⁰C.h;
- S - površina posmatranog tekstilnog proizvoda, m²;
- d - debljina posmatranog tekstilnog proizvoda, m;
- T_1 - temperatura na unutrašnjoj strani posmatranog tekstilnog proizvoda, ⁰C;
- T_2 - temperatura na vanjskoj strani posmatranog tekstilnog proizvoda, ⁰C.

Jednačinu (6.10) možemo preurediti i eksplicitno izraziti toplotni otpor R_r posmatranog tekstilnog proizvoda, koji je ujedno njegova toplotna izolacijska vrednost data u m².⁰C.h/kJ:

$$R_r = \frac{d}{\lambda} = \frac{S}{Q}(T_1 - T_2) \quad (6.11)$$

Jednačina (6.11) važi u slučaju kada tekstilnim proizvodom toplotno izolujemo ravnu površinu, kao što su npr. leđa.

6.3.1.5.b. Provođenje toplote kroz valjkastu površinu

Ako je debljina ravnog tekstilnog proizvoda kojim smo omotali (toplotno izolovali) valjkasto telo d , i ako zanemarimo gubitke toplote na oba kraja cilindra, kroz valjkastu površinu tekstilnog proizvoda će proteći količina toplote u jedinici vremena, koju zapišemo pomoću sledeće jednačine:

$$Q = \frac{(2\pi L\lambda)(T_1 - T_2)}{\ln \frac{r+d}{r}} \quad (6.12)$$

gde su:

- L - dužina valjka, m;
- r - polumer valjka, m.

Jednačinu (6.12) možemo preurediti tako da je pomnožimo sa (r/r) pa ćemo dobiti:

$$Q = \frac{(2\pi Lr\lambda)(T_1 - T_2)}{r \ln \frac{r+d}{r}} = \frac{\lambda S(T_1 - T_2)}{r \ln \frac{r+d}{r}} \quad (6.13)$$

Iz jednačine (6.13) možemo eksplicitno izraziti toplotni otpor posmatranog tekstilnog proizvoda u obliku šupljeg valjka:

$$R_v = \frac{S}{Q}(T_1 - T_2) = \frac{r}{\lambda} \ln \frac{r+d}{r} \quad (6.14)$$

6.3.1.5.c. Provođenje toplote kroz sfernu površinu

Toplotni otpor je funkcija sfere i dimenzija ravnog tekstilnog proizvoda, koji je oblikovan u sferu. Jednačinu za izračunavanje otpora R_k možemo razviti na osnovu osnovne jednačine za stacionarni prenos toplote:

$$Q = -\lambda S \frac{dT}{dr} \quad (6.15)$$

gde je dT temperaturni pad na putu kroz debljinu dr posmatranog toplotnog izolacijskog sloja (ravnog tekstilnog proizvoda). Površina kugle (sfere) je:

$$S = 4\pi r^2 \quad (6.16)$$

$$Q = -4\pi r^2 \lambda \frac{dT}{dr} \quad (6.17)$$

$$dT = -\frac{Q}{4\pi\lambda} \frac{dr}{r^2} \quad (6.18)$$

$$\int_{T_2}^{T_1} dT = -\frac{Q}{4\pi\lambda} \int_R^r \frac{dr}{r^2} \quad (6.19)$$

$$T_2 - T_1 = \frac{Q}{4\pi\lambda} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right) \quad (6.20)$$

gde su:

- T_1 - temperature na unutrašnjoj površini toplotnog izolacijskog sloja, $^{\circ}\text{C}$;
- T_2 - temperature na vanjskoj površini toplotnog izolacijskog sloja, $^{\circ}\text{C}$;
- r - poluprečnik kugle, računat do unutrašnje površine toplotnog izolacijskog sloja, m ;
- R - poluprečnik kugle, računat do vanjske površine toplotnog izolacijskog sloja, m .

To znači da je debljina toplotnog izolacijskog sloja $d = R - r$. Ako uzmemo u obzir činjenicu da je $d = R - r$, onda jednačinu (6.20) možemo napisati u sledećem obliku:

$$T_2 - T_1 = \frac{Qd}{4\pi\lambda rR} \quad (6.21)$$

Ako jednačinu (6.21) pomnožimo sa (r/r) i uzmemo u obzir jednačinu (6.16) ($S = 4\pi r^2$), dobijamo:

$$T_2 - T_1 = \frac{Qrd}{\lambda SR} \quad (6.22)$$

Iz jednačine (6.22) možemo eksplicitno izraziti toplotni otpor R_k toplotnog izolacijskog sloja:

$$R_k = (T_2 - T_1) \frac{S}{Q} = \frac{rd}{\lambda R} = \frac{d}{\lambda} \frac{r}{r+d} \quad (6.23)$$

6.3.1.5.d. Međusobno poređenje toplotnih otpora

Toplotni otpor R_r na ravnoj površini (jednačina (6.11)) možemo uporediti sa otporom na valjkastoj površini R_v (jednačina (6.14)) i na sferičnoj (kuglastoj) površini R_k (jednačina (6.23)). Ova poređenja su potrebna da dobijemo bolji uvid u promene toplotnog otpora u zavisnosti od oblika površine. Pre svega, to je zbog razumevanja problema koji nastaju kod konstrukcije rukavica za zaštitu dlanova i posebno prstiju. Ako su rukavice izrađene od tekstilnog materijala koji ima debljinu 1 cm, i ako je on idealan toplotni izolator ($\lambda = 0,1261 \text{ kJ/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$), onda će one imati $0,0793 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}\cdot\text{h/kJ}$ toplotnog otpora [6]. To znači da će se kroz toplotni izolacijski sloj tekstilnog materijala, koji je debeo 1 m i ako je temperaturna razlika na suprotnim površinama 1°C , u jednom satu preneti 1 kJ toplote, i to kroz površinu $0,0793 \text{ m}^2$. Možemo deliti R_v sa R_r i dobićemo:

$$\frac{R_v}{R_r} = \frac{r}{d} \ln \left[1 + \frac{d}{r} \right] \quad (6.24)$$

Ako R_r zamenimo idealnom vrednošću otpora na jedinicu debljine i ujedno ga pomnožimo sa stvarnom debljinom, da bismo izračunali stvarnu vrednost toplotno otpora, dobićemo (d i r su u cm):

$$\frac{R_v}{0,0793d} = \frac{r}{d} \ln \left[1 + \frac{d}{r} \right] = 0,0793r \ln \left[1 + \frac{d}{r} \right] = R_v \quad (6.25)$$

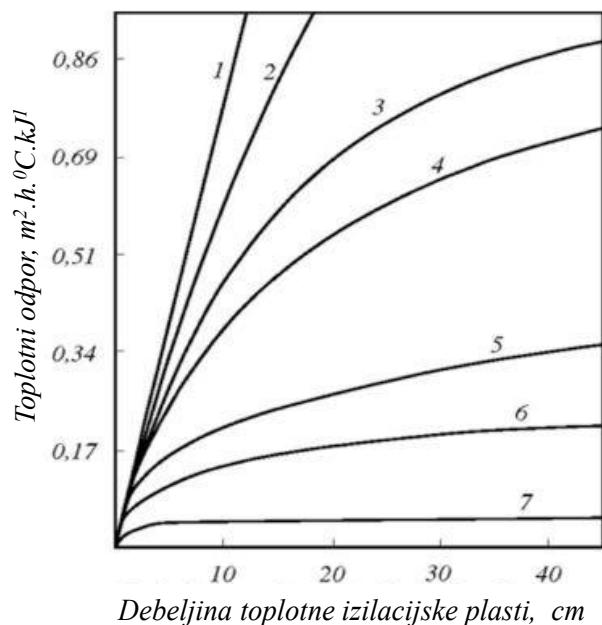
Jednačina 6.25 nije dovoljno razumljiva. Sa povećanjem poluprečnika valjka svakako se poveća R , ali smanjenjem r povećava se vrednost logaritma i smanjuje vrednost proizvoda $0,0793r$. Zbog toga je na slici 6-2 prikazana promena R_v , u zavisnosti od debljine toplotnog izolacijskog sloja na konstantnoj vrednosti r na pojedinim krivuljama. Možemo, takođe, uporediti toplotni otpor na kugli R_k sa toplotnim otporom na ravnoj površini R_r pa dobijamo:

$$\frac{R_k}{R_r} = \frac{r}{r+d} = \frac{1}{1+\frac{d}{r}} \quad (6.26)$$

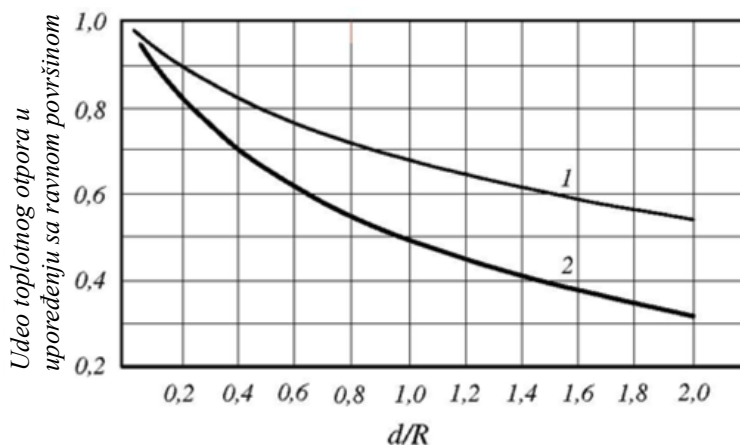
Na slici 6-3 su prikazani delovi otpora R_v i R_k u odnosu na vrednost R_r u zavisnosti od odnosa d/R , gde je d - debljina toplotnog izolacijskog sloja i R poluprečnik valjka ili kugle, meren do vanjske površine toplotnog izolacijskog sloja. Na ravnoj površini R je beskonačan i $d/R = 0$. Ako za R upotrebimo maksimalnu vrednost na jedinicu debljine kao u jednačini (6.25) (0,0793) i pomnožimo sa stvarnom debljinom d , dobićemo:

$$R_k = \frac{0,793r}{\frac{r}{d} + 1} \quad (6.27)$$

Ako je d beskonačna, onda je $R_k = 0,0793r$. Pošto je promer kugle na površini prstiju približno 1,9 cm, maksimalni toplotni otpor, koji je moguće dostići sa idealnim toplotnim izolacijskim tekstilnim materijalom, koji ima beskonačnu debljinu, biće samo $0,0793 * 1,9 = 0,1501 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{h/kJ}$.



Slika 6-2: Zavisnost R_v od promera valjka odnosno kugle (sfere) r i debljine izolacijskog sloja na valjku odnosno kugli
 1 - ravna površina, 2 - valjak promera 30 cm, 3 - kugla promera 30 cm, 4 - valjak promera 7,6 cm, 5 - valjak promera 2,5 cm, 6 - valjak promera 1,3 cm, 7- kugla promera 1,3 cm



Slika 6-3: Deo otpora s obzirom na ravni toplotni izolacijski sloj (R_v/R_r in R_k/R_r) u zavisnosti od odnosa debljine toplotnog izolacijskog sloja i vanjskog poluprečnika valjka ili kugle (d/R)
 1 - valjak, 2 - kugla

Literatura

1. Kolesnikov P. A. 1965. Teplozaščitnie svojstva odeždi. Moskva, Legkaja industrija: 137.
2. Jakšić D. 1978. Analiza vpliva vlage in vodoodbojne impregnacije na termoizolacijsko vrednost oblačila. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, VTOZD Tekstilna tehnologija: 158 str.
3. Kerslake D. Mck. 1972. The stress of hot environments. Cambridge, The University Press:

316 str.

4. Zemansky M. W. 1961. *Temperatures Very Low and Very High*. New York, Dover Publications, Inc.: 127 str.

5. Newburgh L. H., Shitzer A., Stroschein L. A., Vital P., Gonzalez R. R. Pandolf, K. B. 1968. *Physiology of heat regulation and the science of clothing*, London, Hafner Publishing Co.: 374–386.

6. Burton A. C. 1943. *Insulation by reflection and the development of a reflecting cloth*. Associate Committee on Aviation Medical Research (Canada), Report No. C2464.

7. JAKŠIĆEVE METODE ZA IZRAČUNAVANJE TOPLOTNE IZOLACIJE ODEĆE I VREMENA TOLERANCIJE

7.1. Uvod

Sistem čovek - odeća - okruženje je veoma kompleksan. Vrednosti pojedinih komponenti toga sistema se često menjaju. Ako smo van zatvorenog prostora, moramo se prilagoditi stanju okruženja da bi telo zadržali u stanju ugodnosti. To stanje znači da nam nije ni vruće ni hladno. Na stanje okruženja (temperatura okoline, brzina vetra, vlaga) ne možemo uticati. Delimično možemo uticati na količinu emitovane toplote iz tela u okolinu. To takođe nije uvek moguće. Da bismo postigli ravnotežu između emitovane toplote iz tela i količine toplote koja se odvodi u okolinu, moramo upotrebiti posrednika. To je odeća. Komplet odeće se uobičajeno sastoji iz rublja, odeće, čarapa, cipela, eventualno rukavica zimi, vanjskog sloja koji je prilagođen stanju okoline, uobičajeno vetrovka i pokrivalo za glavu. Očigledno je da je nemoguće jednim kompletom održati telo korisnika odeće u stanju ugodnosti u svim mogućim uslovima okruženja i pri svim promenama intenziteta aktivnosti korisnika odeće. Ipak je moguće postići podnošljivo stanje u određenom rasponu variranja istog, oko zone ugodnosti, a da telo korisnika ne trpi ozbiljne posledice u određenom vremenu.

7.2. Jakšićeva metoda izračunavanja toplotne izolacije odeće

Ova metoda omogućava veoma širok spektar upotrebe. Ona uzima u obzir uticaj vetra i količine vlage u odeći. To znači da je moguće veoma tačno izračunati potrebnu toplotnu izolaciju odeće u svim mogućim stanjima okoline i stanjima organizma korisnika.

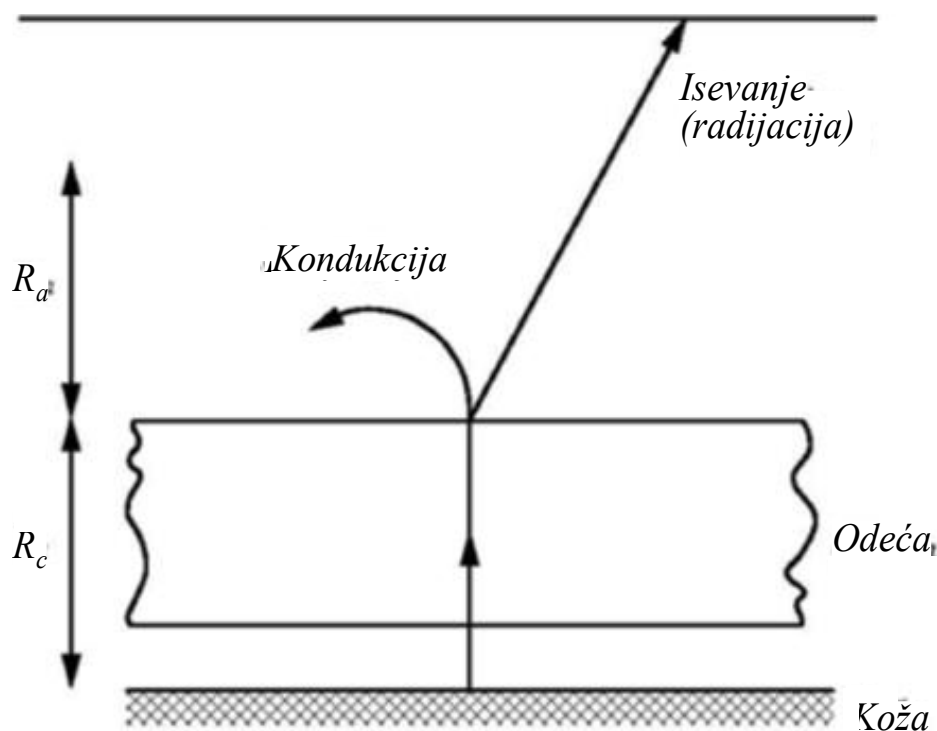
Iz iskustva znamo, da se brže hladimo ako duva hladan vetar, nego ako vetra nema. Pri tom pretpostavljamo da su u oba slučaja temperature vazduha i temperatura na površini odeće jednake. Pitanje je kako brzina vetra utiče na promenu vrednosti toplotne izolacije odeće. Na slici 6-1 (6. glava), možemo pratiti promene toplotnog otpora ili vrednosti toplotne izolacije. U tabeli 6-4 su date neke vrednosti toplotne izolacije u zavisnosti od brzine vetra. Vrednosti toplotnog otpora R_a , izračunate pomoću jednačine (3.3), veoma odstupaju od izmerenih vrednosti. Ovo je odstupanje pri brzini vetra 10,7 m/s čitavih 60 %. Pošto je tačnost jednačine (3.3) približno $\pm 2\%$ [1, 2], pretpostavlja se da hladni vazduh prodire kroz odeću i tako smanjuje toplotnu izolaciju odeće.

Promene toplotne izolacije odeće možemo meriti na čoveku ili na lutki (manekinu) u klimatskoj komori, u kojoj je moguće regulisati temperaturu, relativnu vlažnost, proizvodnju toplote osobe i brzinu kretanja vazduha - brzinu vetra. Takva oprema je veoma skupa. Merenja na ljudima su dugotrajna, skupa i ponekad čak opasna. Naime, uvek postoji određena verovatnoća povrede ljudi zbog smrzavanja pojedinih delova tela, pre svega prstiju ruku i nogu.

U našem podneblju je vetar veoma čest. Zbog toga je kod projektovanja odeće neophodno uzeti u obzir uticaj vetra na toplotnu izolaciju i ustanoviti u kojim klimatskim okolnostima je odeća odgovarajuća, a u kojim nije. Pored toga je, takođe, potrebno ustanoviti koliko vremena korisnik može obavljati određenu aktivnost u određenim uslovima u toj odeći. Pošto je klimatska komora skupa, merenja i lutke, tzv. manekini, takođe su skupi, moramo upotrebiti jednostavnije i jeftinije metode merenja toplotne izolacije odeće pri određenoj brzini vetra. Ako upotrebimo Jakšićevu

metodu, moguće je brzo i jeftino, te dovoljno tačno, odrediti vrednost toplotne izolacije odeće u zavisnosti od brzine vetra, promene temperature okruženja i sadržaja vode u odeći. Uz to je moguće uzeti u obzir i oblik površine pojedinog dela odeće. Najpre ćemo obraditi uticaj brzine vetra na toplotni otpor odeće.

Emitovanje toplote sa površine kože u okolinu je prikazano na slici 7-1. Vrednost toplotne izolacije svih slojeva odeće je R_c , a sloja mirnog vazduha R_a . Pretpostavimo da se vazduh, koji se nalazi između površine kože i graničnog sloja između odeće i vanjskog vazduha, ne kreće. Ta je pretpostavka približno tačna ako je osoba u stanju mirovanja i ako nema vetra. Zbog toga možemo pretpostaviti da se toplota kroz odeću prenosi kondukcijom, kao što je označeno na slici 7-1. Sa vanjske površine odeće se toplota prenosi u okolinu konvekcijom ili zračenjem.



Slika 7-1: Prenos toplote kroz odeću i sloj mirnog vazduha na površini odeće

Osnovna pretpostavka na kojoj je zasnovana metoda je u tome da je gubitak toplote u mirnom vremenu i na određenoj temperaturnoj razlici između površine kože i vazduha okoline Q_c . U suštini Q_c je toplota ravnoteže. To istovremeno znači da je Q_c toplota koju osoba emituje u okolinu kroz površinu kože i kroz odeću. Pod tim uslovima se, naravno, ne menja temperatura na površini kože. S obzirom na to da je okolina veliki rezervoar toplote, njena temperatura se neće menjati zbog preuzete količine toplote Q_c .

S druge strane slika 6-1 i tabela 6-4 pokazuju, da se sa povećanjem brzine vetra smanjuje toplotna izolacija odeće i sloja mirnog vazduha na spoljnoj površini odeće. Tu pojavu objašnjavamo time da se sa povećanjem brzine vetra povećava mogućnost protoka toplote, iako se temperaturna razlika nije povećala niti se promenila debljina odeće. Uslovna debljina sloja mirnog vazduha na površini odeće

se smanjila, odnosno smanjila se vrednost njene toplotne izolacije, jednačina (3.3). Navedeni rezultati u tabeli 6-4 pokazuju da se sa povećanjem brzine vetra smanjuje toplotna izolacija odeće.

Kod obučene osobe vazduh uobičajeno prolazi kroz odeću, ukoliko ona nije nepropusna za vazduh (gumirana odjeća). U tom slučaju prolazi hladni vazduh kroz slojeve odeće na jednoj strani tela, dođe do površine kože - makar deo te količine, ugrije se na temperaturu sloja odeće, kroz koju prolazi, zatim ugrijani vazduh napusti odeću na drugoj strani tela. Pri tom sa sobom odnese određenu količinu toplote koju ćemo označiti sa Q_a . Ako želimo da se ne promeni temperatura na površini kože na određenoj brzini vetra, što znači dodatni gubitak toplote Q_a , osoba mora povećati proizvodnju toplote za vrednost Q_a . Konstantnu temperaturu na površini kože možemo postići tako što ćemo povećati debljinu odeće i time njenu toplotnu izolaciju.

Ako je toplota data u $\text{kJ/m}^2 \cdot \text{h}$, a razliku temperature označimo sa ΔT , onda toplotnu izolaciju odeće R_c (bez vanjskog sloja mirnog vazduha) možemo definisati sledećom jednačinom (vidi jednačine 6.10 i 6.11):

$$R_c = \frac{\Delta T}{Q_c} \quad (7.1)$$

Jednačina (7.1) važi za stanje bez vetra. Ukoliko vetar duva određenom brzinom, što prouzrokuje povećani protok toplote kroz odeću u količini Q_a , smanjuje se toplotna izolacija odeće. Kod toga uzimamo u obzir da je Q_a zavisna od brzine vetra. Što je veća brzina vetra, tim veća je vrednost Q_a , a istovremeno se smanjuje vrednost R_c . Taj odnos možemo izraziti sledećom jednačinom:

$$R_c = \frac{\Delta T}{Q_c + Q_a} \quad (7.2)$$

Uzimajući u obzir jednačine (3.2) i (7.2), Q_c možemo izraziti sledećom jednačinom:

$$Q_c = \frac{\lambda \Delta T}{d} \quad (7.3)$$

Količina Q_a je proporcionalna specifičnoj toploti vazduha c , masi vazduha po jedinici zapremine γ , zapremini vazduha koji prolazi kroz odeću V , te prosečnoj razlici temperatura vazduha, pre ulaska u odeću i po izlasku iz nje. Tu zavisnost možemo izraziti sledećom jednačinom:

$$Q_a = c\gamma V \Delta T \quad (7.4)$$

Uzimajući u obzir jednačine (7.3) i (7.4) možemo jednačinu (7.2) napisati u sledećem razvijenom obliku:

$$R_c = \frac{\Delta T}{\frac{\lambda \Delta T}{d} + c\gamma V \Delta T} \quad (7.5)$$

Jednačina (7.5) važi za ravni oblik odeće, kod koga vazduh prolazi samo kroz slojeve odeće i ako svi otvori dobro zaptivaju. Pošto u stvarnosti odeća ne zaptiva potpuno, potrebno je zadnji član u jednačini (7.5) korigovati sa koeficijentom b ($b \geq 1$). Ako odeća potpuno zaptiva, onda je $b = 1$, (to je pretpostavljeno u jednačini (7-5), zbog toga koeficijent b nije napisan), ako ne zaptiva, onda je $b > 1$. To u stvarnosti znači da pri određenoj brzini vetra kroz odeću ($b > 1$) prolazi veća količina vazduha nego što je laboratorijski izmerena količina kroz slojeve odeće na površini, gde nema šavova ili drugih otvora. Pored toga, i drugi faktori mogu uticati na toplotnu izolaciju R_c . U njih možemo ubrojati: međusobnu promenu položaja slojeva odeće, promenu oblika vanjske površine odeće, kretanje vazduha na površini odeće i sl. Zbog toga u jednačinu (7.5) možemo uvesti još i dodatni korekcijski koeficijent a , sa kojim množimo brojnik pomenute jednačine ($a \geq 1$). Promena međusobnog položaja slojeva odeće pri kretanju osobe je teško ustanovljiva. Upotreba koeficijenta a nema praktičnog značaja, pa ga nećemo uzimati u obzir u jednačini (7.6). Kada jednačinu (7.5) preuredimo i uzmemo u obzir koeficijent b , dobićemo:

$$R_s = \frac{d}{\lambda + bc\gamma Vd} \quad (7.6)$$

R_c je toplotna izolacija odeće, R_a (jednačina (3.3)) toplotna izolacija sloja mirnog vazduha na površini odeće. Ukupnu toplotnu izolaciju R_s možemo izraziti sledećom jednačinom:

$$R_s = R_c + R_a \quad (7.7)$$

Ako uzmemo u obzir jednačine (7.6) i jednačinu (3.3), možemo jednačinu (7.7) napisati u razvijenom obliku:

$$R_s = \frac{d}{\lambda + bc\gamma Vd} + \frac{0,0429}{0,4 + 2,0v^{0,5}} \quad (7.8)$$

U jednačini (7.8) pojedini parametri imaju sledeće značenje i dimenzije:

- R_s - ukupna toplotna izolacija, $m^2 \cdot ^\circ C \cdot h/kJ$;
- b - bezdimenzijski koeficijent;
- d - debljina odeće, m;
- λ - koeficijent toplotne provodljivost odeće, $kJ/m \cdot ^\circ C \cdot h$;
- c - specifična toplota vazduha, $kJ/kg \cdot ^\circ C$;
- γ - specifična masa vazduha, kg/m^3 ;
- V - zapreminska brzina protoka vazduha kroz odeću pri određenoj brzini vetra, $m^3/m^2 \cdot h$;
- v - brzina vetra, m/s.

Vrednost koeficijenta b se može ustanoviti na čoveku ili na posebno konstruisanoj lutki (manekinu). Ako su nam dovoljna manje tačna merenja ili ako odeća dobro zaptiva, onda možemo uzeti da je $b = 1$. U tom slučaju merimo d i V . Dok c i γ možemo pronaći u standardnim tabelama: $c = 0,966 kJ/kg \cdot ^\circ C$

i $\gamma = 1,2 \text{ kg/m}^3$. Specifična toplota vazduha je funkcija temperature, no u području temperatura, koje su zanimljive u pogledu oblačenja, možemo računati sa konstantnom vrednošću. Specifična masa vazduha zavisi od pritiska i temperature; uzimajući u obzir naše potrebe možemo računati sa vrednošću $1,2 \text{ kg/m}^3$. Ostale parametre možemo izmeriti pomoću standardnih laboratorijskih aparata odnosno instrumenata.

Postoji još jedan problem - zavisnost zapreminske brzine protoka vazduha od brzine vetra. To je veoma teško ustanoviti. Vazduh prolazi kroz odeću zbog razlike pritisaka. To znači da je zapreminska brzina protoka vazduha kroz odeću funkcija razlike pritisaka na suprotnim površinama odeće. Sa druge strane vetar prouzrokuje određen pritisak na površini na koju su usmerene njegove strujnice. Veća brzina vetra prouzrokuje i veći pritisak. Kod aerodinamičnih proračuna se uzima sledeća međuzavisnost:

$$v \frac{2gh^{0,5}}{\gamma} = 4h^{0,5} \quad (7.9)$$

$$v = 1,28h^{0,5} \quad (7.10)$$

gde su:

- v – brzina vetra, m/s;
- g – gravitacijsko ubrzanje ($9,81 \text{ m/s}^2$);
- h - pritisak, mm VS (vodenog stuba) odnosno u Pa;
- γ - specifična masa vazduha, kg/m^3 .

Jednačina (7.9) nam pokazuje kakav pritisak, u mm VS odnosno u paskalima prouzrokuje određena brzina vetra na površinu jedra. Kod laboratorijskih merenja zapreminske brzine protoka vazduha kroz odeću, stanje je nešto drugačije. Možemo da ostvarimo željenu razliku pritisaka u intervalu koji je zanimljiv u pogledu realnih brzina vetra. Pri tom dobijemo određen zapreminski protok vazduha kroz odeću ili tkaninu. Zapreminska brzina protoka je stvarno zavisna od razlike pritisaka na suprotnim površinama tkanine, ali je zavisna još i od veličine, broja i oblika pora u tkanini, kvaliteta zidova pora, dužine pora i sl. Zbog toga je zapreminska brzina protoka vazduha na određenim pritiscima različita kod tkanina različite konstrukcije. To se dobro vidi na slici 7-2.

Iz slike 7-2 vidimo da je zapreminska brzina protoka vazduha kroz tkanine 1 do 4 približno linearno zavisna od pritiska. Ove tkanine su veoma guste. Tkanina 10 je veoma retka (manji broj niti osnove i potke na cm) i zavisnost zapreminske brzine protoka vazduha kroz takvu tkaninu je eksponentna. Eksponent je manji od 1 veći od 0,5. Krivulja 11 predstavlja jednačine (7.25) i (7.9).

Naša ispitivanja [1, 2], pokazuju da možemo zapreminsku brzinu protoka vazduha opisati sledećom jednačinom:

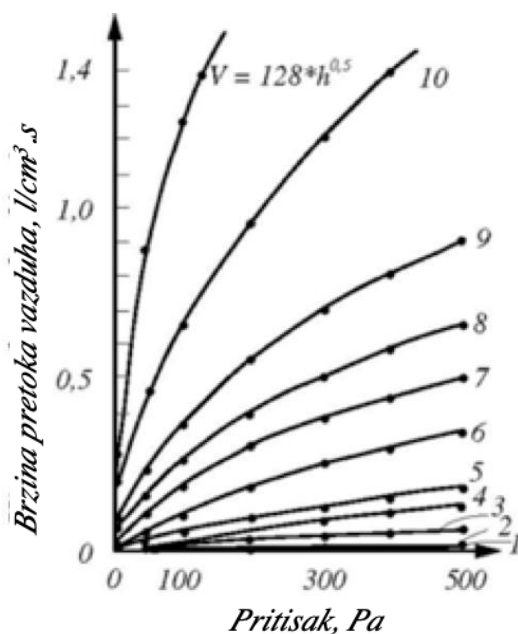
$$V = Ah^b = P ah^b \quad (7.11)$$

gde su:

- V - zapreminska brzina protoka,
- $A = Pa$,
- P - otvorena površina u tkanini kroz koju prolazi vazduh pri razlici pritisaka h ,
- b - eksponent koji, u najvećoj mjeri, prikazuje protok vazduha kroz pore u tkanini
- $(1 \geq b \geq 0,5)$,
- a - koeficijent.

Prilikom istraživanja zapazili smo da se vrednost eksponenta b povećava što je tkanina gušća, zato što je uopšteno otežan protok vazduha kroz tkaninu. Ukoliko tkanina nije gusta i uz to ako je izrađena iz mono ili multifilamentnih niti, vrednost eksponenta b se smanjuje. Ipak ni u jednom slučaju nismo dostigli vrednost 0,5 ili 1; vrednost b je bila uvek: $1 > b > 0,5$. To stvarno znači da je otpor protoku vazduha kroz guste tkanine veoma velik i da nam treba veći pritisak da bi dostigli jednaku linearnu brzinu protoka vazduha kao kroz manje guste tkanine. Pre svega, to je zbog toga što su prečnici pora kod gušćih tkanina manji i one su obično duže nego kod manje gustih tkanina; odnosno, odnos prečnika pore (pretpostavimo da imaju približno okrugli poprečni presek) i njene dužine je veći kod manje gustih tkanina nego kod gustih. Linearna brzina protoka vazduha kroz odeću, odnosno ravne tekstilne proizvode, približno je srazmerna brzini vetra kod veoma retkih ravnih proizvoda i približna kvadratu brzine vetra kod veoma gustih ravnih proizvoda.

Jednačinu (7.8) možemo proveriti na osnovu eksperimentalnih rezultata, navedenih u tabeli (7-1). Toplotni otpori, koji su prikazani u tabeli (7-1), odnose se na polarnu uniformu armije SAD, koja se obično koristi u bazama na Grenlandu. Pošto tamo duvaju jaki, hladni vetrovi, uniforma ne sme



Slika 7-2: Zapreminske brzine protoka vazduha kroz tkanine u zavisnosti od pritiska [3]

propuštati previše vazduha i, takođe, otvori na uniformi moraju dobro zaptivati. U pogledu propusnosti vazduha, dovoljno je da je samo vanjski sloj slabo propustan da bi štitio od vetra.

Pretpostavimo da jednačina (7.8) važi (uzimajući u obzir koeficijent a) pri brzini vetra 10,7 m/s ($a = b = 1$). Pored toga možemo upotrebiti još i sledeće vrednosti: $Q_c = 314 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{h}$; $d = 0,0214 \text{ m}$; $\lambda = 0,168 \text{ kJ/m}^0\text{C}\cdot\text{h}$; $T_1 = 33 \text{ }^\circ\text{C}$; $T_2 = -7 \text{ }^\circ\text{C}$; $\Delta T = 40 \text{ }^\circ\text{C}$; $c = 0,966 \text{ kJ/kg}\cdot\text{ }^\circ\text{C}$; $\gamma = 1,2 \text{ kg/m}^3$, površina $S = 1 \text{ m}^2$. Vrednost Q_c nam ukazuje da subjekt, koji je obučen u polarnu uniformu, nije napregnut - stoji opuštено. Debljina 2,14 cm je prevelika, no ipak još uvijek bitno ne smanjuje funkcionalnost uniforme. Koeficijent toplotne provodljivosti je veoma nizak i približno je jednak vlaknovini iz vunjenih vlakana, koja ima relativno malu masu po jedinici zapremine. Temperatura T_1 je temperatura ugodnosti na površini kože, T_2 je temperatura vanjskog vazduha. Neophodno je još pretpostaviti da se sav vazduh, koji prodre u unutrašnjost uniforme, zagreje na temperaturu kože, 33 $^\circ\text{C}$. Ako jednačina (7.8) u potpunosti važi pri brzini vetra 10,7 m/s, onda prolazi kroz uniformu 4,04 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ vazduha pri brzini vetra 10,7 m/s. Ako je zapreminska brzina protoka srazmerna brzini vetra, odnosno kvadratnom korenu pritiska koji stvara taj vetar, onda će kroz uniformu proći 2,38 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ vazduha pri brzini vetra 6,3 m/s i 0,49 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ pri brzini vetra 1,3 m/s. Rezultati testiranja jednačine (7.8) pod ovim pretpostavkama su prikazani u prvom delu tabele 7-1 ($V \approx v$).

U slučaju, da brzina protoka vazduha kroz navedenu uniformu nije srazmerna brzini vetra, nego pritisku koji prouzrokuje brzina vetra ili kvadratu brzine vetra (jednačine (7.9) i (7.10)), brzina vetra 10,7 m/s stvorice pritisak 70,17 Pa (jednačina (7.10)). U tom slučaju kroz odeću prolazi 4,04 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ vazduha kao i u prethodnom primeru, jer smo pretpostavili da važi jednačina (7.8) pri brzini 10,7 m/s, bez obzira kakva je zavisnost zapreminske brzine protoka od brzine vetra. Kod brzine vetra 6,3 m/s (24,33 Pa) biće brzina protoka vazduha kroz uniformu 1,40 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$. Pri brzini vetra 1,3 m/s (1,04 Pa) brzina protoka vazduha kroz odeću će biti samo 0,06 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$. Rezultati testiranja jednačine (7.8) pod tom pretpostavkom su prikazani u drugom delu tabele (7-1) ($V \approx v^2$).

Kao što se iz rezultata vidi (tabela 7-1), navedena uniforma ima stvarno dobar zaštitni sloj prema vetru - vetrovku i, takođe, pantalone od sličnog materijala koji vrlo slabo propušta vazduh. Pored toga uniforma jako dobro zaptiva jer su vrednosti koeficijenata a i b veoma blizu 1.

Odstupanja izračunatih vrednosti toplotnog otpora, odnosno toplotne izolacije, pokazuju da je zapreminska brzina protoka vazduha srazmerna kvadratu brzine vetra, ili srazmerna pritisku koji stvara brzina vetra na površini uniforme, što se dobro poklapa sa eksperimentalnim rezultatima. Ako pretpostavimo da se potpuno poklapaju pri brzini vetra 10,7 m/min. [2], onda izračunate vrednosti - 2,5 % pri brzini 1,3 m/min i pri brzini 6,3 m/min. odstupaju samo - 1 %.

Ako pretpostavimo da je $b = 1$, (odeća dobro zaptiva), odstupanja toplotnog otpora nisu veća od 2,5%. To praktično znači, da možemo veoma jednostavno i jeftino odrediti toplotnu izolaciju odeće tako što izmerimo debljinu odeće, koeficijent toplotne provodnosti odeće i zapreminsku brzinu protoka vazduha kroz odeću. Ova merenja može uraditi laborant za osmočasovno vreme pomoću mikrometra, rotometra i aparata za određivanje koeficijenta toplotne provodnosti.

U tabeli 7-2 je pretpostavljeno da polarna uniforma potpuno zaptiva, zbog čega smo uzeli da je $b = 1$. Uzeta je u obzir jednačina (7.8) bez koeficijenta a .

Kao što smo već rekli jednačina (7.8) važi za ravnu površinu. Ako zadržimo simbole iz jednačina (6.11 do (6.27), možemo napisati:

$$R_r = R_s \quad (7.12)$$

Za valjkastu površinu važi sledeće:

$$R_v = R_s \frac{r}{d} \ln \left(1 + \frac{d}{r} \right) \quad (7.13)$$

Za sfernu površinu važi:

$$R_k = \frac{R_s}{1 + \frac{d}{r}} \quad (7.14)$$

Tabela 7-1: Poređenje vrednosti R_s , izračunatih pomoću jednačine (7.8), sa eksperimentalno izmerenim vrednostima tabela 6-4 (uzet u obzir koeficijent a) (u tabeli 7-2 pretpostavili smo potpunu skladnost kod brzine vetra 6,3 m/s; odstupanje je +/- 2,4 %)

Parameter	Pretpostavka: $V = v$			Pretpostavka: $V = v^2$		
	1,3	6,3	10,7	1,3	6,3	10,7
Brzina vetra, m/min	1,3	6,3	10,7	1,3	6,3	10,7
Eksper. vrednost R_s	0,1457	0,1144	0,0857	0,1457	0,1144	0,0857
Izračunata vrednost R_s jednačina (7.8) $a = b = 1$	0,1348	0,1021	0,0875	0,1421	0,1133	0,0857
Odstupanje, %	-7,5	-10,8	0,0	-2,5	-1,0	0,0
$a = 1,0262$ $b = 1,0809$	-	-	-	0,1455	0,1148	0,0857
Odstupanje, %	-	-	-	-0,2	+0,2	0,0
$a = 1,635$ $b = 1,0236$	0,1421	0,1079	0,0907	-	-	-
Odstupanje, %	-2,5	-2,8	+8,5	-	-	-

U tom slučaju R_s ima vrednost koja je definisana jednačinom (7.8). Ukoliko hoćemo da utvrdimo pri kojoj vanjskoj temperaturi odeća pruža zaštitu, možemo upotrebiti jednačinu (6.11) koju možemo transformisati u sledeći oblik:

$$R_r = R_s = \frac{T_1 - T_2}{Q} \quad (7.15)$$

Pri tom je Q dat u $\text{kJ/m}^2 \cdot \text{h}$. U toj jednačini je R_s funkcija brzine vetra (jednačina (7.8)), temperature (jednačina (6.6)) i vlage (jednačina (6.8)). Q je funkcija intenziteta i vrste aktivnosti. Ako jednačinu (7.15) riješimo po T_2 , za ravnu površinu dobiti ćemo:

$$T_2 = T_1 - R_s Q \quad (7.16)$$

Za valjkastu površinu važi:

$$T_2 = T_1 - R_s Q \frac{r}{d} \ln \left(1 + \frac{d}{r} \right) \quad (7.17)$$

Za sfernu površinu važi:

$$T_2 = T_1 - \frac{R_s Q}{1 + \frac{d}{r}} \quad (7.18)$$

U tabeli 7-2 smo pretpostavili da ukupni toplotni otpor R_s ne odstupa od izmerenog kod brzine 6,3 m/s. Ranije smo obrađivali uticaj temperature, vlage (vode), vetra i oblika površine na koeficijent toplotne provodljivosti, odnosno na toplotni otpor R_s . Iz jednačine (6.6)

vidimo da je koeficijent toplotne provodljivost srazmeran promeni temperature. Ako se temperature poveća za 1 °C, povećaće se vrednost koeficijenta toplotne provodljivosti za proizvod $\lambda_0 \cdot 0,0025$, kJ/m,°C.h

Tabela 7-2: Poređenje toplotnih otpora koji su eksperimentalno izmereni na američkoj polarnoj uniformi sa vrednostima izračunatim pomoću modifikovane jednačine (7.8), ($b = 1$)

Brzina vetra, m/s	Ukupni toplotni upor, R_s Izmereni na uniformi	Ukupni toplotni upor, R_s Izračunat jednačinom (7.8)	Ukupni toplotni upor, R_s Odstupanje, %
1,3	0,1462	0,1427	-2,4
6,3	0,1144	0,1144	0,0
10,7	0,0857	0,0881	+2,4

U tabeli (7-2) je pretpostavljeno da naša jednačina potpuno važi kod brzine vetra (6,3 m/s) a ne kod brzine vetra (10,7 m/s) kao u tabeli (7-1). Rezultati se bitno ne razlikuju. U tabeli 7-2, kod brzine vetra 1,3 m/s odstupanje je -2,4 % i kod brzine vetra 10,7 m/s pa +2,4%.

Voda ima veliki uticaj na promenu vrednosti koeficijenta toplotne provodljivosti. Jednačina (6.8) daje zadovoljavajuću tačnost. Možemo je takođe napisati u obliku jednačine (6.6) ($\lambda = \lambda_0(1 + kw)$). U tom slučaju je $\lambda_0 = a_0$ i označava vrednost koeficijenta toplotne provodljivosti apsolutno suvog uzorka. Može biti i vrednost u standardnoj atmosferi, što je povoljnije. Koeficijent $kw = a_1/a_0$.

Iz tabele (6-3) vidimo da je vrednost k između 0,0296 i 0,0513. Srednja vrednost koeficijenta kw za 12 uzoraka je 0,0398 ili približno 0,04. Koeficijent varijacije je 18 %. Uopšteno možemo reći da se sa svakim procentom povećanja vode u tkanini ili ravnom tekstilnom proizvodu poveća vrednost koeficijenta toplotne provodljivosti za oko 4 %, što je 16 puta brža promena nego što je promena zbog uticaja temperature.

U jednačini (7.8) vrednosti se odnose na vrednost koeficijenta toplotne provodljivosti u standardnim uslovima (20 °C i 65 % relativne vlage). Pošto se temperatura i vlaga menjaju i odeća može biti ponekad mokra, moramo u jednačini (7.8) uzeti u obzir i te promene, jer je uticaj vlage na λ izrazit. Ukoliko je vrednost koeficijenta toplotne provodljivosti uzorka u mirnom okruženju i u standardnoj atmosferi jednak λ_0 , a vrednost koeficijenta sa kojim prikazujemo uticaj temperature k_T i koeficijenta k_w , sa kojim prikazujemo uticaj vode na koeficijent toplotne provodljivosti, možemo λ u jednačini (7.8) izraziti sa $\lambda = \lambda_0(1 + k_T\Delta T + k_w\Delta W)$, pa možemo jednačinu (7.8) napisati u sledećem obliku:

$$R_s = \frac{d}{\lambda_0(1 + k_T\Delta T + k_w\Delta W) + bc\gamma d} + \frac{0,4729}{0,4 + 2,0v^{0,5}} \quad (7.19)$$

Jednačina (7.19) važi za ravnu površinu. Za valjkastu površinu važi jednačina (7.13) a za sfernu površinu važi jednačina (7.14). Promene simbola nema, samo se R_s odnosi na jednačinu (7.19). Zajednički toplotni otpor R_s , kao što je definisano jednačinom (7.19), znači potpuno uopštavanje algoritma za izračunavanje vrednosti R_s u svim mogućim realnim uslovima. Uzeti su u obzir svi bitni parametri okoline (temperatura, vlaga, vetar) i oblik površine odeće.

Jednačina (7.19) predstavlja sintezu dosadašnjih istraživanja na području određivanja ukupnog toplotnog otpora i ne znači samo vrhunsko teoretsko dostignuće na tom području, nego je, takođe, veoma koristan pribor kod projektovanja odeće za bilo koje uslove okoline i aktivnosti čoveka.

7.3. Jakšićeva metoda izračunavanja vremena tolerancije

7.3.1. Uvod

U stvarnom životu smo često prisiljeni na rad u veoma opasnom okruženju. To se, pre svega, odnosi na gašenje požara i spasavanje ljudi iz zapaljenih objekata, rad na otvorenom na niskim temperaturama, rad u kontaminiranoj zoni napolju ili u zatvorenim prostorima i sl. U takvim slučajevima, najčešće nemamo mogućnost prilagođavanja količine odeće stanju okruženja i potrebnom intenzitetu aktivnosti (količini emitovane toplote iz tela u okruženje), što znači da nemamo na raspolaganju dodatnih slojeva odeće ako se počnemo smrzavati - hladiti. U zatrovanom okruženju ne možemo menjati količinu odjeće zbog opasnosti da zaturjemo disajne organe i kožu (bojni otrovi i sl). U takvim situacijama je veoma bitno realno predvideti vreme boravka (nazvaćemo ga vreme tolerancije) i aktivnosti osoba, u kojem neće doći do ozbiljnijih povreda tela.

Veoma je teško utvrditi tačno vreme tolerancije. Na njega utiče veliki broj parametara kao što su: temperatura i vlaga okoline, brzina i smer duvanja vetra, količina i kvalitet slojeva odeće, kraj i oblik odeće, stanje odeće (suvo ili mokro), kvalitet površine gornjeg sloja odeće, karakteristike gornjeg sloja odeće (propusnost za vazduh i vodenu paru, propusnost ili nepropusnost za vodu), vrsta i intenzitet rada koji obavlja osoba u vanrednim uslovima, psihofizičko stanje i sl.

Naravno da merenja možemo obaviti na ljudima, ali ne u zatrovanoj okolini, jer postoji određena verovatnoća trovanja. Zbog toga je u takvim slučajevima teško izvesti verodostojan eksperiment. Uprkos tome mogu se testirati sva ostala stanja. Njih ima previše. Čak i manja promena u odeći zahteva novi eksperiment. Zbog toga je mnogo jednostavnije i mnogo jeftinije izračunati vreme tolerancije za sva stanja, koja se najčešće pojavljuju u realnom životu u vanrednim okolnostima i testirati na ljudima samo neka od najtipičnijih stanja.

Razvili smo metodu određivanja vremena tolerancije u bilo kom stanju okoline, stanju odeće i stanju organizma čoveka. Pri tom su uzete u obzir neke pretpostavke koje se uvek ne poklapaju potpuno sa realnim stanjem, kao što je na primer ugao duvanja vetra, zaštita ekstremiteta, termoizolacijska vrednost omotača tela (koža i potkožno tkivo), uticaj kvaliteta vanjskog sloja odeće i brzina isparavanja znoja i sl. Uprkos tim nedostacima, metoda se može koristiti u realnim situacijama, pogotovo ako se izvedu dodatni ogledi na ljudima za neka najčešća stanja koja mogu nastupiti u vanrednim okolnostima.

7.3.2. Teorija

Obradićemo slučajeve u kojima može doći do pregrevavanja ili hlađenja tela. Početno stanje neka bude stanje ugodnosti: neka čovek bude u stanju ugodnosti u okruženju u kome će delovati. Vremenom se stanje može promeniti i osoba se može početi zagrevati ili hladiti, pri čemu je sastav odeće konstantan: osoba nema dodatnih delova odeće ako se počne hladiti, i ne može odbaciti odeću ako se počne zagrevati (npr. u kontaminiranom okruženju). Za to vreme osoba obavlja neprekidno određenu aktivnost sa određenim intenzitetom i zbog toga emituje u okruženje konstantnu količinu toplote kroz površinu kože. Drugi delovi tela su odgovarajuće zaštićeni.

Svi proračuni se odnose na ravnu površinu kroz koju se inače isijava manje toplote nego kroz valjkastu ili sfernu površinu, računato na jedinicu površine u jedinici vremena.

Toplotni otpor odeće ćemo izraziti jednačinom (7.20):

$$R_c = \sum_i \frac{d_i}{\lambda_i} = \frac{d_c}{\lambda_c} \quad (7.20)$$

gde su:

- R_c - toplotni otpor odeće $m^2 \cdot h \cdot ^\circ C / kJ$;
- d_c - debljina odeće m;
- λ_c - koeficijent toplotne provodljivosti odeće $kJ / m \cdot h \cdot ^\circ C$.

Sloj vazduha na površini odeće za koji kažemo da je nepokretan ima takođe određeni toplotni otpor koji možemo izraziti poznatom eksperimentalno proverenom jednačinom, a koja važi pri brzini vetra koja je ≥ 1 m/s. Ta korelacija je prikazana jednačinom (7.21):

$$R_a = \frac{0,0429}{0,4 + 2,0v^{0,5}} \quad (7.21)$$

gde su:

- R_a - toplotni otpor sloja vazduha na površini odeće; $m^2 \cdot h \cdot ^\circ C / kJ$
- v - brzina vetra m/s.

Ukupni toplotni otpor R_s , možemo izaziti sledećom jednačinom:

$$R_s = R_c + R_a \quad (7.22)$$

- R_s - ukupni toplotni otpor odeće i mirnog sloja vazduha na površini odeće; $m^2 \cdot h \cdot ^\circ C / kJ$.

Toplotni otpor odeće se menja u zavisnosti od brzine vetra, količine vlage u odeći i promene temperature odeće. Te promene možemo izraziti promenom koeficijenta toplotne provodnosti, λ . Tu zavisnost možemo izraziti sledećom jednačinom za ravnu površinu:

$$\lambda_c = \lambda_0 (1 + k_T \Delta T_c + k_w \Delta G_c) + b c_a \gamma_a V_a d_c \quad (7.23)$$

gde su:

- λ_c - koeficijent toplotne provodnosti odeće, kJ/m.h.⁰C;
- λ_0 - koeficijent toplotne provodnosti suve odeće u standardnoj atmosferi u mirnom vremenu, kJ/m.h.⁰C;
- k_T - koeficijent smera ($k_T = 0,0025$) krive zavisnosti koeficijenta toplotne provodnosti od temperature odeće;
- ΔT_c - promena temperature odeće;
- k_w – koeficijent smera krive zavisnosti koeficijenta toplotne provodnosti odeće od količine vode u odeći u % ($k_w = 0,04$);
- ΔG_c - povećanje mase odeće v % zbog povećanja količine vode u odeći - procenat vode u odeći;
- b - koeficijent, opisuje zaptivanje odeće (kod odeće, koja dobro zaptiva, kao što je naš slučaj, ima koeficijent b vrednost 1), ako odeća dobro ne zaptiva, onda je $b > 1$;
- c_a - specifična toplota vazduha (0,966 kJ/kg.⁰C);
- γ_a – gustina vazduha (1,2 kg/m³);
- V_a - zapreminska brzina protoka vazduha kroz odeću kod određene brzine vetra, m³/m².h;
- d_c - debljina odeće, m.

Uzimajući u obzir jednačine (7.20 do (7.23), ukupni toplotni otpor odeće i nepokretnog sloja vazduha na površini iste, jednačina (7.22), može se izraziti sledećom jednačinom:

$$R_s = \frac{d_c}{\lambda_0 (1 + k_T \Delta T_c + k_w \Delta G_c) + b c_a \gamma_a V_a d_c} + \frac{0,0429}{0,4 + 2,0v^{0,5}} \quad (7.24)$$

- v - brzina vetra, m/s.

U jednačini (7.24) uzeli smo u obzir, odnosno opisali, prodor vazduha kroz odeću sa koeficijentom b (vidi takođe jednačinu (7.23)). U stanju ugodnosti je temperatura na površini prsa 33 °C, temperatura jezgra tela 37 °C i prosečna temperatura tela je 36,6 °C. Pregrevanje ili hlađenje organizma čoveka nastupi ukoliko se poremeti ravnoteža između proizvodnje toplote u telu i emitovanja iste u okolinu. Ukoliko je proizvodnja toplote u organizmu manja nego su njeni gubici kroz površinu kože, odnosno kroz vanjsku površinu odeće u okolinu, počće se snižavati prosečna temperatura tela posmatrane osobe. U suprotnom slučaju toplota će se početi „skladištiti” u telu i telesna temperature će početi da raste. Ukoliko su nam poznate prosečna temperatura tela u početnom stanju (zona ugodnosti) i u krajnjem stanju (granična temperatura hlađenja tela posmatrane osobe), masa osobe i specifična toplota tela c_b , nedostatak ili višak toplote možemo izračunati pomoću sledeće jednačine:

$$\Delta Q_b = c_b G_b (T_{av2} - T_{av1}) \quad (7.25)$$

gde su:

- ΔQ_b - razlika između količine proizvedene toplote, koja nije upotrebljena za rad mišića i unutrašnjih organa, i emitovane toplote u okruženje (u zoni ugodnosti $\Delta Q_b = 0$), $\text{kJ/m}^2 \cdot \text{h} \text{ } ^\circ\text{C}$;
- c_b - specifična toplota tela, $\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$;
- G_b - težina tela, kg ;
- T_{av2} - prosečna aktuelna temperatura tela, $^\circ\text{C}$;
- T_{av1} - prosečna temperatura tela u zoni ugodnosti ($36,6 \text{ } ^\circ\text{C}$).

Iz jednačine (7.25) je vidljivo da je debalans toplote pozitivan, u slučaju kada se toplota nakuplja u telu osobe, ili negativan, ako se toplota crpi iz tela osobe tako da se smanjuje prosečna temperatura tela. Taj debalans je posledica gubitaka toplote, koji mogu biti veći ili manji nego što je proizvodnja toplote, koja se emituje kroz površinu kože i koja se upotrebi za isparavanje znoja i zagrevanje ili hlađenje udahnutog vazduha. Ako je debalans negativan, osoba se hladi, ako je pozitivan, onda se pregrejava. Ako je osoba pre merenja bila u zoni ugodnosti i ako nije bilo debalansa toplote, osoba će još uvek biti u zoni ugodnosti. U slučaju da nema debalansa ($\Delta Q = 0$). Debalans možemo izraziti jednačinom (7.26):

$$\Delta Q_b = Q_1 - (Q_2 + Q_3 + Q_4) \quad (7.26)$$

gde su:

- ΔQ_b - razlika između količine proizvedene toplote, koja nije upotrebljena za rad mišića i unutrašnjih organa i toplote emitovane u okruženje (u zoni ugodnosti $\Delta Q_b = 0$), $\text{kJ/m}^2 \cdot \text{h} \text{ } ^\circ\text{C}$;
- Q_1 - proizvedena toplota, $\text{kJ/m}^2 \cdot \text{h} \text{ } ^\circ\text{C}$;
- Q_2 - deo proizvedene toplote koji se emituje kroz površinu odeće u okruženje $\text{kJ/m}^2 \cdot \text{h} \text{ } ^\circ\text{C}$;
- Q_3 - deo proizvedene toplote koji se potroši za isparavanje znoja, $\text{kJ/m}^2 \cdot \text{h} \text{ } ^\circ\text{C}$;
- Q_4 - deo proizvedene toplote koji se potroši zbog uticaja brzine vetra ako je vreme vetrovito, $\text{kJ/m}^2 \cdot \text{h} \text{ } ^\circ\text{C}$.

Pojedine toplote iz jednačine (7.22) su definisane jednačinama (7.27) do (7.30):

$$Q_1 = \frac{(T_{skc} - T_{en}) St}{R_{s1}} \quad (7.27)$$

gde su:

- T_{skc} - temperatura na površini kože u zoni ugodnosti, $^\circ\text{C}$;

- T_{en} - temperatura okruženja, $^{\circ}\text{C}$;
- R_{s1} - ukupni toplotni otpor odeće u zoni ugodnosti, $\text{m}^2, \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{kJ}$;
- S - površina kože, m^2 ;
- t - vreme trajanja eksperimenta i istovremeno vreme tolerancije, h.

$$Q_2 = \frac{(T_{sk} - T_{en})St}{R_{s2} + \Delta R_{ti}} \quad (7.28)$$

gde su:

- T_{sk} - temperatura na površini kože, $^{\circ}\text{C}$;
- T_{en} - temperatura okruženja, $^{\circ}\text{C}$;
- R_{s2} - ukupni toplotni otpor odeće u aktuelnim uslovima;
- ΔR_{ti} - promena toplotnog otpora omotača tela s obzirom na stanje u zoni ugodnosti;
- S - površina kože, m^2 ;
- t - vreme trajanja eksperimenta i istovremeno vreme tolerancije, h.

$$Q_3 = c_w \varphi \left[a_0 + \frac{a_1(T_{sk} + T_{en})}{2} + a_2 v \right] St \quad (7.29)$$

gde su:

- c_w - specifična toplota isparavanja vode; a_0 , a_1 i a_2 - koeficijenti regresijske krivulje;
- $\varphi = (100 - \text{RH})/100$, gde je RH relativna vlaga vazduha izražena v %;
- a_0 , a_1 , a_2 - koeficijenti regresijske krivulje;
- T_{sk} - temperatura na površini kože, $^{\circ}\text{C}$;
- T_{en} - temperatura okruženja, $^{\circ}\text{C}$;
- v - brzina vetra, m/s.
- S - površina kože, m^2 ;
- t - vreme trajanja eksperimenta i istovremeno vreme tolerancije, h.

$$Q_4 = (T_k - T_{en}) V_a (c_w \varphi G_{aw} + c_a \gamma_a) t \quad (7.30)$$

gde su:

- T_k - temperatura jezgra tela, $^{\circ}\text{C}$;
- T_{en} - temperatur, $^{\circ}\text{C}$;
- V_a - volumenska brzina protoka vazduha kroz odeću na određenoj brzini vetra, $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$;
- c_w - specifična toplota isparavanja vode;
- $\varphi = (100 - \text{RH})/100$, gde je RH relativna vlaga vazduha izražena u %;
- G_{aw} - količina vode u izdahnutom vazduhu, $\text{gr}/\text{m}^3\cdot\text{h}$;
- t – vreme u satima potrebno da se dostigne kritična temperatura hlađenja ili zagrevanja tela, odnosno, vreme u kojem dosegemo unapred izabranu srednju temperaturu, odnosno vreme trajanja eksperimenta i ujedno vreme tolerancije, h;
- c_a - specifična toplota vazduha ($0,966 \text{ kJ}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$);
- γ_a - gustina vazduha ($1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$).

Jednačina (7.27) se odnosi za zonu ugodnosti u slučaju kada zanemarimo gubitke toplote u procesu disanja i gubitke radi isparavanja znoja. Ako u jednačinu (7.26) unesemo izraze za pojedine toplote (7.27) do (7.30) i jednačinu (7.26) rešimo po vremenu t , dobićemo opšte rešenje za izračunavanje vremena tolerancije - jednačina (7.31).

$$t = \frac{\Delta Q_b}{\left[\frac{(T_{src} - T_{en})S}{R_{s1}} - \frac{(T_{sk} - T_{en})S}{R_{s2} + \Delta R_{ti}} \right] - c_{w\varphi} \left[a_0 + \frac{a_1(T_{ak} + T_{en})}{2} + a_2v \right] S - (T_k - T_{en})V_a (c_w\varphi G_{aw} + c_a\gamma_a)} \quad (7.31)$$

Za opis parametara u jednačini (7.31), vidi jednačine (7.20) do (7.30).

U jednačini (7.27) se toplota Q_1 se odnosi na deo toplote proizvedene u telu, koji ne zahvata toplotu koja se potroši za rad mišića i unutrašnjih organa. Q_2 se odnosi na deo toplote koju osoba emituje kroz površinu kože i zatim kroz površinu odeće direktno u okolinu u bilo kojem stanju organizma, što znači i u području ugodnosti ali i u procesu hlađenja ili zagrevanja organizma. Nešto proizvedene toplote se iskoristi za isparavanje znoja (Q_3), a nešto u procesu disanja. (Q_4). U procesu hlađenja organizma relativno malo toplote se upotrebi za isparavanje znoja, jer se u takvom stanju izlučuje i isparava zanemarljiva količina znoja. U procesu pregrevanja organizma gubitak toplote usled isparavanja znoja od bitnog je značaja za sprečavanje pregrevanja organizma i omogućava dalje aktivnosti u uslovima koji dovedu do pregrevanja organizma. Zbog toga ćemo te gubitke uzeti u obzir u procesu pregrevanja.

Toplota Q_4 , koju osoba emituje disanjem, zavisi od razlike temperature između jezgra tela i okoline, relativne vlažnosti okoline, vrste i intenziteta aktivnosti osobe, odnosno broja udisaja i izdisaja u jedinici vremena i količine udahnutog vazduha. Ovi gubici skraćuju vreme kritičnog stanja za vreme hlađenja. Za vreme pregrevanja organizma oni produžavaju trenutak dostizanja kritičnog stanja. Gubitke toplote Q_3 uzimaćemo u obzir samo u procesu pregrevanja organizma posmatrane osobe.

Proizvedenu toplotu Q_1 možemo izmeriti, odnosno možemo uzeti podatke iz literature. U kontaminiranom (otrovnom) okruženju, osoba obavlja različite radnje različitim intenzitetom i pri tom proizvodi različite količine toplote u određenim vremenskim razmacima. Ipak možemo upotrebiti određenu srednju vrednost koja je najverovatnija u pogledu vrste i intenziteta rada koji obavlja posmatrana osoba. U kontaminiranom okruženju ne možemo neposredno meriti količinu emitovane toplote kroz površinu kože ako nismo opremljeni posebnom laboratorijskom opremom. Naravno, možemo simulirati uslove slične onima koje će imati osoba u kontaminiranom okruženju.

Zbir gubitaka toplote (Q_2 , Q_3 i Q_4) može biti jednak količini proizvedene toplote (zona ugodnosti), veći (hlađenje organizma) ili manji od količine proizvedene toplote (pregrejanje organizma). U stanju ugodnosti u prvoj aproksimaciji zanemarićemo Q_3 i eventualno Q_4 , te pretpostaviti da je termoizolacijska vrednost zaštitne odeće koju osoba ima na sebi jednaka potrebnoj termoizolacijskoj vrednosti, da se zadrži zona ugodnosti kada nema vetra i u suhoj odeći.

U zoni pregrevanja organizma, toplota Q_3 ima značajnu ulogu. U toj zoni pozitivnu ulogu ima smanjenje termoizolacije omotača tela i odeće, te povećanje brzine vetra. Pozitivnu ulogu ima takođe toplota Q_4 , ali je možemo zanemariti. U zoni hlađenja pozitivnu ulogu ima samo povećanje termoizolacijske vrednosti omotača tela. Vazduh koji udišemo zasiti se vodenom parom i on se zagreje ili ohladi do temperature jezgra tela T_k , u zavisnosti od temperature vazduha koji udišemo.

7.3.3. Rasprava o teoriji

Jednačina (7.31) u diferencijalnom obliku je opšte rešenje za izračunavanje vremena (vremena tolerantncije), u kome osoba može bez štetnih posledica obavljati određeni posao u posebnim uslovima, u kojima može nastupiti podhlađivanje organizma ili njegovo pregrevanje. ΔQ_c (jednačina (7.25)) jeste količina toplote koju smemo dodatno iscrpiti iz organizma da bi se on ohladio do kritične srednje vrednosti, na primer $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, ili da se u organizmu ne nakupi više dodatne toplote nego što je potrebno, da se srednja temperatura podigne na kritičnu vrednost, na primjer $39\text{ }^{\circ}\text{C}$ (vidi jednačinu (3.1)). Pretpostavićemo da zaštitna odeća dobro zaptiva na otvorima (krajevi rukava, pojas, krajevi nogavica pantalona i okovratnik). Inače, ona je propusna za vazduh i vodenu paru. Otrovnne gasove, ako smo u kontaminiranom (otrovnom) području, apsorbovaće aktivni ugalj u filteru maske i posebni aktivni sloj (aktivirana grafitirana tkanina i sl.). Svi otvori na tkanini su hermetički zatvoreni. Zbog toga je vrednost koeficijenta $b = 1$. Ukoliko otvori na odeći ne zaptivaju, onda je $b > 1$. Problematično je određivanje brzine isparavanja znoja. U prvoj aproksimaciji smo pretpostavili da u zoni ugodnosti, prilikom hlađenja tela, možemo zanemariti znojenje i isparavanje znoja. U zoni zagrevanja (nakupljanje toplote u telu), znojenje je intenzivno i odeća se natopi znojem. Vanjska površina odeće je mokra.

7.3.3.1. Tok eksperimenta

Brzinu isparavanja u mirnom okruženju merili smo u standardnoj atmosferi ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$ i 65 RH). U zavisnosti od brzine vetra i temperature, brzinu isparavanja merili smo tako što smo postepeno povećavali vrednost temperature od 20 do $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ i brzinu vetra od 0 do 5 m/s . Izabrali smo određene uglove duvanja vetra na normalu površine odeće. Prilikom merenja smo simulirali odeću natoplenu znojem i odeću koja je na ovlaženoj površini kože. Voda (znoj) brže isparava sa površine pamučne tkanine nego sa površine vunene tkanine. Ukoliko je spoljna tkanina odeće potpuno nakvašena, ona

ne propušta vazduh kroz pore na tkanini i zbog toga nemamo dodatnu površinu (unutrašnja površina pora) za isparavanje znoja. Brzinu isparavanja znoja nije moguće jednoznačno utvrditi za sva stanja i sastav odeće i mora se obavezno eksperimentalno utvrditi za svaki komplet odeće posebno.

Na slici 7-3, koja prikazuje proces zagrevanja i hlađenja organizma korisnika odeće, prikazana je i vodoravna prava 3 koja se odnosi na zonu ugodnosti. Gornja granica zagrevanja je 39°C . Ukoliko se ta granica pređe, nastupiće trajna oštećenja ili čak smrt korisnika odeće. Najniža granica temperature tela u procesu hlađenja je 30°C . Vreme koje nam treba da dostignemo te vrednosti zavisi od brojnih parametara koji su obuhvaćeni jednačinom (7.31). Prava 3 je posebno naglašena jer se nalazi u zoni ugodnosti. Kada brojilac i imenilac dostignu nultu vrednost i potom se vrednosti parametara ne menjaju, korisnik ostaje u zoni ugodnosti toliko dugo dok se ne promeni vrednost jednog ili više parametara, koji su obuhvaćeni jednačinom (7.31).

Parametre potrebne za izračunavanje vremena tolerancije pomoću jednačine (7.31) možemo izmeriti pomoću nekoliko osnovnih laboratorijskih aparata, kao što su: aparat za određivanje koeficijenta toplotne provodljivosti, porozimetar (merilo brzine vetra), merilo za debljinu odeće, precizna vaga i sl. Za sva merenja potrebno je dva do tri dana. Jednačinom (7.31) praktično su obuhvaćeni svi parametri koji značajno utiču na toplotnu ravnotežu u organizmu čoveka. Jedni igraju značajnu ulogu kod hlađenja organizma, drugi kod pregrevavanja istog, treći su značajni, kako u procesu hlađenja, tako i u procesu pregrevavanja organizma. Neki, takođe, imaju dvojnu ulogu. U procesu pregrevavanja organizma znojenje i kvašenje odeće ima pozitivnu ulogu - hlade organizam. Pri tome pretpostavljamo da makar deo izlučenog znoja ispari. Brzina vetra pospešuje hlađenje znoja i time i hlađenje pregrejanog ljudskog organizma. Ukoliko je organizam u stanju hlađenja, povećanje znojenja i povećanje brzine vetra imaju negativan uticaj - ubrzavaju hlađenje tela subjekta.

7.3.4. Primer upotrebljivosti jednačine (7.31) za izračunavanje vremena tolerancije

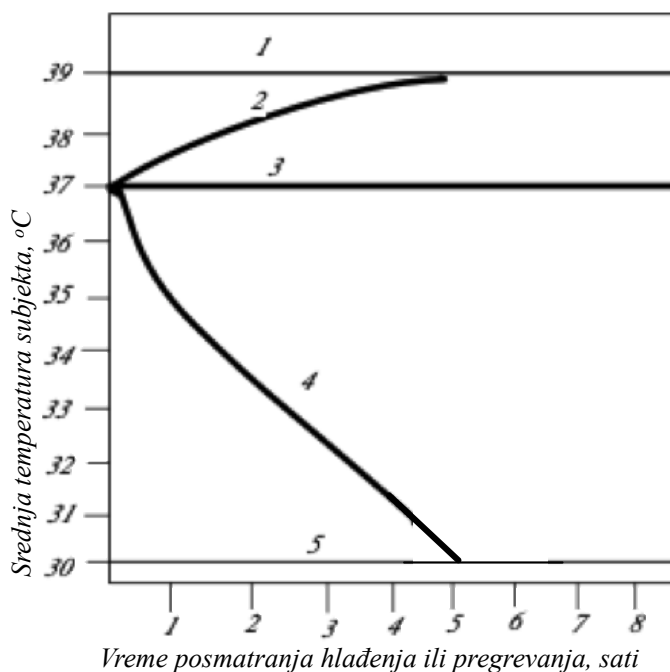
7.3.4.1. Definisavanje kompleta odeće

U svakodnevnim uslovima života možemo menjati komplet po potrebi. Ukoliko je njegova termoizolacija prevelika za postojeće uslove upotrebe (pregrevanje organizma), pojedine delove odložimo i time smanjimo ukupnu vrednost toplotne izolacije odeće, tako organizam možemo zadržati na temperaturi ugodnosti (ravnoteža između gubitaka toplote i proizvodnje toplote u stanju ugodnosti). Ako je termoizolacijska vrednost kompleta odeće u postojećim uslovima premala - gubitak toplote je veći nego proizvodnja iste (hlađenje organizma), dodaćemo neki sloj kompleta. Ukoliko nemamo tu mogućnost, od pothlađivanja se branimo tako što povećavamo proizvodnju toplote (povećavamo intenzitet aktivnosti). Takva odbrana od hlađenja ima svoje granice. Organizam se umori, želja za životom slabi i ponekad je zbog pothlađivanja konačan ishod – smrt.

U životu se ponekad događa da u postojećim uslovima ne možemo menjati sastav kompleta. To posebno važi za vatrogasce, ronioce, spasioce u slučajevima nesreća u hemijskim fabrikama, kao i kada imamo posla sa otrovnim tvarima (tekućinama i, pre svega, gasovima), za vreme rata, kada spasioci svesno idu u kontaminirano područje i sl.

Radi ilustracije takvih situacija obradićemo komplet zaštitne odeće, primeran za upotrebu u zatrovanoj atmosferi. Ovde spada upotreba gas maske, nepropusne obuće (gumene čizme i sl), zaštitnih rukavica i drugo. Šavovi odeće moraju biti urađeni tako da otrovni gasovi nemaju mogućnost

direktnog kontakta sa površinom kože. Isto to važi za sve otvore na odeći. Korisno je, takođe, da je takva odeća hidrofobna ili čak odbojna na ulje, ukoliko atmosfera sadrži deliće raspršenih otrovnih tvari. To je posebno važno prilikom odbrane od takozvanih bojnih otrova koje, u tečnom ili gasovitom stanju apsorbuje površina kože i koji deluju paralizirajuće na nervni sistem. To isto važi za brojne druge proizvode hemijske industrije. Veoma često možemo pročitati o brodovima koje niko neće da primi u svoje pristanište jer su natovareni veoma otrovnim otpacima.



*Slika 7-3: Ilustracija zajedničkog prikaza zagrevavanja i hlađenja organizma te stanja ugodnosti
 1 - Prava koja deli područje zagrevavanja tela od područja u kojem bi telo bilo pregrejano i mogla bi nastupiti smrt; 2 - kriva koja pokazuje postepeno povećanje temperature tela iznad temperature ugodnosti, u zavisnosti od vremena posmatranja; 3 - prava na temperaturi ugodnosti; 4 - kriva koja pokazuje krivolju hlađenja tela u zavisnosti od vremena posmatranja; 5 - prava koja deli područje hlađenja tela od područja u kojem bi telo bilo opasno ohlađeno pa bi mogla nastupiti smrt.*

Naša namera nije studija potrebnih osobina zaštitne odeće, nego ustanovljavanje mogućnosti izračunavanja vremena tolerantncije, u kojem korisnik određene odeće može obavljati određene aktivnosti pod određenim uslovima, a da pri tome ne zadobije ozbiljnija telesna ili duševna oštećenja.

7.3.4.2. Komplet odeće i njegove osobine

Kod ispitivanja zaštitne vrednosti odeće moramo uzeti u obzir činjenicu da svi delovi tela ne emituju jednaku količinu toplote. Toj činjenici prilagođavamo konstrukciju odeće tako da su ekstremiteti, vrat i glava jednako toplotno izolovani kao i trup u smislu brzine hlađenja i pregrevavanja. Inače je obrada glave, vrata i ekstremiteta, posebno ruku, odnosno dlanova i stopala te prstiju na rukama i nogama veoma zahtevna.

Zaštitna odeća se sastoji iz pokrivne tkanine, grafitirane tkanine (oksidirana i aktivirana tkanina izrađena od PAN multifilamentnih niti, koje absorbuju otrovne gasove odnosno tekućine) i postave.

Za realnu analizu sistema veoma je važna poroznost kompleta. To važi kako za dva ekstremna stanja (pregrevanje i hlađenje) tako i za stanje ugodnosti. Sa poroznošću je u velikoj mjeri povezan otpor prenosu pare kroz odeću, što je važno u uslovima pregrevanja organizma. U uslovima hlađenja organizma, posebno ako duva vetar, velika poroznost ubrzava njegovo hlađenje. Takođe nije zanemarljiva veličina pora. Pri istoj zapreminskoj brzini protoka i jednakom pritisku može biti otvorena površina za protok, sastavljena iz velikog broja pora, koje imaju mali prosečni hidraulični promer, ili iz manjeg broja pora koje imaju relativno veliki prosečni hidraulični promer pore. Takvu mogućnost ne smemo zanemariti. Kroz pore, koje imaju veliki hidraulični promjer, lakše prolaze otrovni gasovi i otrovne tekućine. Može se dogoditi da kroz pore sklizne sitna kapljica otrovne tvari. Parametre poroznosti možemo odrediti pomoću *Jakšićeve metode za određivanje broja veličine i rasporeda pora u ravnim tekstilijama*.

Tabela 7-3: Vrednosti koeficijenta toplotne provodljivosti i sadržaja vlage u pojedinim slojevima odeće u standardnoj atmosferi i debljina pojedinih slojeva

Slojevi odeće	Debljina, mm	λ , kJ/m.h ⁰ C	Sadržaj vlage, %
Vanjska tkanina	0,35	0,1234	5,1
Grafitirana tkanina	0,87	0,1000	1,0
Postava	0,41	0,7751	6,1

Tabela 7-4: Vrednosti nekih značajnijih parametara pozornosti pojedinih slojeva odeće

Slojevi odeće	Parametri jednačine 7.27			Parametri poroznosti	
	A	b	r	D_{max} , μm	D_s , μm
Vanjska tkanina	12,91	0,768	0,999	97	21,6
Grafitirana tkanina	19,88	0,683	0,998	267	85,4
Postava	17,59	0,779	0,993	141	29,1

Koeficijenti A i b u tabeli 7-4, definisani su regresijskom jednačinom (7.11), r je koeficijent korelacije, D_{max} je maksimalni hidraulični promer pora i D_s je prosečni hidraulični promer pora.

7.3.4.3. Korisnik odeće

Odeća može biti namenjena deci, odraslim ženskim ili odraslim muškim osobama. Ovi poslednji (odrasli), razlikuju se ne samo po polu nego i po visini, težini, površini kože, jačini konstrukcije, osetljivosti na temperaturu i sl. Razumljivo je da ne možemo obrađivati širi dijapazon razlika među korisnicima. Zato ćemo uvesti pojam prosečnog korisnika. On ima težinu 70 kg i površinu kože 1,8 m² i proizvodi sledeće količine toplote, zavisno koliko težak rad obavlja: laki rad. - 417 kJ/m².h;

umereno težak rad - 697 kJ/m².h; težak rad - 1.047 kJ/m².h i vrlo težak rad - 1.397 kJ/m².h; hod 3 km/h - 420 kJ/m².h je jednak lakom radu - 417 kJ/m².h [4].

7.3.4.4. Stanje organizma korisnika

Organizam korisnika se nalazi u bilo kom stanju između dve ekstremne srednje temperature tela 30 °C, odnosno 39 °C. Srednju telesnu temperaturu nije jednostavno izračunati, jer se mora uzeti u obzir činjenica da je temperatura ugodnosti na površini čela ili prsa oko 33 °C, dok je temperatura ugodnosti na krajevima nožnih prstiju samo oko 24 °C. Razlika je oko 11 °C. Temperatura jezgra tela, koje čini veći deo mase tela, jeste 37 °C.

U pogledu stalnosti temperature čovečije telo možemo razdeliti na dva dela. Vanjski sloj je omotač tela (koža i potkožno tkivo), njegova temperatura nije stalna. Ispod omotača je jezgro tela koje ima stalnu temperaturu. Naravno da se i temperatura unutrašnjosti tela menja u vanrednim okolnostima – veća je ili manja od 37 °C. Temperaturni gradijent omotača je približno 3 °C /cm. To znači da se temperatura tela povećava ako idemo od površine tela prema njegovoj unutrašnjosti za 3 °C. na dubini 1 cm. To ne važi za sve delove tela, samo je srednja vrednost za telo u celini. Pošto je temperatura ugodnosti na grudima oko 33 °C, debljina sloja, ako uzmemo u obzir temperaturni gradijent, biće oko 1,3 cm. Srednju temperaturu tela možemo izračunati pomoću jednačine (3.5) ($T = aT_1 + bT_2$).

U pogledu provođenja toplote omotač tela se dobro prilagođava promenama stanja tela. Vrednosti njegovog koeficijenta toplotne provodljivosti kreću se u granicama od 3,023 kJ/m.h.°C (pregrejan organizam) do 0,3790 kJ/m.h.°C (pothlađen organizam). To znači da se njegova termoizolacijska vrednost promeni za oko osam puta. Ako uzmemo u obzir debljinu omotača i vrednosti koeficijenta toplotne provodljivosti, pomoću jednačine (6.1) možemo izračunati granične vrednosti termoizolacije omotača tela, i one su 0,0471 m².h.°C /kJ (organizam u zoni ugodnosti) do 0,0729 m².h.°C /kJ (pothlađen organizam).

Šta praktično znače navedene vrednosti? U stanju pregrejanosti organizma omotač tela provodi toplotu bolje nego voda, što je od bitnog značaja za brz prelaz toplote iz unutrašnjosti tela na njegovu površinu, i dalje u okolinu. U procesu prenosa toplote kroz omotač tela, takvo stanje je posledica širenja krvnih sudova (kapilara) i ubrzanog kruženja krvi sa površine tela prema unutrašnjosti (ohladena venska krv) i iz unutrašnjosti prema površini tela (vruća arterijska krv).

Kad je organizam pothlađen, žile krvotoka se suze, smanjuje se prečnik kanala u žili, kruženje krvi se veoma uspori i time se poveća termoizolacijska vrednost omotača tela. Ona je približno u nivou termoizolacije plute iste debljine. Zbog povećanja termoizolacijske vrednosti omotača tela i sniženja temperature na površini kože tela, u uslovima hlađenja organizma, uspori se gubitak toplote, a time se povećaju mogućnosti za preživljavanje i u uslovima kada bi, inače, brzo došlo do snižavanja telesne temperature ako bi omotač tela imao istu termoizolacijsku vrednost kao u slučaju pregrejanog organizma. Gornja kritična temperature u jezgru tela iznosi oko 39 °C, kritična srčana frekvencija je 180 otkucaja/min. Kod tih vrednosti može doći do toplotnog šoka. Pod tim uslovima se izjednače temperature u unutrašnjosti jezgra tela i omotača tela. Niža temperatura je neposredno na površini kože sa koje isparava znoj. U slučaju pothlađivanja (bez uzimanja u obzir stanja ušiju, nosa i ekstremiteta ili njihovih delova - šake i stopala koji mogu biti trajno oštećeni), čovek se oseća pospano, ako temperatura jezgra tela padne ispod 30 °C ili čak do 27 °C. Ukoliko temperature jezgra tela padne

ispod 27 °C, usporava se disanje i otkucaji srca. U takvom stanju, zbog pothlađivanja, može nastupiti smrt.

Mišljenje je da se u organizmu ne bi smelo nakupiti više toplote od 8,7 kJ/kg mase tela. Navedena količina toplote podigne temperaturu tela na kritičnih 39 °C. Praktično je važno vreme tolerancije, odnosno vreme koje je potrebno da u datim uslovima organizam dođe u kritično područje (hlađenje ili pregrevanje organizma). U tom vremenskom intervalu prelaza iz stanja ugodnosti u područje kritičnog stanja organizma, moguća je manje-više normalna aktivnost čoveka.

Brzina zagrevanja ili hlađenja organizma zavisi takođe od vrednosti srednje specifične toplote organizma. Ona iznosi približno 3,5 kJ/kg.°C. Sada raspoložemo sa svim parametrima koji su potrebni za izračunavanje neravnoteže između proizvodnje i emitovanja toplote. To možemo izračunati pomoću jednačine (7.25).

Iz jednačine (7.25) vidi se da ΔQ_b u procesu hlađenja ima negativnu vrednost $T_{av1} > T_{av2}$ (telo predaje toplotu u okolinu), i pozitivnu vrednost u procesu pregrevanja $T_{av1} < T_{av2}$ (u telu se akumulira energija, pre svega iz vlastite proizvodnje, a takođe može biti delimično i zbog spoljnih opterećenja - gašenje požara). Ukoliko je postignuta ravnoteža na nivou temperature ugodnosti, $T_{av1} = T_{av2}$ i $\Delta Q_b = 0$, nema neravnoteže pri izmeni energije (toplote).

7.3.4.5. Okruženje

Stanje okruženja i korisnika su oni činioci koji određuju vrstu i količinu odeće koju obučemo radi održavanja organizma u stanju ugodnosti i zaštite od trovanja, požara i sl.

U mirnoj i suvoj atmosferi (relativna vlaga 65 %), količina odeće zavisi od temperature okruženja i količine toplote koju korisnik odeće emituje kroz površinu kože. Na slici 7-4 je ilustrovan primer za temperaturni interval od -20 °C do +33 °C i za količinu emitovane toplote od 420 kJ/m².h do 1.400 kJ/m².h.

Kada korisnik odeće obavlja težak rad, potrebna mu je najmanja količina odeće. Sve četiri krivulje (prave) se sastaju na abcisi kod 33 °C. To je temperatura ugodnosti na površini kože. Temperatura sama po sebi utiče na promenu koeficijenta toplotne provodljivosti odeće. Provodljivost raste sa povećanjem temperature. Promene su, ipak, male i zato je trend promena u odnosu na posledice promene temperature pozitivan (poželjan).

Vlaga (voda) veoma utiče na promenu vrednosti koeficijenta toplotne provodljivosti. Naša istraživanja pokazuju da se u području 0 do 100 % vode u tkanini menja (raste) vrednost koeficijenta toplotne provodnosti u proseku 4 % za svaki povećani procenat dela vode u tkanini. Uticaj toplote i vlage uzeli smo u obzir vrednošću λ u jednačini (7.23); iako je uzimanje u obzir sadržaja vode u procesu pregrevanja izuzetno otežano, jer na brzinu isparavanja utiče fiziološki koeficijent nasićenja vazduha, sami komplet odeće u pogledu sirovinskog sastava, poroznosti odeće i brzina vetra.

Ako zaštitna odeća nema otvora za protok gasova, onda je u jednačini (7.23) $b = 1$, i još uz to ako uzmemo u obzir vrednosti parametara iz tabela 7-3 i 7-4, možemo izračunati R_s za komplet zaštitne odeće.

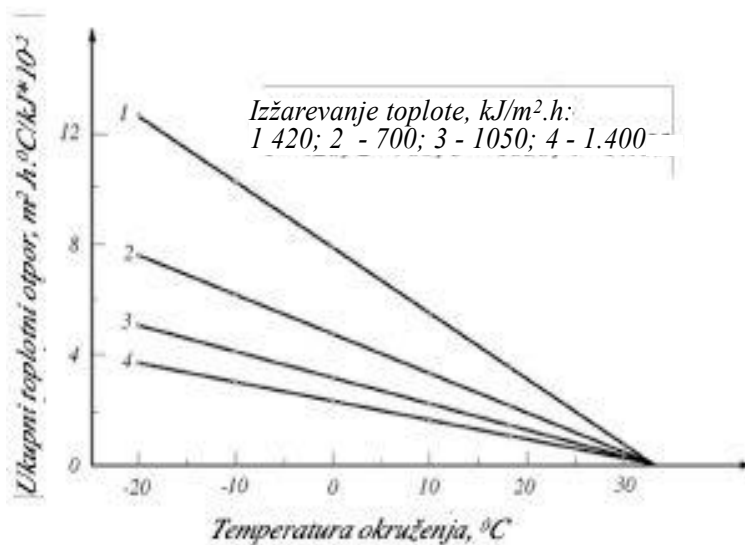
Na slici 7-4 je prikazana promena R_s u zavisnosti od temperature okruženja i proizvedene toplote iz tela subjekta. Vrednosti koje su izračunate za brzinu vetra 1 m/s važe kao vrednost u mirnom vremenu. Parametri A i b u tabeli 7-4 odnose se na zapreminsku brzinu protoka vazduha izraženu u cm^3/cm^2 i pritiska u cm vodenog stuba (jednačina (7.24)).

Kao što se može videti iz tabele 7-4, eksponent b je veći od 0,5. Kako smo već ranije naveli za b stvarno važi sledeće ograničenje: $0,5 \leq b \leq 1$. Što je tkanina gušća, veća je vrednost eksponenta b .

Prostornu (zapreminsku) brzinu dobijamo ako linearnu brzinu protoka vazduha pomnožimo sa otvorenom površinom u tkanini, koju čine pore među nitima osnove i potke, odnosno zapreminski protok vazduha izračunavamo pomoću jednačine (7.21).

Radi ilustracije takvih situacija obradićemo komplet zaštitne odeće, primeran za upotrebu u zatrovanoj atmosferi. Ovde spada upotreba gas maske, nepropusne obuće (gumene čizme i sl), zaštitnih rukavica i drugo. Šavovi odeće moraju biti urađeni tako da otrovni gasovi nemaju mogućnost direktnog kontakta sa površinom kože. Isto to važi za sve otvore na odeći. Korisno je, takođe, da je takva odeća hidrofobna ili čak odbojna na ulje, ukoliko atmosfera sadrži deliće raspršenih otrovnih tvari. To je posebno važno prilikom odbrane od takozvanih bojnih otrova koje, u tečnom ili gasovitom stanju apsorbuje površina kože i koji deluju paralizirajuće na nervni sistem. To isto važi za brojne druge proizvode hemijske industrije. Veoma često možemo pročitati o brodovima koje niko neće da primi u svoje пристаниште jer su natovareni veoma otrovnim otpacima.

Poroznost odeće je veoma velika, što pozitivno utiče na hlađenje - isparavanje znoja, ali kod nižih temperatura i na vetrovitom vremenu ima negativan učinak. Ne samo na termoizolaciju odeće, nego i na filtraciju (takođe i kod viših temperatura). Otrovnne gasove vetar nosi kroz odeću. Time se opterećuje filtracijski sloj koji se brže zasiti, nego kada nema vetra. To možemo zaključiti iz količine vazduha koji prolazi kroz odeću na određenoj brzini vetra. Sličan učinak ima znoj, jer absorpcijski sloj, natopljen znojem, nema istu sposobnost absorpcije kao u suvom stanju. Na slici 7-5 je prikazana promena R_s u zavisnosti od brzine vetra. Drastično je smanjenje toplotnog otpora.



Slika 7-4: Zavisnost R_s od temperature i proizvedene toplote

Krivulja 1 pokazuje stanje kada korisnik obavlja laki rad (420 kJ/m².h), krivulja 2 pokazuje umerno teški rad (720 kJ/m².h), krivulja 3 teški rad (1.050 kJ/m².h) i krivulja 4 veoma težak rad, pri kojem korisnik emituje kroz površinu kože 1.400 kJ/m².h.

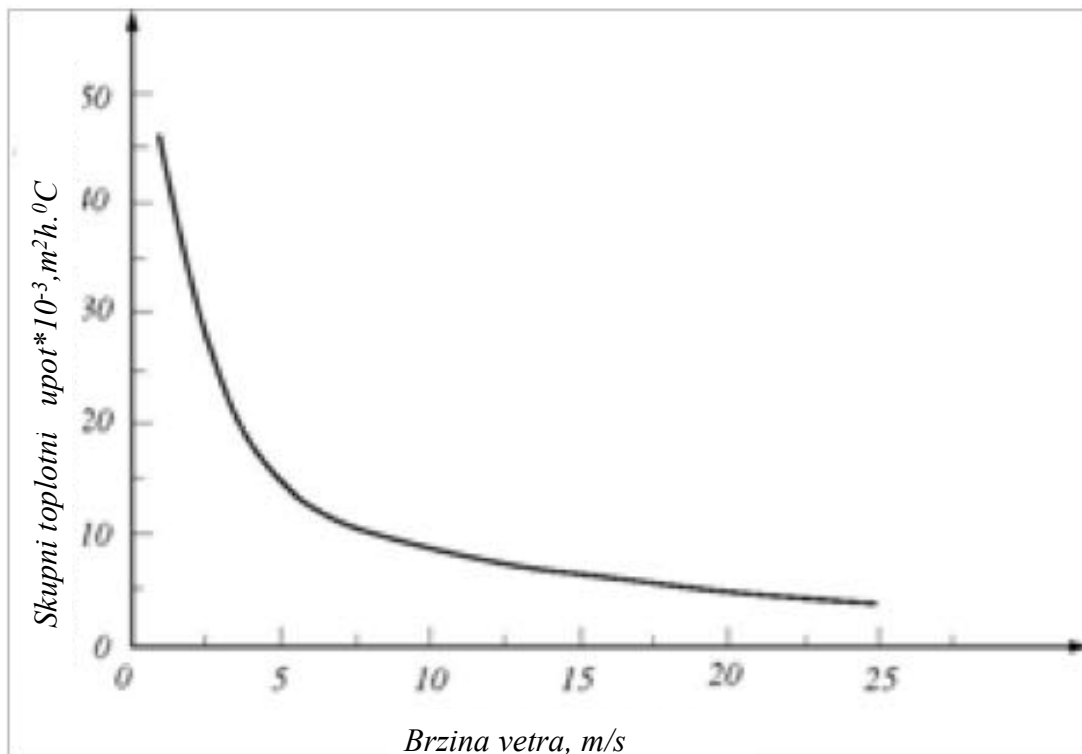
7.3.4.6. Hlađenje organizma

Prosečna temperatura organizma se može sniziti do 30 °C i niže. U tom slučaju je temperatura na površini kože dosta niža - bar 29 °C ili još niža na grudima 28 °C. Kao što se vidi iz tabele 3-6, subjektivni osećaj organizma u takvom stanju je bolan - veoma hladno. Ako se organizam hladi i dalje, bolovi postepeno prestaju, telo utrne, smanji se broj otkucaja srca na jedinici vremena, čovek postaje pospan i, ako se organizam dalje hladi, nastupa smrt.

Smanjenje temperature jezgra tela ispod 30 °C predstavlja veliku opasnost. Zbog toga ćemo tu temperaturu uzeti kao donju prosečnu graničnu temperaturu organizma, na kojoj su još moguće određene aktivnosti subjekta. Odnosno, prihvaćemo srednju donju temperaturu oko 29 °C uz temperaturu prsa 28 °C.

Omotač ima najveću termoizolacijsku vrednost onda kada praktično prestane kruženje krvi u njemu. To je stanje koje znači i odumiranje tkiva, ako traje dovoljno dugo. Pokretljivost prstiju ruku se smanjuje ako temperatura na njihovim vrhovima padne ispod 15 °C.

Realno, možemo zaključiti da se u procesu hlađenja povećava temperaturni gradijent omotača tela. Ranije navedene vrednosti koeficijenata a i b u jednačini (3.5) važe za golo telo, obloženo vazduhom. Ukoliko golu osobu potopimo u vodu, vrednosti oba koeficijenta će se promeniti. Prosečna debljina omotača će se povećati.



Slika 7-5: Zavisnost R_s kompleta zaštitne odeće od brzine vetra

Izmerene i izračunate vrednosti su: $a = 0,35$ i $b = 0,65$. To je zbog toga jer se u vodi organizam brže hladi i granica stabilne temperature pomiče se više u unutrašnjost tela. Ako uzmemo u obzir navedene vrednosti koeficijentata za prosečnu temperaturu tela $29,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, prosečna temperatura omotača će biti $28\text{ }^{\circ}\text{C}$, a temperature u jezgru tela $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pošto nam nije poznata približna debljina omotača tela, niti njegov temperaturni gradijent, ne možemo računati sa prosečnom temperaturom tela, nego sa temperaturom jezgra tela, koju možemo izmeriti u rektumu (otvor za izdvajanje otpadaka iz tela). Bez obzira na to gde je granica između omotača i jezgra tela, u uslovima hlađenja organizma smemo tvrditi da je razlika temperatura na površini kože i u unutrašnjosti viša nego u području ugodnosti. Pri tom ćemo izuzeti glavu, vrat i ekstremitete. Posmatramo samo trup (torzo). Ako je u području ugodnosti ta razlika bila $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, u pothlađenom stanju će biti, bez obzira na sniženu temperaturu jezgra tela, nešto viša. To je pre svega zbog termoizolacijske vrednosti omotača iste debljine. Ako je temperatura jezgra tela $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, onda je na površini grudi verovatno niža od $27\text{ }^{\circ}\text{C}$. To je već stanje u kom polako nastupa utrnulost - bolovi prestaju zbog snižene temperature. Ako temperature padne ispod 30°C i snižava se dalje do $27\text{ }^{\circ}\text{C}$, nastupa osećaj pospanosti, smanji se broj otkucaja srca, što je već prvi znak približavanja smrti zbog hlađenja. U tom stanju se počne smanjivati i razlika između temperature na površini kože i temperature jezgra tela, koja je najmanja pred sam kraj života.

U procesu hlađenja telo proizvede određenu količinu toplote Q_1 i pošalje u okolinu toplotu Q_2 , Q_3 in Q_4 . Pri tom je suma $Q_2 + Q_3 + Q_4 > Q_1$. Stvarni manjak energije ΔQ_b , $\text{kJ/m}^2\cdot\text{h}$ možemo izračunati pomoću jednačine (7.26). U procesu hlađenja organizma možemo zanemariti Q_3 , jer je količina toplote, koja se potroši za isparavanje znoja, zanemarljiva u poređenju sa toplotom Q_2 , koja se emituje kroz površinu kože i kroz odeću u okolinu.

Toplotu Q_4 , ne možemo zanemariti, barem ne kod niskih temperatura. Kao što se vidi iz jednačine (7.30), ona je uvek srazmerna sa razlikom temperature u jezgru tela i temperature okoline. U zoni

ugodnosti je temperatura jezgra tela 37°C . Ona se može spustiti do 30°C , čak i niže, u slučaju pothlađivanja. Pri tome nije obavezno da je temperatura okoline ispod 0°C Količina izdahnutog vazduha, koji ima jednaku temperaturu kao jezgro tela, zavisi od broja izdaha i količine vazduha prilikom jednog izdaha. Broj izdisaja i udisaja zavisi od vrste i intenziteta aktivnosti osobe. Pretpostavljamo da je zrak koji izdišemo nasićen vodenom parom. Ako izdahnemo 15 grama vazduha na sat, i ako je razlika između temperature jezgra tela i temperature okruženja 40°C , specifična toplota vazduha $0,966\text{ kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$ i specifična težina vazduha $1,2\text{ kg/m}^3$, za “zagrevanje vazduha ćemo upotrebiti oko 42 kJ/h . Čovek u većini slučajeva za jedan sat izdahne 10 do 14 grama vode, što znači da takođe toliko vode ispari. To bi značilo 24 kJ/h do 34 kJ/h . Realno izračunavanje gubitaka toplote moramo malo modifikovati zbog zagrevanja udahnutog vazduha. Računamo samo razliku, koju dobijemo ako telo ohladimo u mirnom vremenu na nižu temperature nego što je temperatura stanja ugodnosti.

Možemo uzeti prosečnu vrednost toplotnog otpora omotača tela u zoni ugodnosti $0,0471\text{ m}^2\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C/kJ}$. Toplotni otpor omotača tela za vreme spavanja, kada telo miruje - bazalni metabolizam je na osnovnom nivou (bazalni metabolizam), dostiže vrednost oko $0,0729\text{ m}^2\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C/kJ}$. Tu vrednost ćemo uzeti kao donju moguću vrednost, kada temperature jezgra tela padne na 30°C . U tom slučaju je $\Delta R_{ti} = 0,0258\text{ m}^2\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C/kJ}$. Ako pretpostavimo da je deo omotača tela $0,35$ kao u slučaju kada je telo potopljeno u vodu, a da je prosečna temperatura na površini kože 28°C , srednja temperatura tela će biti $29,3^{\circ}\text{C}$.

Vreme tolerancije ćemo izračunati u intervalu vanjskih temperatura od -20°C do $+20^{\circ}\text{C}$. Ovaj temperaturni interval ćemo razdeliti na podintervale po 5°C . Pretpostavićemo da je zona ugodnosti kod vanjske temperature 15°C , odnosno tu vrednost daje naš komplet za zonu ugodnosti, u slučaju da je emitovanje toplote $600\text{ kJ/m}^2\cdot\text{h}$. Pri izračunavanju stvarnog toplotnog otpora uzećemo u obzir brzine vetra: 0 m/s , 5 m/s , 10 m/s , 15 m/s i 20 m/s .

Radi ilustracije problema određivanja vremena tolerancije, operisaćemo sa 45 rezultata vremena tolerancije, jer smo uzeli 9 različitih temperatura i 5 brzina vetra uključujući i stanje kada vetra nema. Za svako to stanje moramo ustanoviti da li je toplotni otpor našeg kompleta nedovoljan (hlađenje), optimalan (zona ugodnosti) ili je prevelik (pregrevanje organizma). Shodno tome, koristićemo jednačinu (7.31). U slučaju hlađenja organizma upotrebićemo ΔR_{ti} . Uzećemo u obzir gubitke toplote usled disanja Q_4 . Ranije smo ocenili da ćemo napraviti manju grešku od 2 %, ako te gubitke u obrađivanom primeru ne uzmemo u obzir. Najniže temperature su -20°C .

U procesu pregrevanja organizma uzećemo u obzir Q_3 , koji se odnosi na gubitak toplote radi isparavanja znoja. Tu nam se pojavljuje određeni problem. Možemo izračunati potrebnu količinu znoja, koja mora ispariti, da dostignemo ravnotežu između proizvodnje i odvoda toplote u okruženje. Možemo takođe odrediti uslove u kojima će ta količina znoja zaista ispariti. U tom slučaju bi vreme tolerancije bilo beskonačno. Moramo uzeti u obzir najverovatnije stanje okruženja i organizma, te pod tim uslovima izračunati maksimalnu moguću količinu znoja koja je u većini slučajeva manja, nego što je optimalno. Uprkos tome, veoma se produžava vreme tolerancije, odnosno vreme u kojem dođemo do kritičnog stanja organizma (39°C in 180 otkucaja srca/minuto).

Ukoliko je prosečna temperature tela 30°C , prosečna temperatura stanja ugodnosti $36,6^{\circ}\text{C}$, specifična toplota $3,5\text{ kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$ i masa korisnika odeće 70 kg , pomoću jednačine (7.27), izračunavamo da je ΔQ_b

= 1.789 kJ. To je maksimalna količina toplote koju možemo iscrpiti iz tela, da se ono ohladi sa 36,6 °C na 29,3 °C. To je samo jedan parameter u jednačini (7.31) jer se R_{s1} odnosi na ukupni toplotni otpor koji je potreban da bi osoba ostala u zoni ugodnosti.

Za izračunavanje toplotnog otpora R_{s2} upotrebićemo jednačine (7.20) do (7.22). U tabelama 7-3 i 7-4 date su vrednosti parametara kvaliteta tkanina, koji su potrebni za izračun toplotnoga otpora zaštitne odeće. Toplotni otpor R_c kompleta, kada nema vetra, jeste 0,012068 m².h.⁰C/kJ. Debljina kompleta je 0,00163 m i koeficijent toplotne provodljivosti $\lambda = 0,135068$ kJ/m.h.⁰C. Toplotni otpor sloja mirnog vazduha R_a na površini odeće je 0,017875 m².h.⁰C/kJ. Ukupni toplotni otpor kompleta, $R_{s2} = 0,029943$ m².h.⁰C/kJ.

Sledeći korak je utvrđivanje temperature okruženja u mirnom vremenu, kada komplet omogućava dostizanje temperature stanja ugodnosti ($T_{skc} = 33$ °C). U tu svrhu koristimo jednačinu (7.32).

$$R_{sl} = \frac{(T_{skc} - T_{en})}{Q_2} \quad (7.32)$$

Pomoću jednačine (7.32) odredimo potrebni toplotni otpor za datu količinu emitovane toplote Q_2 i temperature okruženja T_{en} , da bi telo ostalo u zoni ugodnosti. Ako je toplotni otpor R_{s1} veći i od stvarnoga R_{s2} , telo posmatrane osobe će se hladiti. Ukoliko su oba toplotna otpora izjednačena, osoba je u zoni ugodnosti. Ukoliko $R_{s1} < R_{s2}$, nakupljaće se toplota u telu posmatrane osobe i rasti će joj temperatura. Pošto se prosečna temperatura tela ne sme povećati iznad kritične temperature 39 °C, moraju biti ispunjeni uslovi koji omogućavaju protok isparenog znoja u okruženje. U tom slučaju, pomoću jednačine (7.33) možemo izračunati količinu znoja, koja mora ispariti u jedinici vremena, da se temperature prsa ne poveća iznad, na primjer, 35 °C. Kod te temperature je skoro sva površina tela prekrivena znojem.

$$R_{s2} = \frac{T_{sk*} - T_{en}}{Q_{2*}}; \quad Q_{2*} = Q_1 - Q_3; \quad T_{en} = T_{sk*} - R_{s2} Q_{2*} \quad (7.33)$$

gde su:

- R_{s2} - realni toplotni otpor suve odeće;
- Q_{2*} - deo proizvedene toplote koja se emituje kroz površinu odeće u okruženje;
- Q_1 - proizvedena toplota;
- Q_3 - deo proizvedene toplote koja se potroši za isparavanje znoja;
- T_{sk*} - temperatura na površini grudi, pri kojoj je skoro čitava površina tela prekrivena znojem. U našem primeru je to temperatura 35 °C.

U našem slučaju toplota Q_1 ima vrednost 600 kJ/m². Sva ta toplota mora biti emitovana kroz površinu kože i površinu odeće u okruženje. Ako je vrednost toplotnog otpora stvarne odeće u

zadatim uslovima previsoka, ta toplota će se nakupljati u telu posmatrane osobe. U našem slučaju R_{s2} u mirnom vremenu (bez vetra) ima vrednost 0,02994 m².h.⁰C/kJ. Ako je, na primer, temperatura

okruženja $T_{en} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, onda je $T_{sk*} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pitanje je koliko će se toplote emitovati u okruženje kroz odeću? Odgovor je 167 kJ/h što je vrednost Q_{2*} . Sva preostala toplota se mora upotrebiti za isparavanje znoja, da se ne bi počela nakupljati u telu, što bi prouzrokovalo rast prosečne temperature tela. Toplota Q_3 , koja je na raspolaganju za isparavanje znoja, ima vrednost 433 kJ/h. Specifična toplota tela je 3,5 kJ/kg. $^{\circ}\text{C}$. Toplota isparavanja vode je 2.260 kJ/kg. Voda vri na 100 $^{\circ}\text{C}$ uz pritisak 101,324 kPa (1 atmosfere). Vrenje je posledica izlaska mehurića vodene pare. To znači da je energetska stanje nekih molekula veće nego kod ostalih. Ako je prosečna temperatura tela 37 $^{\circ}\text{C}$, treba nam 4,4 kJ za zagrevanje 1 grama vode (znoj) na 100 $^{\circ}\text{C}$. Za isparavanje toga grama znoj treba nam 2,26 kJ. Ukupno nam treba 6,66 kJ toplote za isparavanje jednog grama znoj. Da potrošimo 433 kJ/h, mora ispariti 65 grama znoj za jedan sat. Ukoliko su uslovi za takvu brzinu isparavanja ispunjeni, ostaće nepromenjena temperatura na površini prsi. Pošto je pod tim uslovima brzina izlučivanja znoj mnogo viša (vidi poglavlje 4), neće nedostajati znoj za isparavanje. Vanjska površina odeće je oko 2 m². To znači da moraju biti ispunjeni uslovi za isparavanje 33 grama znoj na m² u jednom satu. Na slici 4-11 je prikazana brzina lučenja i isparavanja znoj kod pet osoba na relativnoj vlažnosti 71 % do 87 %. Uprkos velikoj relativnoj vlažnosti je brzina isparavanja 20 g/h do 248 g/h. Na osnovu toga možemo zaključiti, da u većini slučajeva brzina isparavanja od 33 g/h neće biti postignuta, pogotovo ako još uzmemo u obzir, da je odeća makar delimično natopljena znojem. Realni protok toplote kroz odeću će verovatno biti veći od 300 kJ/h. To znači da u realnim prilikama (nakvašen makar donji sloj odeće) nema potrebe za većom brzinom isparavanja znoj od oko 20 g/h.

Naš komplet zaštitne odeće omogućava postizanje ravnoteže među temperaturama Q_1 i Q_2 na temperaturi okoline $T_{en} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na temperaturi okruženja 15 $^{\circ}\text{C}$ su R_{s1} i R_{s2} izjednačeni –imaju jednaku vrednost. No, imamo još i ΔR_{ti} pa važi jednačina (7.31). Toplotni otpor odeće u određenim uslovima u procesu hlađenja računamo pomoću jednačine (7.20), s tim da koeficijent toplotne provodljivosti izračunavamo pomoću jednačine (7.23). Pošto uzimamo u obzir samo suhu odeću, biće $\Delta G = 0$. Istovremeno nećemo uzimati u obzir uticaj promene temperature okruženja na R_{s2} . U slučaju hlađenja tela moramo uzeti u obzir promenu toplotnog otpora omotača tela ΔR_{ti} . Ovaj toplotni otpor pribrajamo ukupnom toplotnom otporu R_{s2} . Temperatura na površini kože T_{sk} kod kritične temperature ohlađenja je 28 $^{\circ}\text{C}$. U tom slučaju je $\lambda_0 = \lambda$. Realni ukupni toplotni otpor odeće R_{s2} računamo pomoću jednačine (7.24). Koeficijent toplotne provodljivosti λ kao i debljinu odeće izračunavamo pomoću jednačine (7.20).

Pretpostavićemo da se vrednost koeficijenta toplotne provodljivosti ne menja bez obzira na promene temperature okruženja i brzine vetra. Kod svake promene temperature okruženja (temperatura na površini kože se ne menja i iznosi 33 $^{\circ}\text{C}$), debljinu odeće ćemo prilagoditi novom stanju tako da je R_{s1} (poredbeni toplotni otpor) u novim uslovima dovoljan za ostvarivanje zone ugodnosti. Debljinu odeće računamo pomoću jednačine (7.34). Jednačina (7.34) se odnosi na stanje bez vetra. Kad je vetrovito, početnoj vrednosti koeficijenta toplotne provodljivosti λ pribrojimo vrednost koja je posledica uticaja vetra. Poredbeni toplotni otpor R_{s1} se odnosi na toplotni otpor koji je potreban da se sačuva zona ugodnosti, bez obzira na promene temperature okruženja i promene brzine vetra. Za primer ćemo uzeti temperaturu okruženja -10 $^{\circ}\text{C}$ pri brzini vetra 1 m/s, što znači stanje okruženja bez vetra. Za određivanje potrebnog toplotnog otpora odeće za zonu ugodnosti koristimo jednačinu (7.32). Izračunata vrednost je 0,071667 m².h. $^{\circ}\text{C}$ /kJ. Ako želimo odrediti R_{s1} pri bilo kojoj brzini vetra, moramo najprije izračunati toplotni otpor odeće za upoređivanje u mirnom vremenu, da bismo

ustanovili debljinu odeće. Debljina odeće nam treba da izračunamo ukupni toplotni otpor odeće za određenu brzinu vetra. U mirnom vremenu debljinu odeće na određenoj temperaturi okruženja (temperatura T_{skc} je $33\text{ }^{\circ}\text{C}$) izračunavamo pomoću sledeće jednačine:

$$d = (R_{s1(T,v)} - R_a) \lambda \quad (7.34)$$

U našem slučaju ($T_{en} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_{skc} = 33\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\lambda = 0,135068\text{ kJ/m.h.}^{\circ}\text{C}$; $R_{s1(T,v)} = R_{s1(-10,10)} = 0,071667\text{ m}^2\text{.h.}^{\circ}\text{C/kJ}$; $R_a = 0,017875\text{ m}^2\text{.h.}^{\circ}\text{C/kJ}$), parametri poroznosti odeće nisu promenjeni. Za ovaj primer je potrebna debljina odeće $0,007266\text{ m}$. Kod brzine vetra 10 m/s se vrednost ovog toplotnog otpora smanji i iznosi $0,013117\text{ m}^2\text{.h.}^{\circ}\text{C/kJ}$. To znači da je $R_{s1(-10,10)} = 0,013117\text{ m}^2\text{.h.}^{\circ}\text{C/kJ}$. Ovaj ukupni toplotni otpor nije dovoljan za postizanje zone ugodnosti. Zbog toga moramo povećati ukupni toplotni otpor $R_{s1(-10,10)}$ na ukupni toplotni otpor $R_{s1(-10,10)}^*$, gde je $R_{s1(-10,10)}^*$ potrebni ukupni toplotni otpor, da je osoba u zoni ugodnosti na temperaturi okruženja $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ i brzini vetra 10 m/s . Potrebni ukupni toplotni otpor $R_{s1(-10,10)}^*$ u tim uslovima možemo izračunati pomoću sledeće jednačine:

$$R_{s1(-10,10)}^* = R_{s1(-10,0)} + \Delta R_{s1[(-10,0)-(-10,10)]} = 2R_{s1(-10,0)} - R_{s1(-10,10)} \quad (7.35)$$

gde su:

- $R_{s1(-10,10)}^*$ - potrebni toplotni otpor odeće za zonu ugodnosti pri temperaturi okruženja $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ i brzini vetra 10 m/s ;
- $R_{s1(-10,0)}$ - potrebni otpor odeće za zonu ugodnosti pri temperaturi $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ u mirnom vremenu;
- $\Delta R_{s1[(-10,0)-(-10,10)]}$ – smanjenje vrednosti toplotnog otpora (temperatura okruženja $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$) pri brzini vetra 10 m/s u poređenju sa toplotnim otporom odeće u mirnom vremenu (zbog uticaja vetra);
- $R_{s1(-10,10)}$ – ukupni toplotni otpor posmatrane odeće pri temperaturi okruženja $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ i brzini vetra 10 m/s .

Pomoću jednačine (7.35) izračunavamo potrebni toplotni otpor da bi osoba ostala u zoni ugodnosti pri bilo kojoj brzini vetra i datoj temperaturi okruženja. Pri upotrebi jednačine (7.34) uzimamo u obzir koeficijent toplotne provodljivosti realne odeće, R_c u mirnom vremenu bez vetra i vrednost $R_{s1(T,v)}$, koju smo izračunali uz pomoć jednačine (7.34). Potrebni ukupni toplotni otpor $R_{s1(-10,10)}^* = 2 \cdot 0,071667 - 0,013117 = 0,130217\text{ m}^2\text{.h.}^{\circ}\text{C/kJ}$. Vrednost potrebnoga toplotnoga otpora pri brzini vetra 10 m/s veoma se povećava.

Pošto smo izračunali sve vrednosti toplotnih otpora R_{s1} i R_{s2} kod svih temperatura okruženja i svih

brzina vetra, pomoću jednačine (7.31) izračunaćemo vremena tolerancije. Pod datim uslovima ($T = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v = 10\text{ m/s}$) realna vrednost toplotnoga otpora odeće je $R_{s2} = 0,010846\text{ m}^2\text{.h.}^{\circ}\text{C/kJ}$. U mirnom vremenu (bez vetra) je $0,029943\text{ m}^2\text{.h.}^{\circ}\text{C/kJ}$, odnosno smanji se na 36% zbog uticaja vetra. Na tu razliku veoma utiče velika promena toplotnog otpora sloja mirnog vazduha R_a na površini odeće. U tim uslovima se telo čoveka hladi. Zbog toga moramo dodati polovicu povećane vrednosti toplotnog otpora omotača tela ΔR_{ti} . Ona ima vrednost $0,0129\text{ m}^2\text{.h.}^{\circ}\text{C/kJ}$. U tom slučaju će vreme tolerancije

biti 1,41 sati ili 85 minuta. Na tako kratko vreme tolerancije veoma utiče poroznost odeće. Ona je kod brzine vjetra 10 m/s vrlo velika i iznosi $112 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$. $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$.

7.3.4.7. Pregrevanje organizma

Pregrevanje organizma se pojavljuje onda kad se u organizmu počne nakupljati toplota, odnosno onda kad su brzina proizvodnje toplote i spoljna - dodatna toplotna opterećenja veći nego što je brzina emitovanja toplote u okruženje. Posledica toga stanja je povećavanje prosečne temperature tela. U pregrejanom stanju tela promeni se koeficijent toplotne provodljivosti omotača tela. Zbog ubrzanog kruženja krvi omotač postaje slabiji termoizolator čak i od vode. Na nivou kritične temperature tela oko $39 \text{ }^\circ\text{C}$, a još i pre, kod prosečne temperature tela $37 \text{ }^\circ\text{C}$, izjednače se temperature omotača i jezgra tela, pa smemo pretpostaviti da je temperatura unutrašnjosti jednaka prosečnoj temperaturi tela. Temperatura okruženja čak može biti viša, jednaka ili niža od temperature na površini kože.

U slučajevima kad se telo pregrejava – nakupljanje toplote u telu - ΔQ_b je pozitivan. Kod računanja vremena tolerancije ne uzimamo u obzir ΔR_{ti} , zato što više ne postoji toplotni otpor omotača tela, jer praktično provodi toplotu bolje od vode, pošto u koži i potkožnom tkivu krv kruži brzo i donosi toplotu iz unutrašnjosti tela prema njegovoj površini.

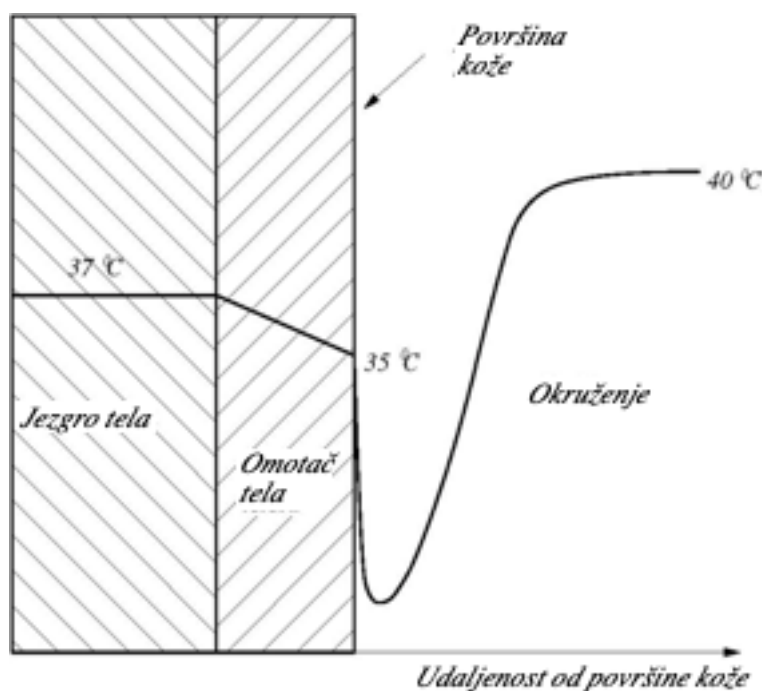
Prilikom pregrevanja tela subjekta je $Q_1 > Q_2$ - toplota se akumulira u telu. Isparavanje znoja omogućava produžavanje vremena tolerancije u uslovima pregrevanja organizma. Ako nije omogućeno isparavanje znoja, vreme tolerancije može biti vrlo kratko. To je slučaj upotrebe kaširane ili gumirane odeće, koja nije propusna ni za vazduh ni za vodenu paru. Pošto je naš komplet zaštitnog odela veoma porozan, isparenja znoja će se transportovati u okolinu. Brzina protoka vodene pare (dela isparenog znoja) zavisice od relativne vlažnosti u okruženju i brzine vetra. To znači da ćemo uzeti u obzir toplotu Q_3 , koja je potrebna za isparavanje znoja u određenom stanju okruženja.

U jednačini (7.33) temperatura T_{sk*} je temperatura na površini prsa, koja je dovoljno visoka da se praktično sva površina kože prekrije znojem. Ta temperatura je $35 \text{ }^\circ\text{C}$. Kod te temperature je osobi veoma toplo. Uprkos tome, ona može obavljati određenu aktivnost u kontaminiranom okruženju. Do 90 % površine kože je prekriveno znojem (tabela 3-8). Deo omotača tela se smanjio. Verovatno nije veći od 0,1 ukupnog dela tela, odnosno 10% ukupne mase osobe. U tom slučaju prosečna temperatura tela bi iznosila $36,8 \text{ }^\circ\text{C}$, što je gotovo izjednačena temperatura omotača i temperatura jezgra tela, ali znoj isparava sa površine kože. Posledica toga je hlađenje površine kože. Lokalna temperatura na površini kože je niža nego prosečna temperatura tela. Ta razlika omogućava protok toplote prema površini tela. Čak i u slučaju kad je temperatura okoline viša nego temperatura na površini kože, temperatura vazduha, neposredno na površini kože, niža je od prosečne temperature tela i temperature okruženja. Zbog toga je moguć protok toplote sa površine kože, koja ima nižu temperaturu od okruženja na određenoj udaljenosti od površine kože. Za isparavanje određene jedinice mase znoja (vode) potrebna je određena količina toplote. Tu toplotu dobijamo iz tela (telo se hladi) i vazduha neposredno na površini kože, odnosno odeće. Zbog tog se taj vazduh ohladi na nižu temperaturu nego što je prosečna temperatura tela, što omogućava protok toplote iz pregrejanog tela u još toplije okruženje. Taj proces ilustruje slika 7-6.

U tabeli (7-5) izračunata su vremena tolerancije koja važe za uslove hlađenja tela. Kada nema vetra, postiže se ravnoteža između proizvodnje i emitovanja toplote na temperaturi okruženja $15 \text{ }^\circ\text{C}$ i

proizvodnji toplote $600 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{h}$. Kad jednom dostignemo srednju vrednost temperature tela $33,35^\circ\text{C}$, odnosno 32°C , tada se u tim uslovima dalje ne snižava srednja temperatura tela, u takvim uslovima možemo provesti neograničeno vreme. Zbog toga te vrednosti ne spadaju u vremensku toleranciju kako je ona definisana u ovom radu, pošto u tom stanju možemo provesti beskonačno dugo ako se ne menja temperatura okruženja. Ipak, relativno brzo može doći do dehidracije tela.

Kada izračunamo sve vrednosti R_{s1} i R_{s2} za sve temperature i brzine vetra, izračunaćemo i vremena tolerancije za sva ta stanja. U slučajevima kada se telo pregejava pretpostavićemo da su ispunjeni uslovi da se višak toplote oslobodi u okruženje isparavanjem znoja. Osobi je prevruće, ali je ipak makar 60 minuta sposobna obavljati potrebne poslove (aktivnosti).



Slika 7-6: Mehanizam protoka toplote s površine kože u okruženje visokih temperatura; kada isparavanje znoja smanjuje temperaturu na površini kože, koja je niža od temperature okruženja, zbog čega se poveća vreme tolerancije

Tabela 7-5: Vreme tolerancije u satima, za komplet zaštitne odjeće, u zavisnosti od temperature okruženja i brzine vetra pri proizvodnji toplote Q_1 , osobe, koja iznosi 600 kJ/h

Temperatura, $^{\circ}\text{C}$	Brzina vetra, m/s				
	0	5	10	15	20
	Vreme tolerancije u zavisnosti od temperature i brzine vetra, sati				
-20	3,45	1,66	1,05	0,87	0,79
-15	4,45	1,95	1,21	0,99	0,90
-10	6,26	2,37	1,41	1,14	1,04
-5	10,57	3,02	1,69	1,36	1,23
0	25,33	4,16	2,13	1,68	1,50
5	14,13 ¹	6,66	2,87	2,20	1,96
10	2,16 ²	16,21	4,43	3,20	2,80
15	***	44,12	9,87	5,93	4,91
20		27,14 ³	95,31	44,15	21,27

¹ – u tom vremenu se temperatura na površini tela smanji sa 33 $^{\circ}\text{C}$ na 30 $^{\circ}\text{C}$, a srednja temperatura tela sa 36,6 na 33 $^{\circ}\text{C}$; ΔR_{ti} ima vrednost 0,00516 $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{kJ}$.

² – u tom se vremenu temperatura na površini tela smanji sa 33 $^{\circ}\text{C}$ na 32 $^{\circ}\text{C}$ i srednja temperatura tela sa 36,6 $^{\circ}\text{C}$ na 35 $^{\circ}\text{C}$; ΔR_{ti} ima vrednost 0,00258 $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{kJ}$.

³ – u tom vremenu se temperatura kože na površini smanji sa 33 $^{\circ}\text{C}$ na 30 $^{\circ}\text{C}$ i srednja temperatura tela sa 36,6 $^{\circ}\text{C}$ na 32 $^{\circ}\text{C}$; ΔR_{ti} ima vrednost 0,00774 $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{kJ}$.

*** - stanje ugodnosti u kome jednačina (7.31) ima vrednost 0/0, odnosno je beskončna (slika 7-4).

7.4. Jakšićeva metoda izračunavanja vremena tolerancije u diferencijalnom obliku

Metoda izračunavanja vremena tolerancije, koju smo gore prikazali, zasnovana je na diferencijalnim promenama vrednosti pojedinih parametara. Pri tome smo pretpostavili da su promene linearne. Prepostavka o linearnim promenama nije tačna. Uticaj vetra na ukupni toplotni otpor (jednačina 7.24) nije linearen. To važi i za brzinu isparavanja. Takođe je problem i promena toplotnog otpora omotača tela. Jednačine (7.26) i (7.25) ćemo zapisati u diferencijalnom obliku: (7.36); (7.37).

$$dQ_b = dQ_1 - dQ_2 - dQ_3 - dQ_4 \quad (7.36)$$

$$dQ_b = c_b G_b dT \quad (7.37)$$

Takođe ćemo pojedine toplote Q_1 , Q_2 , Q_3 in Q_4 definisati u diferencijalnom obliku:

$$dQ_1 = \frac{T_{avc} - T_{nec}}{R_{sc}} S dt = q_1 S dt; \quad q_1 = \frac{T_{avc} - T_{enc}}{R_{sc}} \quad (7.38)$$

$$dQ_2(T) = \frac{T - T_{en}}{R_s + \Delta R_{ii}(T)} S dt = q_2(T) S dt; \quad q_2(T) = \frac{T - T_{en}}{\Delta R_{ii}(T)} \quad (7.39)$$

$$dQ_3(T) = H_{(T-T_{enc})} c_w \varphi T - \left(a_0 + a_1 \frac{T - T_{en}}{2} + a_2 v \right) S dt = q_3(T) S dt; \quad (7.40)$$

$$q_3(T) = H_{(T-T_{enc})} c_w \varphi \left(a_0 + a_1 \frac{T - T_{en}}{2} + a_2 v \right)$$

$$dQ_4 = \frac{P_a V_K}{R_{da} (273 + T_{en})} [h(T_K) - h(T_{en})] dt = q_4 S dt; \quad (7.41)$$

$$q_4 = \frac{P_a}{R_{da} (273 + T_{en})} \frac{V_K}{S} [h(T_K) - h(T_{en})]$$

$$h(T) = (c_a + x c_w)(T - T_0) + x r \quad (7.42)$$

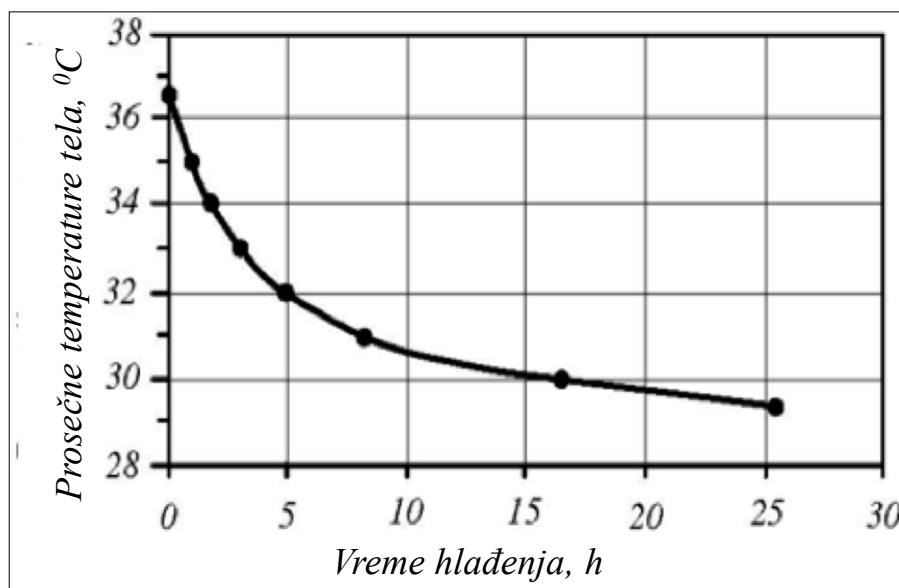
$$\frac{dT}{dt} = \frac{S}{c_b G_b} [q_1 - q_2(T) - q_3(T) - q_4] \quad (7.43)$$

U jednačini (7.43) brzina promene temperature po vremenu je negativna ako se telo hladi, i pozitivna ako se povećava prosečna temperatura korisnika odeće. Diferencijalna jednačina (7.43) omogućava određivanje prosečne temperature tela čoveka u bilo kom vremenu, koje ne prelazi kritične vrednosti intervala prosečnih temperatura tela. Kao što smo već naveli, donja granica (hlađenje) je 29 °C, a gornja granica (zagrevanje) 39 °C. Ukoliko se u tom intervalu postigne ravnoteža između proizvodnje i gubitaka toplote ($dQ_b = 0$), osoba bi u takvom okruženju mogla ostati neodređeno vreme, odnosno vreme je neograničeno. Te vrednosti se odnose na prosečne temperature tela koje znače temperature u zoni ugodnosti.

Toplota Q_3 , koja se potroši za isparavanje znoja, ima veoma važnu ulogu u procesu zagrevanja. Ukoliko su ispunjeni uslovi za dovoljnu brzinu isparavanja znoja, možemo postići ravnotežu pre nego što se prosečna temperatura približi kritičnoj vrednosti. U procesu hlađenja tela, po pravilu tu toplotu možemo zanemariti pošto su gubici toplote zbog isparavanja znoja zanemarljivi. Kao što se vidi iz jednačine (7.40), uvodimo Heaviside funkciju H . Radi ilustracije tog procesa prikazaćemo dijagram hlađenja organizma subjekta u zavisnosti od vremena trajanja hlađenja. Osoba proizvodi toplotu $q_1 = 600 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{h}$; debljina odeće $d_c = 0,00163 \text{ m}$ i koeficijent toplotne provodljivosti $\lambda_0 = 0,135068 \text{ kJ/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$. Takva odeća će u mirnom vremenu omogućiti zonu ugodnosti na oko 15 °C.

Temperatura okruženja $T_{en} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$. Iz dijagrama (slika (7-7)) se vidi, da će se telo subjekta ohladiti na prosečnu temperaturu 29,3 °C za vreme 25,33 sati. To je istovremeno vreme tolerancije. Pretpostavili smo da je osoba bila u zoni ugodnosti pre početka eksperimenta hlađenja. To je samo prva proba upotrebe diferencijalne metode. Stvarne razlike će pokazati daljna istraživanja i poređenja na jednoj

te istoj odeći. Svakako je diferencijalna metoda tačnija nego diferentna. To važi, pre svega, ako promena toplotnog otpora omotača nije linearno zavisna od prosečne temperature tela



Slika 7-7: Ilustracija izračuna vremena tolerancije za osobu koja je obučena u našu zaštitnu odeću u okruženju koje ima temperaturu -20°C

Na slici 7-7 zajedno je prikazan proces hlađenja do telesne temperature 29°C , što je ujedno maksimalna temperatura do koje se telo može ohladiti bez ozbiljnih oštećenja. Tok krivulje je samo prikaz procesa. Telo korisnika odeće u tim uslovima tokom 25 sati dostiže kritičnu temperaturu hlađenja. To je istovremeno i vreme tolerancije.

Literatura

1. Jakšić D. 1975. Uticaj brzine vetra na prenos toplote kroz tekstilne materijale. Tekstil 11, 815–824.
2. Jakšić D. 1975. The method of calculation of the effect of wind on the total thermal resistance of clothing. The Journal of The Textile Institute 66 (3): 129–131.
3. Arhangelskij N. A. 1960: Vazduhopronicaemost tkaney. Cit. po: Kolesnikov P. A. 1965. Teplozaščitnie svojstva odeždi. Moskva, Legkaja industrija: 149.

8. JAKŠIĆEVA METODA UTVRĐIVANJA VELIČINE, BROJA I RASPODELE PORA U RAVNIM TEKSTILNIM PROIZVODIMA

8.1. Uvod

Kod tekstilnih proizvoda uopšteno poznajemo tri vrste pora: pore među nitima osnove i potke ili među nitima u pletenini i tkanini, pore među vlaknima u pređi ili vlaknovini i pore u vlaknu. Sa praktičnog stanovišta najzanimljivije su pore među nitima potke i osnove u tkaninama, odnosno pore među nitima u pletenini kao i pore među vlaknima u vlaknovinama. [1, 2, 3]. Hidraulični promer tih pora (najuži deo kanala pore) je obično veći od 10 μm , odnosno veći od promera najfinijih vlakana. Izuzetak su mikrovlakna. Određivanje poroznosti ravnih tekstilnih proizvoda je posebno značajno ukoliko se oni upotrebljavaju za filtere, šatore i odeću (otpor protoka vazduha i vodene pare).

Do sada je bilo razvijeno više metoda za merenje poroznosti materijala, kao što su: živino-srebrna porozimetrija [4, 5], metode koje se zasnivaju na istiskivanju tečnosti iz pora [6, 7], rendgenografske metode [8, 9], apsorpcijske metode [10, 11] i difuzijska metoda [12]. Neke od njih su pogodne za određivanje poroznosti ravnih tekstilnih proizvoda, ali ne daju dovoljno tačne rezultate za realan sistem, ili onemogućavaju određivanje svih parametara poroznosti koji su zanimljivi za dati primer. Zbog toga smo razvili novu metodu, koja je jednostavna, jeftina i omogućava određivanje većeg broja parametara poroznosti u ravnim tekstilnim proizvodima, a da oni ujedno bitno ne odstupaju od realnih vrednosti.

8.2. Teoretske osnove [13, 14]

Ako ravan tekstilni proizvod potopimo u tekućinu, on će se nakvasiti. Pri tome će tekućina istisnuti vazduh iz njegovih pora. U tekstilnim proizvodima su brojne pore koje povezuju suprotne površine proizvoda. U tkaninama su to uglavnom pore među nitima osnove i potke. U vlaknovinama pore uglavnom imaju neodređen geometrijski oblik. Poprečni presek pora možemo idealizovati kao krug ili pravougaonik. Pretpostavićemo da su pore cilindri koji imaju određen hidraulični prečnik:

$$d = \frac{f}{o} = \frac{2wl}{w+l} \quad (8.1)$$

gde su:

- d - hidraulični prečnik pore,
- w - širina poprečnog preseka pore,
- l - dužina poprečnog preseka pore,
- f - površina poprečnog preseka pore,
- obim poprečnog preseka pore.

Ako je na suprotnim površinama tekstilnog proizvoda razlika pritiska p_i i površinski napon tekućine u porama α , možemo pretpostaviti da će se istisnuti tekućina iz pora, koje imaju hidraulični prečnik d_i . Taj proces možemo opisati poznatom jednačinom

$$d_i \geq \frac{4\alpha}{p_i} \quad (8.2)$$

Ako razliku pritiska merimo vodnim manometrom, važi:

$$p_i = \rho g h_i; \quad d_i \geq \frac{4\alpha}{\rho g h_i} \quad (8.3)$$

gde su:

- d_i - hidraulični prečnik pora u veličinskom razredu i , cm;
- ρ - gustina vode, g/cm³;
- h_i - visina vodenog stuba u cm, odnosno odgovarajući pritisak u Pa.

Najpre se istisne voda iz pora koje imaju najveći hidraulični prečnik. Kroz tu praznu poru će u jedinici vremena proteći određeni volumen vazduha. Uopšteno, možemo zapreminsku brzinu protoka vazduha kroz ravni tekstilni proizvod opisati pomoću sledeće jednačine [8]:

$$V_i = A p_i^b = P a p_i^b = P v_i \quad (8.4)$$

gde su:

- V_i - zapreminska brzina protoka vazduha kroz ravni tekstilni proizvod kod razlike pritiska p_i , cm³/cm².s;
- P - otvorena površina, cm²;
- v_i - linearna brzina protoka vazduha, cm/s.
- p_i - razlika pritiska, Pa.

U idealnom - graničnom slučaju, kada nema gubitaka brzine zbog trenja o zidove pora, važi sledeća zakonitost:

$$v = a_0 p^{b_0} = 1,28 p^{0,5} \quad (8.5)$$

gde su:

- v - linearna brzina protoka vazduha, cm/s;
- p - razlika pritiska, Pa;

- a_0 –granična teoretska vrednost koeficijenta a u jednačini (8.4);
- b_0 –granična vrednost eksponenta b ($b_0 = 0,5$) u jednačini (8.4).

Ako merimo pritisak u cm vodenog stuba, onda je $v = 1265p^{0.5}$. Eksperimentalni rezultati [1], [2], [3] pokazuju, da eksponent b nije veći od 1. To znači da je $0,5 \leq b \leq 1$.

Ukoliko je pri razlici pritisaka p_1 istisnuta voda iz pora d_1 , koje imaju najveći hidraulični prečnik od svih pora u tekstilnom proizvodu, a broj tih pora je n_1 , kroz te pore će u jedinici vremena proteći volumen zraka V_1 :

$$V_1 = \pi a p_1^b \frac{n_1 d_1^2}{4} \quad (8.6)$$

Pod pritiskom p_2 ($p_2 > p_1$) otvoriće se n_2 pora, koje imaju hidraulični prečnik d_2 . Zbog toga će se povećati zapreminska brzina protoka vazduha V_2 u odnosu na V_1 , i to zbog povećanja pritiska i zbog povećanja otvorene površine, kroz koju protiče vazduh:

$$V_2 = \pi a p_2^b \frac{n_1 d_1^2 + n_2 d_2^2}{4} \quad (8.7)$$

Ako povećamo pritisak na p_3 ($p_3 > p_2$), možemo izračunati V_3 po analogiji sa jednačinom (8.7):

$$V_3 = \pi a p_3^b \frac{n_1 d_1^2 + n_2 d_2^2 + n_3 d_3^2}{4} \quad (8.8)$$

Grafička ilustracija povećanja zapreminske brzine protoka je prikazana na slici 8-1. Uopšteno za pritisak p_i možemo izračunati zapreminsku brzinu protoka V_i pomoću sledeće jednačine:

$$V_i = \frac{\pi a p_i^b}{4} \sum_{j=1}^i n_j d_j^2 \quad (8.9)$$

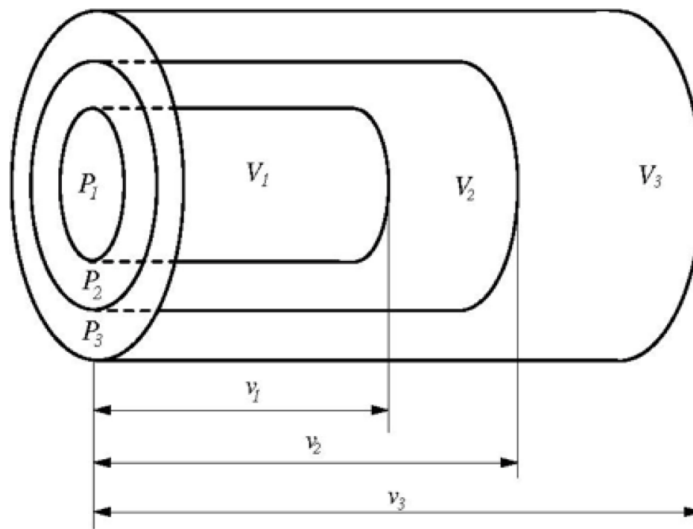
$i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, i.$

Broj pora n_1 , koje imaju hidraulični prečnik d_1 , možemo izračunati iz jednačine 8.10:

$$n_1 = \frac{4V_1}{\pi a p_1^b d_1^2} \quad (8.10)$$

Opšte rešenje za izračunavanje pora u određenom veličinskom razredu možemo dobiti pomoću jednačine (8.9). Za izračun broja pora n_i , koje imaju prečnik d_i , potrebno je izračunati deo volumena V_i^* , koji se odnosi na pore prečnika d_i . Taj deo volumena ćemo označiti sa V_i^* . Ovaj volumen je stvarno razlika između volumena V_i i volumena koji pod pritiskom p_i proteče kroz pore koje imaju hidraulični prečnik od d_1 do d_{i-1} . S obzirom na to možemo volumen V_i^* izraziti pomoću sledeće jednačine:

$$V_i^* = \frac{\pi a p_i^b}{4} \left[\sum_{j=1}^i n_j d_j^2 - \sum_{j=1}^{i-1} n_j d_j^2 \right] \quad (8.11)$$



Slika 8-1: Grafički prikaz parametara jednačina (8.4) do (8.6)

Prvi član na desnoj strani jednačine (8.4) je V_i . Ako želimo drugi član na desnoj strani jednačine (8.11) transformisati u određenu zapreminu, moramo jednačinu (8.11) pomnožiti i deliti sa p_i^b . Dobijamo:

$$V_i^* = p_i^b \left[\frac{V_i}{p_i^b} - \frac{V_{i-1}}{p_{i-1}^b} \right] \quad (8.12)$$

Po analogiji sa jednačinom (8.12) izračunaćemo broj pora n_j , koje imaju hidraulični promer d_j , pomoću sledeće jednačine:

$$n_j = \frac{4V_i^*}{\pi a p_i^b d_j^2} \quad (8.13)$$

Uzimajući u obzir jednačinu (8.13), jednačina (8.12) se može transformisati u sledeći oblik:

$$n_i = \frac{p_i^2}{4a\pi\alpha^2} \left[\frac{V_i}{p_i^b} - \frac{V_{i-1}}{p_{i-1}^b} \right] \quad (8.14)$$

Uzimajući u obzir jednačinu 8.12, i ako indeks j zamenimo indeksom i , jednačinu (8.6) možemo transformisati u sledeći oblik:

$$n_j = \frac{4(p_{i-1}^b V_i - p_i^b V_{i-1})}{\pi a p_{i-1}^b p_i^b d_j^2} \quad (8.15)$$

Popravljeni koeficijent a_j možemo izraziti kao:

$$a_j = 1,28 \frac{n_{cj}}{n_t} = \frac{1,28}{a^*}; \quad a^* = \frac{n_t}{n_{cj}} \quad (8.16)$$

8.3. Postupak merenja zapreminske brzine protoka u zavisnosti od pritiska

Na rotametu izmerimo zapreminsku brzinu protoka vazduha na različitim razlikama pritisaka kroz određenu površinu suvog uzorka (krivulja 1 na slici (8-6) - uzorak a). Iz parova vrednosti p_i i V_i , izračunaćemo koeficijent A i eksponent b (jednačina (8.6)). Koeficijent korelacije je obično veći od 0,98. Potom uzorak potopimo u tekućinu poznate gustine i površinskog napona (na primer destilovana voda ili normalan butil alkohol). Tekućina ne sme biti lako isparljiva i treba imati što manju vrednost koeficijenta površinskog napona. Kada se uzorak potpuno nakvasi (nema vazdušnih mjehurića u njemu), postavimo ga u glavu za merenje u rotametu, polako povećavamo razliku pritisaka dok se ne pojavi prvi mehurić vazduha (istisnuta tekućina iz pore, koja ima najveći hidraulični promer). Očitamo razliku pritisaka i pomoći jednačine (8.2) odnosno (8.3) izračunamo hidraulični promer najveće pore. Potom dalje povećavamo pritisak i očitavamo vrednost pritiska na unapred izabranoj zapreminskoj brzini protoka, ili uključimo crtač (ploter) koji crta krivu zavisnosti zapreminske brzine protoka od pritiska (kriva 2 na slici 8-6 - uzorak a). Merenje završimo kada se krivi 1 i 2 sastave, odnosno veoma približe (tekućina je istisnuta i iz najmanjih pora). Hidraulični promer tih pora je možda izvan područja koji pokriva rotametar i možda nisu ni značajne za područje veličina hidrauličnih promera pora koje istražujemo. Zbog toga nije neophodno da se kriva 1- protok kroz suvi uzorak i kriva 2 - protok kroz nakvašen uzorak, veoma približe na kraju merenja na najvećim pritisacima.

Izmerene parove vrednosti pritisak - zapreminska brzina protoka kroz suvi i nakvašeni uzorak unesemo u računar. Parametre poroznosti izračunavamo pomoću kompjuterskog aplikacijskog programa, koji je razvijen za testiranje te metode [14].

8.4. Postupak izračunavanja broja, veličine i raspodele pora

8.4.1. Broj pora je poznat

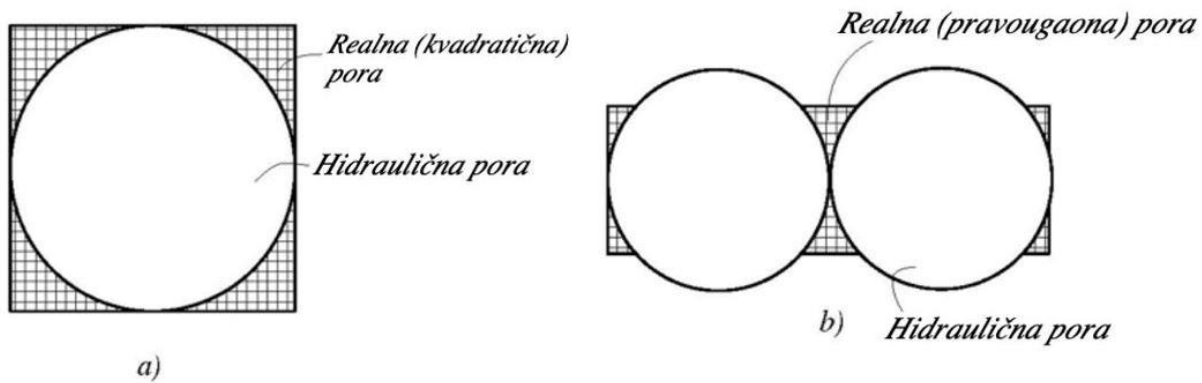
U uzorku može biti poznat broj pora, u tkanini su to pore između niti osnove i potke. Broj pora je jednak proizvodu gustine osnove i potke na 1 cm^2 . Poroznost ravnog tekstilnog proizvoda merimo na jednom cm^2 na 5 do 10 uzoraka. Možemo meriti na manjoj ili većoj površini, zavisno od kapaciteta rotametra (zapreminska brzina protoka vazduha) i manometra (visina vodenog stuba ili manometra koji je zasnovan na drugom načinu merenja pritiska). Uprkos tome što je u tkanini poznat broj pora među nitima osnove i potke, nije obavezno da je broj hidrauličnih pora jednak broju pora. Ako merimo pore na kvadratnoj tkanini (jednaka pređa i gustina u osnovi i potki), koja je tkana u prepletaju platno, onda je presek pora kvadrat a presek hidraulične pore ucrtani krug u tom kvadratu (jednačina (8.1)). U tom slučaju broj hidrauličnih pora je jednak broju pora između niti osnove i potke. Ako je oblik pore pravougaonik i odnos stranica 3:1 ili više, onda su u toj pori dve ili više hidrauličnih pora. Taj slučaj je prikazan na slici 8-2. Ako pora ima oblik kvadrata, slika 8-2a, onda je hidraulični promer pore jednak stranici kvadrata, a površina hidraulične pore jednaka površini ucrtanog kruga (jednačina (8.1)). Ako je odnos stranica, na primer, 60:30 mikrometara, onda je hidraulični promer pore 30 mikrometara. U jednu poru između niti osnove i potke možemo smestiti dve hidraulične pore (slika 8-2b). Pomoću aplikacijskog računarskog programa [14] izračunavamo vrednosti svih parametara poroznosti.

8.4.2. Broj pora nije poznat

Ako broj pora na jedinicu površine nije poznat (vlaknovine, većina pletenina, tkanine izrađene iz predene pređe i slično), nije moguće direktno izračunati pravu vrednost koeficijenta a . To proizilazi iz činjenice da u regresijskoj jednačini (8.4) nisu poznata dva parametra: otvorena površina P i koeficijent a . Poznata je vrednost njihovog proizvoda ($A = a \cdot P$). Uprkos tome, ne možemo formulirati dve nezavisne jednačine. Iz tog proizilazi da imamo jednu jednačinu i dve nepoznate. Jednačina ima beskonačan broj rešenja. Ipak, problem nije nerešiv. Možemo upotrebiti granične vrednosti za linearnu brzinu protoka ($v = a_0 \cdot p^{b_0}$).

Kada smo u računarski program uneli merenja protoka kroz suv i nakvašen uzorak u zavisnosti od pritiska i pretpostavku "roj pora nije poznat" izračunamo maksimalnu teoretsku vrednost koeficijenta a , koji pripada koeficijentu b , koja iznosi 1,28. Zbog toga dobijemo minimalno moguć broj pora. Sa tim smo, takođe, izračunali minimalno moguću otvorenu površinu. Sada uzmemo minimalnu vrednost koeficijenta b ($b_0 = 0,5$). Jer smo utvrdili minimalnu otvorenu površinu povećamo vrednost koeficijenta a^* , koji pripada eksponentu b , koji ima vrednost 0,5, da zadovoljimo merenim parovima vrednosti V_i i p_i , kao i ranije izračunatoj minimalnoj otvorenoj površini. Pretpostavimo da je režim protoka vazduha laminaran (može biti turbulentnog, laminarnog ili mešan), kroz suv i nakvašen uzorak jednak na jednakom pritisku. Ova pretpostavka je dokazana rezultatima testiranja metode (tabela 6-10). To nam omogućava, da u jednačini (8.15) upotrebimo eksponent b , koga smo izračunali pomoću eksponentne regresijske jednačine (8.4).

Izračunamo takođe koeficijent a^* , koji pripada eksponentu b_0 . On ima veću vrednost od 1,28, što je više nego je maksimalna teoretska vrednost. Kako se vidi iz jednačine (8.16), to je istovremeno odnos između stvarnog broja pora i najmanjeg mogućeg broja pora, koga smo dobili tako što smo koeficijentu a_j odredili najveću teoretsku vrednost.



Slika 8-2: Uticaj oblika pore među nitima osnove i potke na broj hidrauličnih pora u posmatranoj pori

Jedna od osobina jednačine (8.15) je ta da vrednost koeficijenta a ne utiče na prosečni hidraulični promer pora. Koeficijent, a je vrednost 1,28. Izračunamo i koeficijent a^* , koji pripada eksponentu b_0 . On je po pravilu veći od 1,28. Izračunamo najveći pritisak, na kome još postoje pore. Sav postupak detaljno je opisan u samom program [14].

8.5. Testiranje metode

8.5.1. Probni uzorci

Testirali smo veći broj uzoraka. Ovde ćemo prikazati samo četiri uzorka, koji su reprezentativni za većinu tkanina, primerenih za testiranje metode:

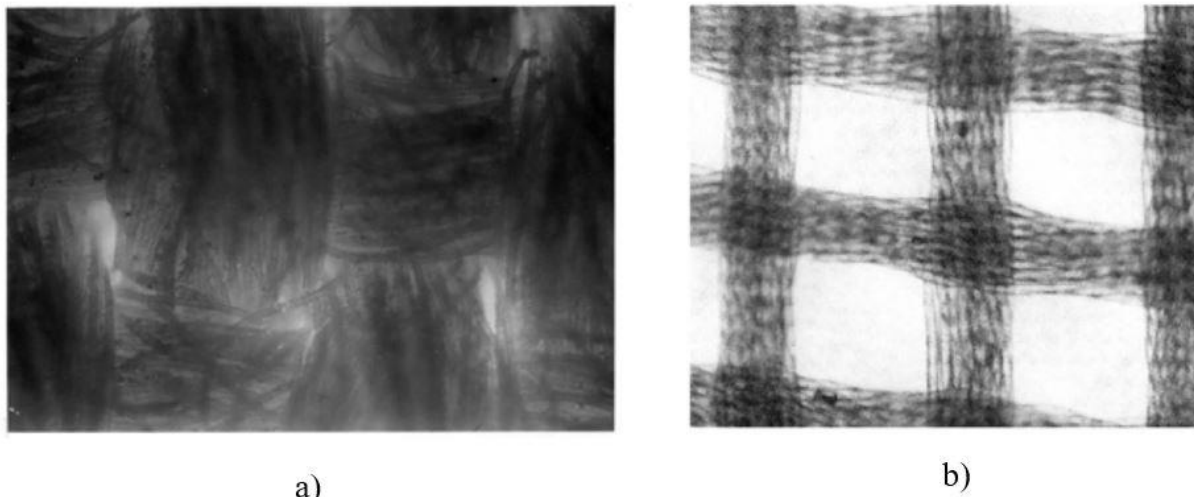
- pamučna tkanina, tkana u prepletaju platno (uzorak a));
- multifilamentna tkanina (uzorak b));
- gusta monofilamentna tkanina (uzorak c));
- veoma gusta monofilamentna tkanina (uzorak d)).

8.5.1.1.b. Prvi uzorak a), slika 8-3a):

Pamučna tkanina, tkana u prepletaju platno, koja pokriva područje ravnih tekstilija, u kojoj broj pora nije poznat, jer vlakna koja strše dele poru između niti osnove i potke u veći broj pora, koje imaju manji hidraulični promer, nego što bi ih imala pora bez stršećih vlakana.

8.5.1.1.c. Drugi uzorak b), slika 8-3b):

Ta tkanina je izrađena iz multifilamentne pređe. Ona ima približno kvadratne pore koje imaju prosečan hidraulični promer oko 200 mikrometara.



Slika 8-3: Izgled testiranih uzoraka: a) - pamučna tkanina, i b) multifilamentna tkanina

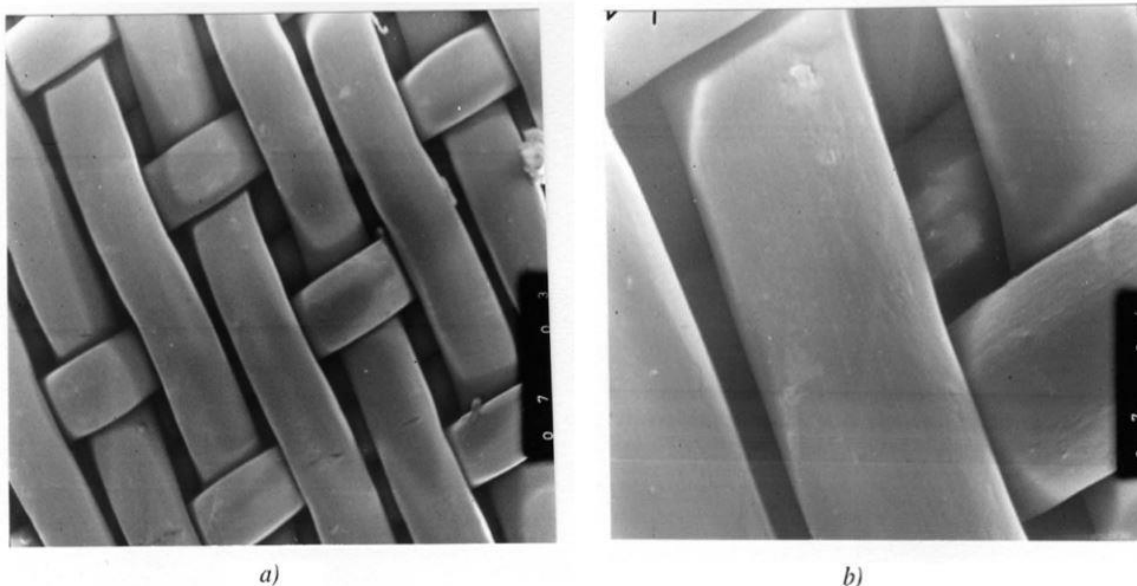
8.5.1.1.d. Treći uzorak c), slika 8-4a) i slika 8-4b):

Tkanina (uzorak a) i b)) slika 8-4 (povećanje 63 i 190 puta) i slika 8-5, (uzorak a) i b), povećanje 190 i 630 puta) gusta je monofilamentna tkanina. Kod te tkanine nije moguće izmeriti hidraulične promere pora pomoću običnog svetlosnog mikroskopa. Tkanina je u 5- veznom atlasu. Potrebno je veće uvećanje koje nam omogućava scanning elektronski mikroskop.

8.5.1.1.e. Četvrti uzorak (slika nije prikazana):

Tkanina je veoma gusta, istkana iz monofilamentne pređe. Ta tkanina je dokaz da je moguće metodu upotrebiti i na tkaninama koje imaju manji hidraulični promer od 20 mikrometara. Osnovni parametri su prikazani u tabeli (8-1).

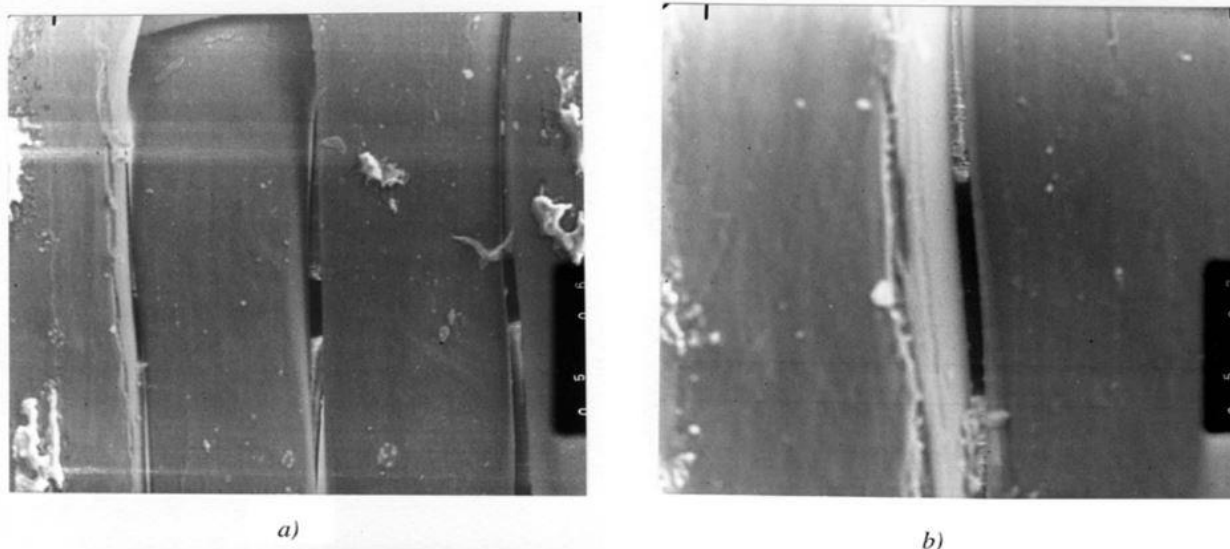
Kao što vidimo na slici (8-3a), vidi se nekoliko pora. Na levoj i desnoj strani slike su pore duguljaste, što znači da su u svakoj pori verovatno dve ili više hidrauličnih pora. Pora u donjem srednjem delu slike je potpuno „zamrežena”. Možemo definisati makar tri pore. Zbog takvog stanja vlakana u pređi, a sa tim i u tkanini, stvarni broj hidrauličnih pora u njoj nije poznat. Multifilamentna tkanina, koja je prikazana na slici (8-3b), ima dve grupe pora. Prvu grupu čine pore između niti osnove i potke. Ova grupa ima prosečan hidraulični promer oko 200 μm . U vrhu oko srednje niti osnove se vidi monofilament koji je odmaknut od gornje potke. Pored toga se vide pore između multifilamentnih niti osnove i potke.



Slika 8-4: Veoma gusta monofilamentna tkanina (uzorak c), povećanje: a) 63 puta i b) 190 puta

Ove pore čine drugu grupu pora. Njih je veoma veliki broj i nismo ih uzeli u obzir prilikom testiranja metode. Na slici (8-4) i (8-5) prikazana je tkanina izrađena od monofilamentne pređe. Uprkos uvećanju od 63 do 190 puta, nije moguće videti pore između niti osnove i potke.

To je moguće videti na slici (8-5), gde je uvećanje 630 puta. Na slici (8-5b) (uvećanje 630 puta) vidi se da je pora veoma duguljasta. Odnos između strana pravougaonika je približno 1:6. Iz tog odnosa možemo zaključiti da u toj tkanini ima mnogo više hidrauličnih pora, nego što je broj pora između niti osnove i potke.



Slika 8-5: Veoma gusta monofilamentna tkanina (uzorak c) sa velikim uvećanjem; a) uvećanje 190 puta i b) 630 puta

Četvrti uzorak (u tabeli 8-1, uzorak *d*) ima jednaku gustinu po osnovi i potki. Zbog toga pore imaju kvadratni presek i broj hidrauličnih pora je jednak broju pora između niti osnove i potke. U uzorku *a*), slika (8-3a), pamučna tkanina, oko 45 % pora ima hidraulični promer oko 30 mikrometara. Nekoliko pora ima hidraulični promer oko 150 mikrometara. Raspon je veoma veliki. Uzorak *c*) u tabeli 8-1), (slika 8-4 i 8-5 - treći uzorak), u upoređenju sa prva dva uzorka, ima mnogo užih interval sipanja veličina hidrauličnih promera pora. Najveći deo pora ima hidraulični promer oko 17 mikrometara. Ovde 12% pora ima hidraulični promer oko 45 mikrometara. Unutra je minimum na oko 35 mikrometara, što znači da su u tom uzorku dve grupe pora s obzirom na veličinu hidrauličnog promera. Kao što se vidi sa slike (8-3b) u uzorku je oko 60% pora koje imaju hidraulični promer oko 20 mikrometara. To su stvarno pore između monofilamenata. Kao što smo već naveli, njih nismo uzimali u obzir prilikom testiranja metode. Uzeli smo samo pore između niti osnove i potke. Prosečan hidraulični promer tih pora je 200 mikrometara. Na slici (8-3b) (uzorak *b*) u tabeli 8-1) takođe se vide otvori među monofilamentima u multifilamentnoj pređi. Takođe, na slici 8-5 (uzorak *c*) u tabeli 8-1, jasno se vide dva područja u kojima su pore.

8.5.2. Rezultati testiranja metode

Tabela 8-1: Tkanine koje su upotrebljene za testiranje metode

<i>Uzorak</i>	<i>Opis uzorka</i>	<i>Interval merenja, μm</i>	<i>Broj pora na 1 cm^2</i>	<i>Gustina osnova/potka</i>
<i>a)</i>	<i>Pamučna tkanina</i>	160 – 20	452	22/21
<i>b)</i>	<i>Monofilamentna tkanina</i>	270 - 140	960	32/30
<i>c)</i>	<i>Gusta multifilamentna tkanina</i>	80 - 10	2.200	55/40
<i>d)</i>	<i>Veoma gusta monofilamentna tkanina</i>	24 - 12	32.400	180/180

Tabela 8-2: Uzorak a) - pamučna tkanina

<i>Suva merenja</i>			<i>Mokra merenja</i>		
<i>Redni broj</i>	<i>Pritisak, cmVS</i>	<i>Protok, l/h</i>	<i>Redni broj</i>	<i>Pritisak, cmVS</i>	<i>Protok, l/h</i>
1	1,0	60	1	6,8	60
2	1,6	150	2	7,2	150
3	1,8	200	3	7,6	200
4	2,2	250	4	8,0	250
5	2,6	300	5	9,2	300
6	3,2	400	6	10,6	400
7	4,2	500	7	12,1	500
8	5,2	600	8	14,0	600
9	6,4	700	9	15,8	700
10	8,6	800	10	17,6	800
11	10,6	900	11	18,4	900
12	11,8	1000	12	20,8	1000
13	15,4	1200	13	24,0	1200
14	18,8	1400	14	28,0	1400
15	25,4	1600	15	32,6	1600
16	31,4	1800	16	35,6	1800
17	37,8	2000	17	40,0	2000
18	42,6	2200	18	45,8	2200
19	50,0	2400	19	52,0	2400
20	60,4	2600	20	62,6	2600
21	70,2	2800	21	71,2	2800
22	80,0	3000	22	80,6	3000

Tabela 8-3: Uzorak b)- monofilamentna tkanina

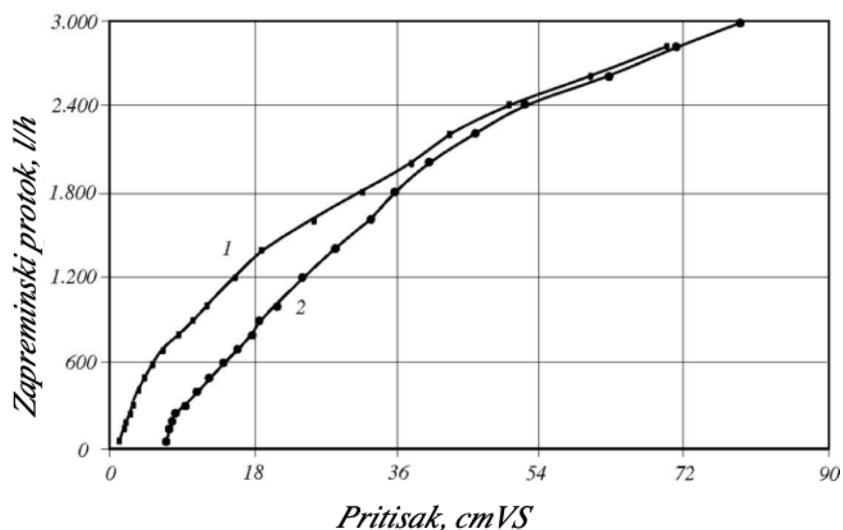
<i>Suva merenja</i>			<i>Mokra merenja</i>		
<i>Redni broj</i>	<i>Pritisak, cmVS</i>	<i>Protok l/h</i>	<i>Redni broj</i>	<i>Pritisak, cmVS</i>	<i>Protok, l/h</i>
1	1,4	200	1	4,2	200
2	2,0	300	2	5,0	300
3	2,6	400	3	5,2	400
4	3,2	500	4	5,4	500
5	4,0	600	5	5,9	600
6	5,0	700	6	6,5	700
7	6,0	800	7	7,2	800
8	7,2	900	8	8,0	900
9	8,4	1000	9	10,2	1000
10	11,2	1200	10	13,6	1200
11	15,2	1400	11	17,4	1400
12	19,2	1600	12	23,4	1600
13	22,8	1800	13	27,0	1800
14	27,2	2000	14	32,1	2000
15	33,8	2200	15	36,6	2200
16	39,2	2400	16	40,6	2400
17	46,4	2600	17	46,8	2600
18	52,8	2800	18	53,6	2800
19	60,2	3000	19	60,6	3000

Tabela 8-4: Uzorak c) - gusta multifilamentna tkanina

<i>Suva merenja</i>			<i>Mokra merenja</i>		
<i>Redni broj.</i>	<i>Pritisak Pa</i>	<i>Protok, cm³/cm².s</i>	<i>Redni broj</i>	<i>Pritisak, Pa</i>	<i>Protok, cm³/cm².s</i>
<i>1</i>	182	14	<i>1</i>	1479	4,1
<i>2</i>	216	29	<i>2</i>	1661	16
<i>3</i>	333	43	<i>3</i>	1861	30
<i>4</i>	451	59	<i>4</i>	1961	42
<i>5</i>	565	73	<i>5</i>	2028	57
<i>6</i>	865	85	<i>6</i>	2143	71
<i>7</i>	1345	113	<i>7</i>	2292	86
<i>8</i>	1879	143	<i>8</i>	2859	113
<i>9</i>	2492	170	<i>9</i>	3340	141
<i>10</i>	3147	196	<i>10</i>	4404	195
<i>11</i>	3938	226	<i>11</i>	5036	221
<i>12</i>	4936	255	<i>12</i>	5683	251
<i>13</i>	5616	281	<i>13</i>	6879	282
<i>14</i>	7795	333	<i>14</i>	8758	333
<i>15</i>	9938	392	<i>15</i>	10901	390
<i>16</i>	11135	414	<i>16</i>	12082	414

Tabela 8-5: Uzorak d) – veoma gusta monofilamenta tkanina

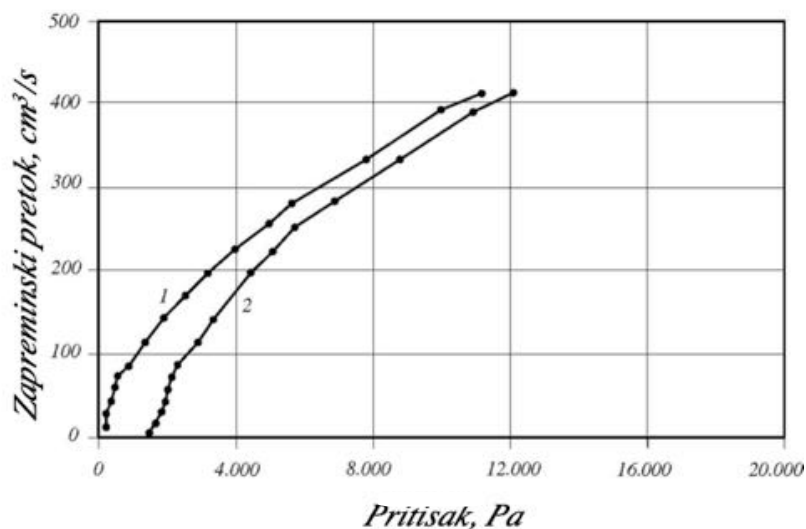
Rezultati merenja na suvim uzorcima			Rezultati merenja na mokrim uzorcima		
Redni broj	Pritisak, cmVS	Protok, cm ³ /s	Redni broj	Pritisak, cmVS	Protok, cm ³ /s
1	0,52	13,89	1	42,26	0,1
2	1,06	27,78	2	43	0,5
3	1,46	41,67	3	44	1
4	1,92	55,56	4	45	2
5	2,74	69,44	5	47	3
6	3,34	83,33	6	48,54	5,56
7	4,54	111,11	7	49,4	16,67
8	6	138,89	8	52,06	554
9	7,2	166,67	9	52,5	555,56
10	8,74	194,44	10	53,5	560
11	10,66	222,22	11	53,8	563
12	12,78	250	12	54	567
13	14,98	277,78	13	54,5	575
14	19,38	333,33	14	55	580
15	24,46	388,89	15	59,66	611,11
16	30,06	444,44	16	67,34	666,67
17	36,32	500	17	76,74	722,22
18	43,06	555,56	18	87,4	777,78
19	50,86	611,11	19	99,14	833,33
20	59,72	666,67	20	-	-
21	69,32	722,22	21	-	-
22	79,12	777,78	22	-	-
23	89,46	833,33	23	-	-



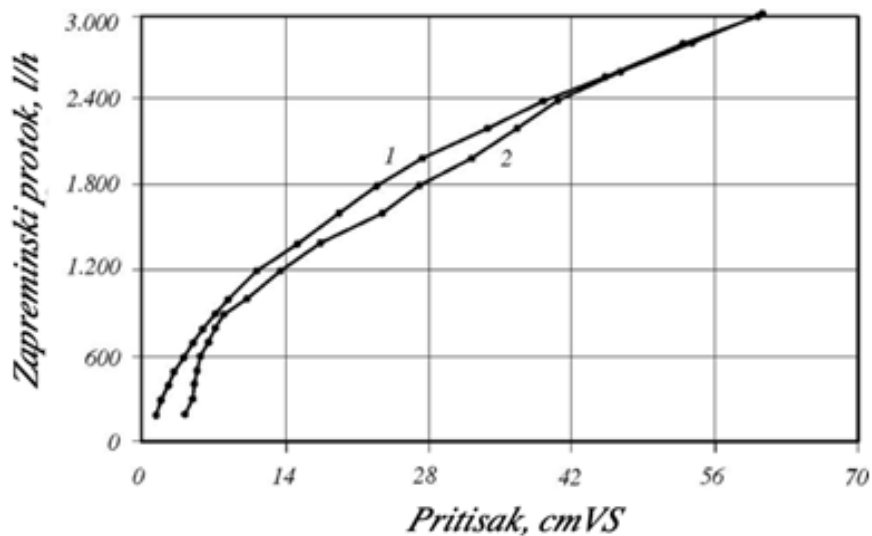
Slika 8-6: Dijagram zavisnosti brzine protoka vazduha od razlike pritisa za uzorak a)

Prvo područje (uzorak c), slika (8-7) levo je na dijagramu i odnosi se na pore koje su između monofilamenta u nitima osnove i potke. Drugo područje je više na sredini dijagrama i odnosi se na pore među monofilamentima koji su odmaknuti dalje od multifilamentne pređe. Treće područje (desno) su pore između niti osnove i potke.

U uzorku d) su praktično sve pore skoncentrisane u intervalu između 18 i 19 mikrometara. Na to takođe ukazuje krivulja 2 na slici (8-8) i raspored pora - slika (8-12). Ova veoma gusta tkanina ima 32.400 pora/cm².

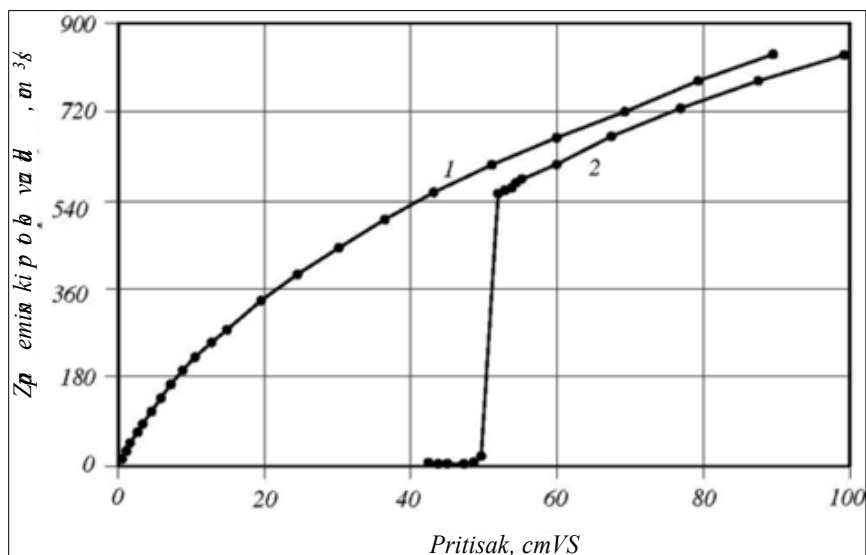


Slika 8-7: Dijagram zavisnosti brzine protoka vazduha od razlike pritisa za uzorak b)
1 - protok vazduha kroz suv uzorak; 2 - protok vazduha kroz uzorak namočen n-butanolom



Slika 8-8: Dijagram zavisnosti brzine protoka vazduha od razlike pritiska za uzorak c)
 1 - protok vazduha kroz suv uzorak; 2 - protok vazduha kroz uzorak namočen sa n-butanolom

U tabeli 8-6 su sumarno prikazani parametri poroznosti. U prvom delu tabele su prikazane vrednosti



Slika 8-9: Dijagram zavisnosti brzine protoka vazduha od razlike pritiska za uzorak d)
 1 - protok vazduha kroz suv uzorak; 2 - protok vazduha kroz uzorak namočen sa n-butanolom

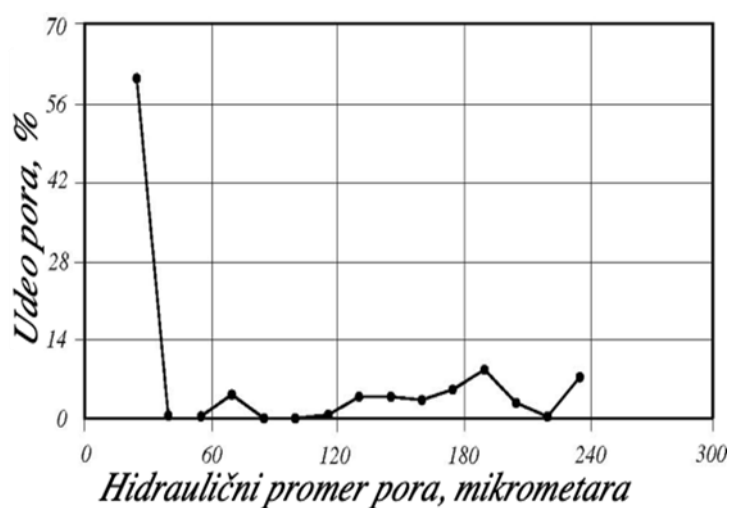
parametara poroznosti u slučaju kada je broj pora poznat; u programu je aktivirana prva procedura. U drugom delu tabele su prikazane vrednosti parametara poroznosti uzoraka a) i b) kod kojih je velika vrednost graničnog koeficijenta a_0 , u uzorku a) je previsoka vrednost koeficijenta a_0 posledica podele pora između niti osnove i potke na veći broj pora koji imaju manji hidraulični promer (pamučna tkanina). U slučaju uzorka b) je previsoka vrednost koeficijenta a_0 posledica oblika pora. Pojedine pore imaju čak više od 6 puta veću dužinu nego širinu pore. Zbog toga je broj hidrauličnih pora veći nego broj pora između niti osnove i potke. Dokaz za tu tvrdnju su rezultati merenja dužine i širine pora koji su prikazani u tabeli 8-7.



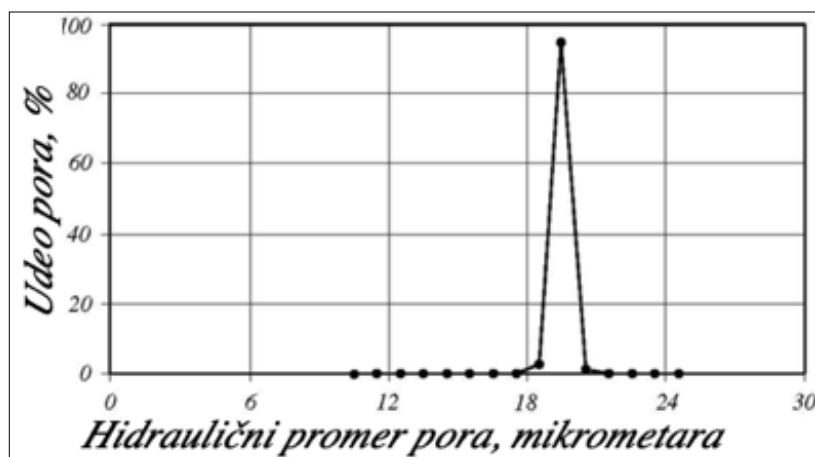
Slika 8-11: Dijagram raspodele pora u uzorku a)



Slika 8-10: Diagram raspodele pora u uzorku b)



Slika 8-12: Diagram raspodele pora u uzorku c)



Slika 8-13: Dijagram raspodele pora u uzorku d)

Tabela 8-6: Vrednosti parametara poroznosti testnih tkanina

Postupak testiranja	Parametar	Uzorak			
		a)	b)	c)	d)
Vrednosti parametara poroznosti, kad je broj pora poznat (prva procedura)	b	0,5794	0,8329	0,6647	0,7174
	h (μm)	14	13	10	2
	m	10	10	7	7
	n_i	452*	960	2.200	32.400
	d (μm)	45,04	200,45	31,37	18,84
	d (μm)	53**	199	30	18,78
	P (%)	0,98	31,32	2,07	9,06
	P_t (%)	1,00**	29,81	3,43	8,98
Vrednosti parametara poroznosti, kad broj pora nije poznat (druga procedura)	a_0	9,4074	0,2800	2,7832	0,8791
	d_j (μm)	45,00	-	31,35	-
	P_t (%)	6,96	-	3,87	-
	n_i	3.314	-	4,115	-
	a_0	1,28	-	1,28	-

Parametri u tabeli 8-6 znače:

- b – eksponent iz jednačine (8.4);
- h [μm] – širina intervala, u kome su raspoređene veličine hidrauličnih promera pora;
- m – broj veličinskih razreda raspodele pora

- n_t – stvarni broj pora među nitima osnove i potke na cm^2 (produkt gustine niti po osnovi i gustine po potki na 1 cm širine odnosno dužine tkanine; prva procedura - broj pora je poznat);
- n_1 – izračunati broj hidrauličnih pora među nitima osnove i potke na 1 cm^2 , kada broj pora (ili broj hidrauličnih pora) nije poznat (druga procedura - broj pora nije poznat);
- d – prosečni hidraulični promer pora
- d_t – realni, optički izmeren prosečni hidraulični promer pora za uzorke b), c) i d); pore u uzorku a) su slabo definisane;
- P [%] - prosečna otvorena hidraulična površina za protok fluida;
- P_1 – prosečna otvorena hidraulična površina za protok fluida (druga procedura);
- P_t – prosečna otvorena hidraulična površina, koja je izračunata na osnovu optičkih merenja veličine pora;
- a_0 – koeficijent a jednačina (8.5) pod pretpostavkom da eksponent b ima minimalnu vrednost ($b = 0,5$).
- broj pora, koji smo dobili na osnovu produkta gustina osnove i potke;
- ovaj prosečni hidraulični promer se odnosi na 452 pore među nitima osnove i potke s tim da je u svakoj pori, među nitima osnove i potke, uzeta u obzir samo jedna tipična pora.

U tabeli 8-7 su prikazane dimenzije 50 pora u uzorku c). Iz daljnje analize tih rezultata možemo ustanoviti da važi pretpostavka da u jednoj pori između niti osnove i potke mogu biti dvije ili više hidrauličnih pora. Broj pora među nitima osnove i potke u uzorku c) je 2.200 (prva procedura).

Korigovani broj pora (druga procedura) je 4.115 što je približno 2-put više. Vrednost koeficijenta a_0 , koga smo izračunali po prvoj proceduri je 2,7872, što je mnogo više od maksimalne teoretske vrednosti. Nakon korekcije (druga procedura) njegova vrednost je 1,28, što je maksimum. Po drugoj strani odnos među dužinom pore i poprečnim hidrauličnim promerom je 2,50. Ako uzmemo u obzir tu činjenicu, možemo zaključiti da su u jednoj pori između niti osnove i potke u proseku bar dve hidraulične pore. To se dobro podudara sa korigovanim brojem pora. Pri tome moramo uzeti u obzir da je samo 50 pora bilo izmereno, ili 2,3 % svih pora na 1 cm^2 između niti osnove i potke. Kao što se vidi iz tabele (8-7), sipanje rezultata je izvanredno veliko. Minimalna vrednost l/d_1 je 1,04 a maksimalna 6,84. Minimalna vrednost predstavlja kvadratnu poru, u kojoj je samo jedna hidraulična pora. Maksimalna vrednost predstavlja poru u kojoj je moguće postaviti više od 2 hidraulične pore, koje imaju prosečan hidraulični promer.

8.5.3. Rasprava o metodi

Zašto rasprava o metodi a ne o rezultatima. Rasprava o metodi može biti kompleksnija nego rasprava o nekoliko rezultata, koji su predstavljeni u ovoj knjizi. Prilikom razvoja metode osnovnu ulogu je imala intuicija. Ako izuzmemo dobro poznate jednačine (8.1) do (8.5), sve druge su daleko od hidrodinamike, koja je bila razvijena pretežno u 19. i prvoj polovini 20. stoleća. Nauka kao i tehnika se razvijaju evolucijski, što znači nadograđivanje i produbljivanje već dostignutog. U pravilu se uvek negde počne (Arhimedova spirala, Pitagorina teorema, Mendeljejev sistem elemenata, sferna geometrija Lobačevskog, Bulova algebra i tako dalje).

Pre nego što smo se latili razvoja „Metode za određivanje parametara poroznosti u ravnim tekstilijama,” već su postojale brojne metode za određivanje poroznosti materijala i proizvoda. Ipak, nijedna nije bila dovoljno odgovarajuća za određivanje poroznosti ravnih tekstilija. Autori su izabrali svoj put i pokušali rešiti problem određivanja poroznosti ravnih tekstilija na drugi način. Pri tome su upotreбили poznatu graničnu jednačinu iz aerodinamike ($V = 4h^{0.5}$), što se pokazalo kao veliki sistemski nedostatak. To je jedan od primera pogrešne upotrebe rezultata postojeće teorije. Vremenom je metoda bila modifikovana tako da je za brzinu protoka fluida (vazduha) upotrebljeno opšte rešenje ($V = ah^b$). Modifikovana metoda je dala rezultate koji su se dobro podudarali sa eksperimentalnim rezultatima, koje su dala merenja na optičkom mikroskopu i na skening elektronskom mikroskopu. Podudaranje je posebno bilo dobro kod uzoraka tkanina koje su imale dobro definisane pore između niti osnovne i potke i poprečni hidraulični promer pora bio je manji od 100 μm . U tim slučajevima je takođe bila viša vrednost eksponenta b , koja se kretala između 0,7 i 0,85. U veoma gustim tkaninama se zaista vrednost eksponenta b približava vrednosti 1. To važi za protok kroz suv uzorak.

Tabela 8-7: Rezultati merenja dimenzija pedeset pora na fotografijama uzorka c), koje su bile fotografisane na scanning elektronskom mikroskopu na uvećanju do 640-puta

Statistički parameter	w [μm]	l [μm]	dt [μm]	$Preal (w*l)$ [μm^2]	$Phidr$ [μm^2]	l/dt
Srednja vrednost	20,13	66,06	30,00	1.364,67	786,29	2,50
Standardna devijacija	7,77	13,75	10,19	664,13	461,38	1,19
Minimum	4,76	23,81	8,82	287,12	61,07	1,04
Maksimum	34,92	87,30	46,91	2.519,68	1.727,43	6,84
Zbir	-	-	-	68.233,43	39.314,56	-

Pošto nema druge mogućnosti, u obzir je bila uzeta vrednost eksponenta b koju smo dobili kod regresijske krivulje suvog protoka, pri računanju broja pora u određenim veličinskim razredima na osnovu merenja protoka kroz namočen uzorak. Pošto je u nakvašenom uzorku pri određenom pritisku otvoren deo pora, koje imaju određen hidraulični promer, a pore koje imaju manji hidraulični promer na posmatranom pritisku su još uvek ispunjene tečnošću, bilo je za očekivati,

(obzirom da je pritisak bio niži od potrebnog za istiskivanje tečnosti iz pora koje imaju manji hidraulični promer) da su uslovi protoka nešto drugačiji. Kod suvog uzorka su sve pore otvorene za protok bez obzira na veličinu hidrauličnih promera.

Pošto unapred ne znamo gde su najmanje pore, u našem slučaju između niti osnovne i potke, moramo to najpre izmeriti i na osnovu toga korigovati intervale merenja protoka kroz suv uzorak tako da uzmemo u obzir gornju granicu intervala merenja samo do pritiska, kod koga smo još ustanovili postojanje pora (pore koje imaju najmanji hidraulični promer).

Eksponent b , koga smo izračunali za korigovani interval merenja protoka vazduha kroz suvi uzorak, upotrebljavamo prilikom računanja broja pora na osnovu rezultata merenja kroz nakvašen uzorak. Pri tome smo pretpostavili da je jednak režim protoka (laminaran, turbulentan ili mešan) kroz suv i

nakvašen uzorak pri jednakom pritisku. Ako ta pretpostavka važi, onda ćemo upotrebiti stvarnu vrednost eksponenta b , a ne srednju vrednosti između b i 1. Nije posebno teško postaviti određenu hipotezu. Ipak, ona mora imati jasnu teoretsku podlogu i, što je još važnije, hipoteza (pretpostavka) mora biti potvrđena eksperimentalnim rezultatima.

U jednačini (8.4) ne znamo vrednosti parametara a i P . Poznat je samo njihov proizvod A . Prilikom računanja broja pora u određenom veličinskom razredu, kada je broj pora poznat, izaberemo vrednost koeficijenta a , koji nam daje poznati broj pora. To znači da vrednost koeficijenta a utiče na broj pora. Sa druge strane vrednost eksponenta b utiče na vrednost prosečnog hidrauličnog promera pora. Uzimajući u obzir veličinu pora između niti osnove i potke, smemo pretpostaviti da je protok vazduha kroz pore laminaran.

Kriterij za ocenu protoka je Rejnoldsov broj Re ($Re = \rho u d / \mu$), gde su: ρ – gustina fluida, u – brzina fluida, d – unutarnji promer pore, μ – dinamična viskoznost fluida (kinetična viskoznost ($\nu = \mu / \rho$)). Pod terminom fluid podrazumevamo plinove i tekućine. Ako je njegova vrednost veća od 2.000, protok je turbulentan. Kod manjih vrednosti je laminaran. Postoji takođe i međuprostor, koji nije potpuno definisan. Pošto je kinematička viskoznost vazduha $1,48 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ i promeri pora su $d = 10^{-5} \text{ m}$ do 10^{-4} m , brzina vazduha bi morala biti oko 3.000 m/s, da bismo postigli turbulentno kretanje vazduha kroz pore. To je, naravno, praktično nedostižna brzina.

Re je upravo proporcionalan produktu linearne brzine protoka vazduha i promera pora i obratno proporcionalan kinetičkoj viskoznosti vazduha. Ako uzmemo maksimalnu moguću brzinu protoka vazduha kroz pore (jednačina (8.5.)) na pritisku 9,80665 kPa (1.000 mmVS), dobićemo vrednost 126 m/s. Pod tim pritiskom bi se otvorile pore, koje imaju hidraulični promer oko 30 mikrometara i veći, pod uslovom da je tkanina namočena vodom. Kao što vidimo, taj pritisak je dovoljan za naše testiranje. Ako je viši, otvoriće se manje pore. Zbog toga ne bi bitno uticao na povećanje vrednosti Re . Pod tim uslovima bi bile sledeće vrednosti Re kod naših uzoraka: uzorak a) - 383, uzorak b) - 267, uzorak c) - 1.706 in uzorak d) - 160. Kod posmatranih uzoraka su stvarne linearne brzine mnogo manje od 126 m/s. Iz toga proizilazi da je protok kroz posmatrane uzorke laminaran.

Ako je protok laminaran, onda je linearna brzina protoka vazduha jednaka kod istog pritiska kroz suv i nakvašen uzorak. Razlika može biti u zapreminskoj brzini protoka ako na posmatranom pritisku nisu sve pore otvorene (nije iz svih pora istisnuta tečnost). U početnoj fazi merenja protoka kroz namočen uzorak otvaraju se najveće pore i njihov prosečni hidraulični promer je veći, nego što je prosečni hidraulični promer svih pora u tkanini, što je ujedno prosečan hidraulični promer pora u suvom uzorku. Ipak se otvaraju pore u nekim početnim razredima na nižem pritisku nego što je pritisak potreban za otvaranje pora u veličinskom razredu, koji znači prosek svih hidrauličnih pora osim u slučaju kada postoji malo sipanje veličine pora, koje su samo u nekoliko veličinskih razreda.

Primerenije je ako brzinu posmatramo na pritiscima potrebnim za istiskivanje tečnosti iz pora koje imaju jednaku vrednost, kao što je vrednost proseka pora. Pored toga smo u gornjem primeru upotrebili vodu, koja ima površinski napon 72 dyn/cm (0,072 cN/cm). U stvarnosti upotrebljavamo n-butil alkohol koji ima približno tri puta manji površinski napon- 25 dyn/cm (0,025 cN/cm). U tom slučaju bi imali sledeće vrednosti Re ; uzorak - a): 18,2, uzorak b) - 15,3, uzorak c) - 38,7 in uzorak d) - 11,9. To su interesantne vrednosti u poređenju sa 2.000, što je granična vrednost između

laminarnog i turbulentnog kretanje vazduha. Ranije navedenu pretpostavku o jednakom režimu protoka vazduha kroz suv i nakvašen uzorak (ako je tečnost istisnuta iz svih pora) mogli bismo dopuniti tako da važi sledeća pretpostavka: „Linearna brzina protoka vazduha kroz suv i nakvašen uzorak je jednaka pri jednakom pritisku”.

Literatura

1. Jakšić D. 1978. Razvoj nove metode za ugotavljanje števila, velikosti in porazdelitve por v tekstilnih izdelkih. Ljubljana, VTOZD Tekstilna tehnologija: 140 str.
2. Arhangeljskij N. A. 1960. Vozduhopronicaernost tkanej. Ekspluatacionye svojstva tkanej i sovremennije metody ih ocenki. Moskva, Rostehizdat: 376–412.
3. Jakšić D. 1982. Projektiranje odeće. Zbornik radova plenarnih i sekcijских predavanja. Beograd, II. Jugoslovenski simpozijum o hemiji i tehnologiji vlakana i tekstila: 245–256.
4. Washburn E. W. 1921. Note on a Method of Determining the Distribution of Pore Sizes in a Porous Material. Proceedings of the National Academy of Science of the USA 7(4): 115–116.
5. Ritter H. L., Drake L. C. 1945. Macropore-size distributions in some typical porous substances. Industrial & Engineering Chemistry Analytical 17: 782.
6. Childs E.C., Collis-George N. 1950. The permeability of porous materials. Proceedings of the Royal Society A 201(1066): 393 str.
7. Ritter H. L., Erich L. C. 1948. Pore size distribution in porous materials. Analytical Chemistry 20 (7): 665–670.
8. Shull C. G., Roess L. C. 1947. X-ray scattering at small angles by finely-divided solids. I. General approximate theory and applications. Journal of Applied Physics 18(3): 295.
9. Barrett E. P., Joyner, L. G., Halenda P. P. 1951. The determination of pore volume and area distributions in porous substances. I. Computations from nitrogen isotherms. Journal of the American Chemical Society 73(1): 373–380.
10. Ternana M., Fuler O. M. 1973. On the determination of pore size from nitrogen adsorption measurements. The Canadian Journal of Chemical Engineering 51(1): 106–110.
11. Felch D. E., Shuck F. O. 1971. Determination of Pore-Size Distribution in Porous Materials. Test of a Proposed Method. Industrial Engineering Chemistry Fundamentals 10(2): 299–303.
12. Torquato S., Avellaneda M. 1991. Diffusion and reaction in heterogeneous media: Pore size distribution, relaxation times, and mean survival time. The Journal of chemical physics 95 (9): 6477–6489.
13. Jakšić D., Jakšić N. 2010. Porosity of the flat textiles. V: Dobnik Dubrovski P. (ur.) Woven Fabric Engineering. Rijeka, InTech: 255–307.
14. Jakšić N. 2000. Računalniški aplikacijski program za ugotavljanje parametrov poroznosti. Ljubljana, Turbo Inštitut.

9. PROTOK VODENE PARE KROZ SLOJEVE ODEĆE

9.1. Opšte

Brzina protoka vodene pare kroz odeću je veoma važan parametar za ocenu upotrebne vrednosti odeće. Pod brzinom protoka podrazumevamo brzinu protoka vodene pare sa površine kože kroz slojeve odeće u okruženje. Na površini kože isparava izlučenih znoj. Ako je lučenje znoja veće nego što je brzina isparavanja, onda ispari samo određeni deo izlučenog znoja. Ukoliko je stanje organizma takvo, da se poveća brzina lučenje znoja, onda je obično poželjno, da ispari sav izlučeni znoj. Kao što smo već naveli u četvrtom poglavlju, brzina lučenje znoja se povećava kao reakcija na zagrevanje organizma.

Za isparavanje izlučenog znoja se potroši određena količina energije. To ima kao posledicu hlađenje površine kože i potkožnog tkiva. Radi toga se hladi krv, koja iz unutrašnjosti tela dotiče u potkožno tkivo. Kada se venska krv vraća u unutrašnjost kroz zagrejane mišice, ona ima ulogu tekućine za hlađenje. Na taj način makar unutrašnjost organizma održava približno konstantnu temperaturu na nivou 37 °C. Ona se može povećati samo, ako je organizam izložen vrlo intenzivnom fizičkom radu, visokim temperaturama okruženja ili tokom bolesti, kada je termostatika nemoćna u pogledu intenziteta procesa u organizmu koji oslobađaju previše toplote. Znojne žlezde deluju takođe i onda, kada smo u području ugodnosti ili čak i kad se organizam hladi. U tim slučajevima lučenje znoja nije intezivno, zato su obično uslovi za isparavanje cele količine **izlučenog** znoja povoljni. Na brzinu lučenja utiče u velikoj meri i odeća. To znači, da je moguće u određenoj meri regulisati brzinu isparavanja znoja izborom odgovarajuće odeće u odnosu na otpor protoku vodene pare, koji odeća ima.

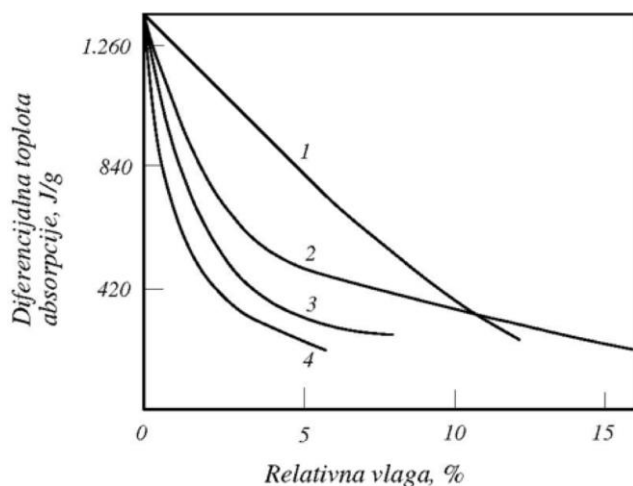
U vrućem i suvom okruženju, kao što je, na primer, kod nas (suvi) kras leti ili uopšte pustinjska područja, preporučljivo je smanjiti vanjsko toplotno opterećenje i brzinu isparavanja znoja, jer se pritom pojavljuje problem dehidracije organizma, koji nije ništa manji problem nego njegovo pregrevanje, posebno ako nema pitke vode u dovoljnim količinama. Sa odgovarajućom odećom možemo postići smanjenje toplotnog opterećenja iz okruženja kao i brzinu isparavanja znoja.

Pretpostavimo, da je osoba obučena u jednoslojnu odeću, koja nema visoku vrednost toplotne izolacije. U tom slučaju taj sloj može biti izrađen od pamuka ili viskoznih vlakana. U slučaju, da se posmatrani sloj odeće nakvasi znojem, on neće isparavati sa površine kože, nego sa površine odeće, jer je u takvim situacijama temperatura okruženja obično veća od temperature na površini kože. Zbog toga će znoj isparavati uglavnom sa površine odeće. Pritom se ne upotrebi samo toplota, koja je potrebna za isparavanje vode odnosno znoja, nego moramo uzeti u obzir činjenicu da je znoj vezan za vlakna i da je potrebna dodatna energija za savlađivanje tih veznih sila. To najbolje ilustrujemo pomoću diferencijalne toplote kvašenja, koja je prikazana na slici 9-1[1].

Vidimo, da se za apsorpciju vode na 1 gram apsolutno suvog vlakna oslobodi 1,26 kJ toplote. Kod vune je ta vrednost nešto veća. Prilikom suprotnog procesa-sušenja, moramo pored toplote, koja je potrebna za isparavanje, dovesti još toplotu, koja je potrebna za razbijanje veza među vlaknima i molekulama vode. Za potpuno sušenje bilo bi to 1,26 kJ/g vlakana.

To naravno važi za mono molekularni sloj vode, koji je neposredno apsorbovan na površini vlakana, odnosno na elementima strukture vlakana. Sljedeći slojevi imaju manju energiju veza, kao što to vidimo sa slike 9-1. Kod približno 8% relativne vlage vazduha, koji okružuje pamučni sloj odeće, trebamo još približno 0,3 kJ/g. Ulogu apsorpcijske toplote možemo ilustrovati na nekoliko primera.

Muški vuneni džemper sa masom 1,5 kg emituje u okruženje 945 kJ toplote, ako ga iz prostora, u kome je temperatura 18 °C i 45% relativne vlage stavimo u prostor (vani), gde je temperatura 5 °C i 95 % relativne vlage, osobi će trebati približno jedan sat, da proizvede tu količinu toplote pod uslovom, da hoda po ravnoj stazi brzinom 3 km/h. Ranije navedena toplota je toplota apsorpcije vode. Kod suprotnog procesa-desorpcije, kada osoba sa navedenim džemperom dođe iz prostora, koji ima temperaturu 5 °C i 95% relativne vlage u prostor koji ima temperaturu 18 °C i 45% relativne vlage, džemper će se početi sušiti. Pritom će se potrošiti određena količina toplote, koja je potrebna za isparavanje viška vode u odnosu na temperaturu i relativnu vlagu okruženja.



Slika 9-1: Zavisnost diferencijalne toplote apsorpcije od relativne vlage kod celuloznih vlakana i vune; 1 - vuna, 2 - viskoza, 3 - pamuk, 4 - acetat

Pored toga upotrebiće se još 945 kJ za savladavanje veza između molekula vlakana i molekula apsorbovane vode. Ova dodatna količina ima pozitivnu ulogu prilikom hlađenja organizma u vrućem okruženju. Takođe se zbog toga uspori isparavanje vode sa površine odeće i tako smanji gubitak tekućine. Radi poređenja pogledajmo neke vrednosti. Ako povećamo relativnu vlagu okolnog vazduha sa 40 % na 70 % uz nepromenjenu temperaturu, emituje, zbog apsorpcije vlage kilogram mase: vune 160 kJ; pamuka - 84; viskoznog rajona - 50; najlona - 42 i terilena - 4,2 kJ. Iz toga vidimo (ako posmatramo obrnuti proces), da najviše tekućine izgubimo, ako je spomenuti sloj odeće izrađen iz PES vlakana i mnogo manje, ako je izrađen iz viskoznog rajona, koji je vrlo ugodan – “hladi” leti, kada je temperatura visoka. Pored toga ima veću vrednost koeficijenta toplotne provodnosti nego ostala spomenuta vlakna i u njemu ne nastaje statički elektricitet kao kod nekih sintetičkih vlakana; taj može veoma nadražiti površinu kože.

U hladnom i vlažnom vremenu apsorbovana toplota nam omogućava dobijanje dragocenog vremena, koji organizmu treba, da se prilagodi promenama okruženja-prelazu iz toplog i suvog u hladno i vlažno okruženje. Nakon završenog procesa apsorpcije vlage ona se veže u odeći, posebno, ako je odeća izrađena iz prirodnih vlakana. Posledica toga je povećanje vrednosti koeficijenta toplotne provodnosti, što takođe znači smanjenje vrednosti toplotne izolacije. Zbog toga takvi materijali nisu najprimereniji u hladnom i vlažnom okruženju odnosno u hladnom okruženju, ako je makar povremeno intenzitet aktivnosti takav, da dođe do prevelike brzine lučenja znoja. Količina znoja koji nije ispario, nakuplja se u odeći i prouzrokuje smanjenje toplotne izolacije odeće. U neposrednoj vezi sa navedenom pojavom je otpor protoku vodene pare kroz odeću. Otpor protoku vodene pare možemo izraziti pomoću debljine sloja mirnog vazduha, izraženom u mm ili cm. Na otpor protoku vodene pare utiče u velikom obimu vrsta vlakana, iz kojih je data tkanina izrađena; verovatno zbog ranije

navedenog mehanizma apsorpcije vode. Tako su na primer kod različitih tkanina izmerili sledeće vrednosti otpora, izraženog u mm mirnog sloja vazduha [2]: pamučne tkanine 0,7 do 3,4; vunene 1,3 do 6; viskozne 0,9 do 4,9; PA 0,07 do 2,1; krzno 2,8 do 23,6 i tkanine iz različitih sintetičnih vlakna 0,7 do 5,8 mm. Kao što iz rezultata vidimo, na otpor protoku vodene pare verovatno utiče pored vrste vlakana i konstrukcija tkanina.

9.2. Pretok vodene pare kroz slojeve odeće

Posmatrajmo stanje, kada je sva površina kože prekrivena znojem. Na površini kože je zasićeni parni pritisak isto kao nad vodenom površinom, koji ima jednaku temperaturu. Pošto je mnogo teže meriti brzinu isparavanja znoja obučene nego gole osobe (poglavlje 4.0), možemo brzinu isparavanja meriti pomoću posebne aparature. Osnovna šema je prikazana na slici 9-2. U valjkastoj posudi koja je prekrivena tkaninom je voda. Razmak od tkanine do površine vode je označen sa L . "Nepokretni" vazduh u posudi i tkanine na posudi, koju ćemo nazvati standardna tkanina, se odupiru prolasku vodene pare sa površine vode u posudi, u okruženje. Pritom vodena para može prolaziti samo kroz tkaninu. Da bi voda iz posude isparavala, mora biti parni pritisak u posudi veći od parnog pritiska u okruženju. Pomenuti otpor možemo izračunati pomoću sledeće jednačine [3]:

$$R = \frac{d}{\mu}; \quad Q = \frac{(p_a - p_b)At}{R} \quad (9.1)$$

gde su:

- R - otpor protoku vodene pare;
- μ - difuzijski koeficijent vodene pare;
- A - površina kroz koju prodire vodena para;
- t - vreme merenja
- p_a - pritisak vodene pare na površini vode u posudi;
- p_b - pritisak vodene pare na vanjskoj površini standardne tkanine;
- Q - količina vodene pare, koja pređe iz posude u okruženje u vremenu t .

Brzinu protoka vodene pare po jedinici površine u jedinici vremena možemo izraziti sledećom jednačinom:

$$U = \frac{Q}{At} \quad (9.2)$$

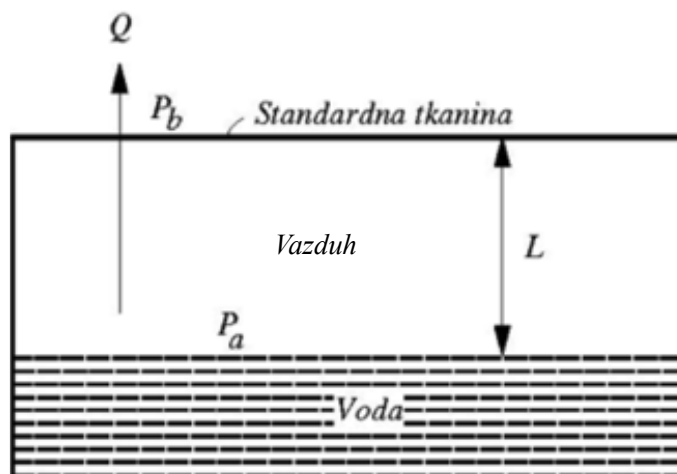
Sa druge strane je brzina protoka vodene pare srazmerna razlici pritisaka i obratno srazmerna zbiru otpora, tako da možemo zapisati:

$$U = \frac{P_a - P_b}{R_L + R_m + R_c} \quad (9.3)$$

gde su:

- R_L - otpor sloja vazduha u posudi (slika 9-2);
- R_m - otpor standardne tkanine;
- R_c - otpor vazduha na vanjskoj strani standardne tkanine. Q je obrnuto srazmeren visini vazdušnog sloja L u posudi, ako visina tog sloja nije veća od 20 mm.

Ako je visina vazdušnog sloja u posudi veća, onda ranije navedena vrednost više ne važi [2]. Kod visine (ili debljine) vazdušnog sloja koja je veća od 2 cm, Q nije konstantna veličina, jer nastaje vrtložno kretanje vazduha (kretanje vazduha odnosno vodene pare nije laminarno). Ako je razlika pritisaka konstantna i ako je R_c konstantan, onda je R_L srazmeran visini vazdušnog sloja L . Iz toga proizlazi, da otpor protoku vodene pare možemo izraziti kvantitativno u mm mirnog vazduha. Pošto je otpor obrnuto srazmeran brzini protoka vodene pare, možemo nacrtati dijagram umerene standardne prave (slika 9-3). Pomoću toga dijagrama možemo grafičkom metodom brzo ustanoviti otpor određenog uzorka (slika 9-3).

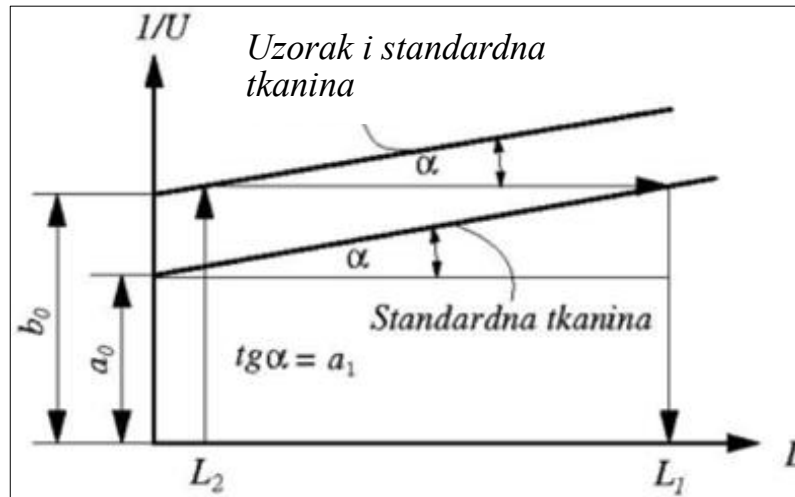


Slika 9-2: Osnovna šema merenja otpora protoku vodene pare

Pošto ravni tekstilni proizvod ima veći otpor protoku vodene pare nego jednako debeo sloj mirnog vazduha, otpor protoku vodene pare će biti veći, ako je u posudi koja je prekrivena standardnom tkaninom, uzorak (slika 9-4), nego ako ga nema (slika 9-2). Otpor uzorka u mm mirnoga vazduha možemo ustanoviti iz dijagrama na slici 9-3). Prave na slici 9-3 dobijemo tako da merimo brzinu protoka vodene pare iz najmanje tri posude bez uzorka (samo standardna tkanina), u kojima su različite količine vode, tako da su visine vazdušnog sloja između 20 mm i 7 mm. Na ordinatu nanosimo recipročne vrednosti brzine protoka vodene pare, a na abscisu visinu vazdušnih slojeva. Pomoću tri ili više tačaka merenja u stanovima položaj prave za standardnu tkaninu.

Ukoliko su pritisak, temperatura i relativna vlažnost okolnog vazduha konstantni, onda tu pravu možemo nazvati standardnom. Istovremeno takođe merimo brzinu protoka vodene pare iz posudica, u kojima je još uzorak. Pritom je odgovarajuća udaljenost standardne tkanine od vodene površine 10mm i uzorka od standardne tkanine 5mm. U drugim posudicama je manje vode. Preporučljivo je upotrebiti za oba merenja po 8 posudica. Na taj način dobijemo 8 merenja. Kroz tačke dobijene prilikom merenja povučemo prave. Jednu za standardnu tkaninu i drugu za standardnu tkaninu i za

uzorak, koja je paralelna sa standardnom pravom. Brzina protoka se meri tako da posude stoje 2 sata, nakon što smo u njih natočili vodu i montirali uzorke ili postavili na njih prstenove sa standardnom tkaninom. Nakon tog vremena se uspostavi stacionarno stanje, izmeri se masa posuda i ostavi stajati 16 do 20 sati, potom se ponovo izvagaju. Iz razlike masa Q , vremena t i površine A se pomoći jednačine 9.2 izračuna brzina protoka vodene pare.



Slika 9-3: Grafička metoda određivanja otpora protoku vodene pare kroz posmatrani uzorak (vzorec in standardna tkanina-uzorak i standardna tkanina; standardna tkanina- standardna tkanina)

U principu možemo ustanoviti otpor uzorka kod jednakih brzina protoka vodene pare. Ako je visina vazdušnog sloja u posudi sa uzorkom L_2 i brzina protoka U , onda bi morali povećati visinu vazdušnog sloja u posudi bez uzorka, na primer, na L_1 , da bi dobili jednaku brzinu protoka U kao u posudi sa uzorkom. Pošto je R otpor uzorka i R_{L_2} otpor vazdušnog sloja u posudi, onda možemo po analogiji sa jednačinom (9.3) napisati sledeću jednačinu:

$$U = \frac{P_a - P_b}{R_{L_2} + R + R_m + R_c} \quad (9.4)$$

Ako su brzine protoka u jednačinama (9.3) i (9.4) jednake onda možemo napisati:

$$R = R_{L_1} - R_{L_2} \quad (9.5)$$

$$R = L_1 - L_2 \quad (9.6)$$

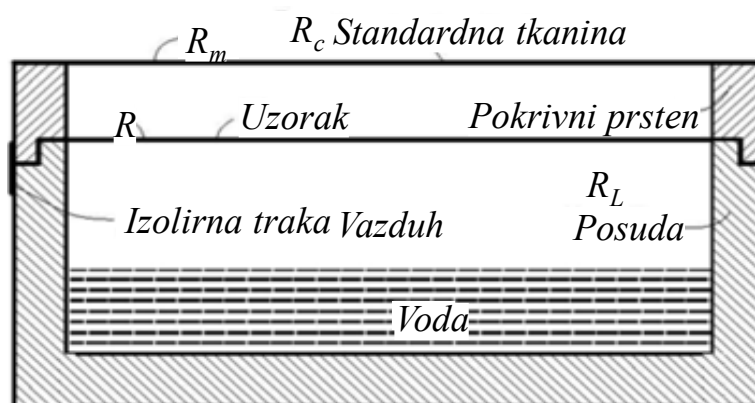
Kao što se vidi sa slike 9-3, grafički ustanovimo otpor, tako da visinu vazdušnog sloja L_2 povežemo sa pravom uzorka i standardne tkanine paralelom sa ordinatom $1/U$. Potom tačku preseka povežemo vodoravnom linijom (paralela sa abcicom) sa standardnom pravom, što označava brzinu protoka. U nastavku postupka se taj presjek vertikalom poveže sa abcisom (paralela sa ordinatom $1/U$), dobijemo L_1 i iz jednačine (9.6) izračunamo otpor uzorka.

Grafička metoda sama po sebi nije dovoljno tačna. Osim toga smo prilikom naših ispitivanja [4] ustanovili, da se koeficijent smera prave standardne tkanine i uzorka obično razlikuju od koeficijenta smera standardne prave. Razlike nisu velike, no približnost prilikom upotrebe grafičke metode veoma utiče na odstupanja rezultata. Zbog toga smo razvili analitičku metodu [4], koja je tačnije nego ranije navedena grafička metoda [2] i jednostavnija je. Ako polazimo od pretpostavke, da je brzina protoka vodene pare obrnuto srazmerna sa visinom vazdušnog sloja L_1 u posudi bez uzorka, možemo zapisati sljedeću jednačinu linearne regresijske krive:

$$\frac{1}{U_1} = a_0 + a_1 L_1 \quad (9.7)$$

Sa sličnom jednačinom možemo opisati brzinu protoka iz posude sa uzorkom:

$$\frac{1}{U_2} = b_0 + b_1 L_2 \quad (9.8)$$



Slika 9-4: Aparatura za merenje brzine protoka vodene pare kroz tekstilije

Visine vazdušnog sloja možemo izabrati tako da je $U_1 = U_2$. Pored toga ćemo pretpostaviti, da je ugaoni koeficijent $b_1 = a_1$. Ova pretpostavka je približno realna, jer su uslovi protoka veoma promenjeni. Vazdušni sloj je pomoću uzorka pregradjen na dva dela, uzorak nije idealno homogen i sl. Kod analitičke metode merimo naime istovremeno brzinu protoka u 8 posuda bez uzorka i jednakom broju posuda sa uzorkom na različitim visinama vazdušnog sloja između 7 i 20mm. Izračunamo srednju vrednost $1/U_2$, koja je na sredini merenog intervala L_2 , što proizilazi iz linearne zavisnosti. Na istoj visini vazdušnog sloja ($L_2 = L_1$) izračunamo sa jednačinom (9.7) vrednost ordinate $1/U_1$. Obzirom na to i uzimajući u obzir jednačine (9.9) in (9.8) te sliku 9-4, važi sledeća zavisnost:

$$\frac{1}{U_2} - \frac{1}{U_1} = \frac{b_0 - a_0}{a_1} \quad (9.9)$$

Na kraju izračunamo otpor R uzorka sledećom jednačinom:

$$R = L_1 - L_2 = \frac{b_0 - a_0}{a_1} \quad (9.10)$$

Ako želimo istraživati uticaj pojedinih parametara kvaliteta ravnog tekstilnog proizvoda na vrednost njegovog otpora protoku vodene pare, možemo upotrebiti linearnu ili multiplu regresijsku krivu i ustanoviti koeficijent korelacije obzirom na pretpostavljenu zavisnost, koja može biti linearna ili eksponentna. Ovu zavisnost možemo napisati u uopštem u obliku:

$$R = f \left[s, \gamma, D, \frac{P}{d} \right] \quad (9.11)$$

gde su

- s - vrsta sirovine;
- γ - površinska gustina;
- D - debljina;
- P - otvorena površina;
- d – prosečni hidraulični promer pora.

Kao primer, navešćemo četiri kombinacije linearne zavisnosti. Ako bi zavisnost bila eksponentna, koristili bi logaritmovanje i tako je predstavili kao linearnu.

$$R = a_0 + a_1 D \quad (9.12)$$

$$R = a_0 + a_1 \gamma + a_2 D \quad (9.13)$$

$$R = a_0 + \frac{a_1 \gamma}{P} + \frac{a_2 D}{d} \quad (9.14)$$

$$R = a_0 + \frac{a_1 \gamma}{V} + \frac{a_2 D}{d} \quad (9.15)$$

9.3. Kvašenje odeće

9.3.1. Teorija kvašenja

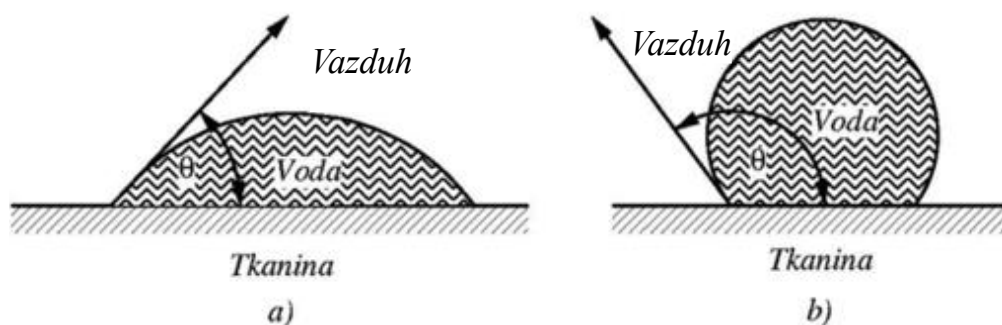
9.3.1.1. Opšte

Kvašenje je veoma zanimljiva pojava, kako u pogledu dorade tekstilija tako i u pogledu projektovanja i konstrukcije tekstilija, posebno odeće. Ako smo duže vreme izloženi kiši na relativno niskim temperaturama, veoma je važna brzina kvašenja odeće zbog promene toplotnog otpora.

Najlakše je posmatrati kvašenje u statičkim uslovima. Iz pipete spustimo kap vode na površinu tkanine, tako da ne prouzrokuje dinamički udarac. Kada je kap vode na površini tkanine, možemo posmatrati kako će se menjati oblik kapi. Ukoliko je tkanina hidrofilna, kap će se u vrlo kratkom vremenu upiti u strukturu tkanine; ako je ona manje hidrofilna kap će ostati neko vreme na površini tkanine, pre nego što je tkanina upije. U tom slučaju će obično ugao kvašenja biti manji od 90 stepeni. Ako je površina tkanine hidrofobna, oblik kapi će ostati nepromenjen i ugao kvašenja će biti veći od 90 stepeni. Ova dva primera su prikazana na slici 9-5.

Kod idealno hidrofilne tkanine kap praktično u trenutku nestane u unutrašnjosti tkanine pa je (dodirni ili kontaktni) ugao θ jednak nuli. U suprotnom slučaju, kada je tkanina odnosno njena površina potpuno hidrofobna, ostaje kap potpuno okrugla (ako nije prevelika i ne deformiše se zbog vlastite mase) i ugao kvašenja θ je jednak 180 stepeni. Na slici 9-5 su prikazane međuvrednosti.

Vrednost ugla kvašenja zavisi od vrednosti adhezije između vode i tvrde faze, u našem slučaju tkanine ili drugog ravnog tekstilnog proizvoda, te vrednosti kohezije u tim supstancama. Ako je adhezija između vode i tkanine jednaka ili veća od kohezije među molekulama vode, vrednost ugla kvašenja θ će biti jednaka nuli i tkanina će se potpuno nakvasiti. Ako je stanje obrnuto, ugao kvašenja će imati određenu vrednost veću od nula stepeni, i ta vrednost će biti tim veća, što je veća relativna vrednost kohezije među molekulama vode u odnosu na vrednost adhezije između vode i tkanine. Taj odnos možemo izraziti Young-ovom jednačinom [5]:



Slika 9-5: Ugao kvašenja na površini tkanine a) hidrofilna tkanina; b) hidrofobna tkanina

$$\gamma_T = \gamma_{TV} + \gamma_V \cos \theta \quad (9.16)$$

gde su:

- γ_T - slobodna energija na jedinicu površine tkanine;
- γ_V - slobodna energija na jedinicu površine tekuće faze-vode;
- γ_{TV} - slobodna energija na jedinicu površine "mešane" faze voda- tkanina.

Obzirom da je teško meriti slobodnu energiju površine tkanine, možemo je zameniti, ako uzmemo u obzir Duprejevu jednačinu [6], koja nam kaže, koliko rada W_{TV} je potrebno za odvajanje vode od tkanine.

$$W_{TV} = \gamma_T + \gamma_V + \gamma_{TV} \quad (9.17)$$

Pre odvajanja (slika 9-6a) slobodna energija površine je γ_{TV} , a nakon odvajanja (slika 9-6b) $\gamma_T + \gamma_V$. Rad W_{TV} , koji je potreban za odvajanje, je razlika između tih dvaju vrednosti. W_{TV} se naziva “adhezijski rad” između vode i tkanine ili uopšte između tekuće i tvrde faze. Kombinacijom jednačina (9.16) (9.17), dobićemo

$$W_{TV} = [1 - \cos \theta] \quad (9.18)$$

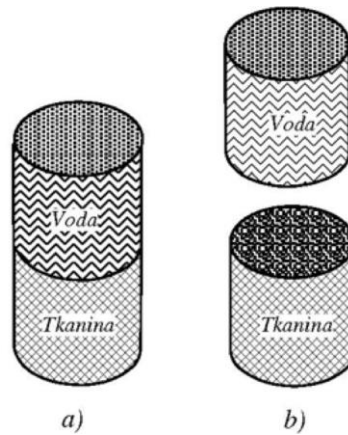
Jednačina (9.18) je za razliku od jednačine (9.16) upotrebljiva, jer je moguće meriti sve parametre. Ako želimo stub vode, čiji presjek ima jedinicu površine, rastaviti u dva dela, slično kao što smo odelili vodu od tkanine na slici 9-6, moramo upotrebiti “kohezijski rad” čija je najveća vrednost γ_V . To dobijemo slučaju ako je $\theta = 0$. Ukoliko je $W_{TV} < 2\gamma_V$, postoji između vode i tkanine ugao kvašenja. Što je veća vrednost W_{TV} , to je manji ugao kvašenja θ i obrnuto. Iz toga sledi, da je kvašenje moguće regulisati pomoću menjanja kvaliteta površine tkanine u pogledu veličine

“adhezijskog rada”, koji se dobije prilikom deljenja vode i tkanine, koje su u dodiru na dodirnoj površini. Ukoliko želimo povećati sposobnost kvašenja tkanine, na primer u fazama oplemenjivanja, najčešće tekućini dodajemo sredstva za kvašenje, koja imaju osobinu, da povećaju “adhezijski rad” odnosno smanjuju veličinu ugla kvašenja između površine tekućine i površine tkanine.

Ako želimo povećati hidrofobnost površine tkanine obradićemo tkaninu ili površinu tkanine sa hidrofobnim sredstvima. Time smanjujemo količinu slobodne energije površine tkanine odnosno smanjimo količinu “adhezijskog rada” između vode i tkanine, što ujedno znači povećanje ugla kvašenja. Površina tkanine nije uniformna nego se sastoji iz vlakana koja strče iz pređe, delova pređe u kojoj su vlakna vrlo dobro paralelizirana i otvora -pora među nitima osnove i potke. Iz toga sledi da površina tkanine nije glatka, nego veoma neravna. Na takvoj površini je veoma teško ustanoviti ugao kvašenja. Zbog toga je pravilnije, ako kod ravnih tekstilnih proizvoda upotrebimo izraz “virtuelni ugao kvašenja” umesto “ugao kvašenja”. Može se dogoditi, da se na primer skvasi površina gornjeg sloja odeće, ali uprkos tome traje duže vremena da voda potpuno nakvasi gornje slojeve odeće. To znači, da će u tom slučaju donji slojevi ostati suvi, što je u pogledu ekonomije toplote svakako pozitivno. Opisana pojava može nastati zbog poroznosti odnosno kapilarne strukture ravnih tekstilnih proizvoda.

9.3.1.2. Uticaj poroznosti na prodiranje vode u tkaninu

Pore u ravnim tekstilnim proizvodima možemo, u pogledu njihovih hidrauličnih prečnika, posmatrati kao kapilare. To znači da kod procesa kvašenja ravnih tekstilnih proizvoda možemo uzeti u obzir kapilarne pojave. Pre svega nas zanimaju uslovi, pod kojim će voda prodrati kroz poru u tkanini ili drugom tekstilnom ravnom proizvodu. Ako je hidraulični prečnik pore r relativno mali i ako je površina vode u pori deo sfere koja ima poluprečnik R , onda možemo razliku pritisaka ΔP , zbog koje se oblikuje sfera na graničnoj površini među vodom i vazduhom, opisati pomoću sledeće jednačine:



Slika 9-6: Razdvajanje vode od površine tkanine

$$\Delta P = \frac{2\gamma_{zv}}{R} \quad (9.19)$$

gde je: γ_{zv} - površinski napon vode.

Iako u tkanini pore nemaju cilindrični oblik, možemo upotrebiti približno cilindrični oblik preseka pora. Kada počne voda prodirati kroz poru, površina vode sa zidom pore čini ugao kvašenja θ . Ako uzmemo u obzir poluprečnik pore r i ugao kvašenja θ , možemo R izraziti sledećom jednačinom:

$$R = \frac{r}{\cos \theta} \quad (9.20)$$

Ako uzmemo u obzir jednačinu (9.20), jednačina (9.19) se možemo napisati u sledećem obliku:

$$\Delta P = \frac{2\gamma_{zv} \cos \theta}{r} \quad (9.21)$$

Iz jednačine (9.21) vidimo da će voda prodirati kroz poru sama od sebe kada je ugao kvašenja θ

manji ili jednak 90 stepeni. Ako je ugao θ veći od 90 stepeni, površina zidova pora je hidrofobna. Moramo upotrebiti razliku pritisaka, da potisnemo vodu kroz poru. Sa druge strane zanimljiva je takođe brzina prodiranja vode kroz poru dužine l . Ako je μ viskoznost vode, možemo srednju brzinu prodiranja vode izraziti pomoću Hagen-Poiseuilleovoga zakona.

$$v = \frac{dl}{dt} = \frac{\Delta P r^2}{8 \mu l} \quad (9.22)$$

Razliku pritisaka ΔP možemo izraziti jednačinom (9.21) i jednačinu (9.22) napisati u sljedećem obliku:

$$\frac{dl}{dt} = \frac{r \gamma_{zv} \cos \theta}{4 \mu l} \quad (9.23)$$

U jednačini (9.23) promenljive su: poluprečnik pore r , dužina pore l i ugao kvašenja θ ; one su veoma različite kod različitih vrsta proizvoda odnosno tkanina ili čak u istoj tkanini. Što je duža pora, odnosno što je deblja tkanina, tim manja će biti prosečna brzina prodiranja vode kroz poru. Pritom mislimo, da ostane vrednost ugla kvašenja, koji je stvarno virtuelni ugao kvašenja, nepromenjen. Na slici 9-7 su prikazane dve različite vrednosti ugla kvašenja u kapilari.

Kada je ugao kvašenja manji od 90 stepeni (slika 9-7a), voda prodire uzduž kapilare određenom prosečnom brzinom. Smanjenjem vrednosti ugla kvašenja povećava se brzina. Ako je $\theta = 90$ stepeni, voda ne prodire kroz poru (kapilaru) odnosno $dl/dt = 0$. Iz jednačine (9.23) još sledi, da ćemo dobiti negativnu brzinu ako je $\theta > 90$ stepeni. Ovaj rezultat za realan sistem nema značaja u slučaju, kada je pritisak relativno mali, odnosno njegova vrednost nije dovoljno velika, da potisne vodu kroz poru. Ako je zbog hidrodinamičnog udara, na primer velike kapi kiše, deo te kapi utisnut u poru, voda će prodirati toliko vremena, dok traje pritisak. Ukoliko pritisak prestane delovati pre nego voda dođe na drugu stranu pore, onda će ona ostati u pori i neće sama sebe istisnuti iz pore, uprkos tome, da je na primer $\theta > 90$ stepeni. To znači, da jednačina (9.23) važi za sve vrednosti $0 \leq \theta \leq 90$ stepeni. Integrisanjem jednačine (9.23) dobićemo:

$$l = \left[\frac{rt \gamma_{zv} \cos \theta}{2 \mu} \right]^{0.5} \quad (9.24)$$

Iz jednačine (9.24) vidimo da je l srazmerna vremenu $t^{0.5}$. Kolika dužina pore će se u času t nakvasiti, svakako zavisi od poluprečnika pore i vrednosti virtuelnog ugla kvašenja zida pore. Pošto je negativna dužina fizički besmislena, znači da voda neće prodirati u poru ako je $\theta = 90$ stepeni.

9.3.1.3. Proces kvašenja u realnih okolnostima

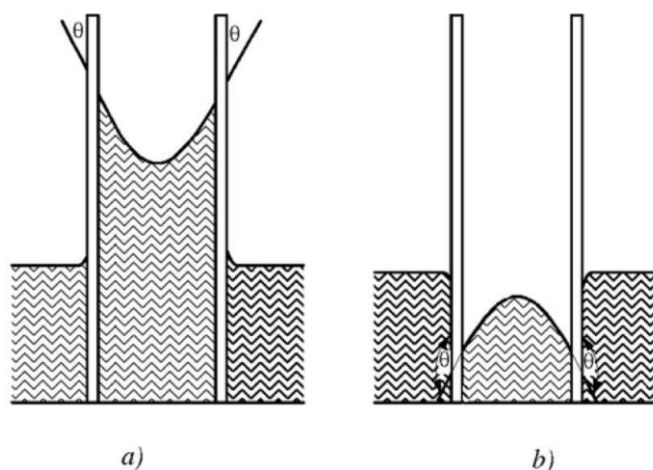
Kada smo odeveni i izloženi kiši, u određenom vremenu će se nakvasiti makar gornja površina gornjeg sloja odeće. U većini slučajeva će se odeća nakvasiti za manje od jednog sata. Brzina kvašenja zavisi pre svega od inteziteta kiše, veličine ugla kvašenja, posebno gornjeg sloja odeće, strukture površine odeće kao i od međusobnog trenja delova površine odeće i pritiska prilikom tog trenja.

Intenzitet kiše možemo definisati kao količinu padavina u mm u jedinici vremena. Pritom možemo u velikoj meri upotrebiti tabelu 2-3 iz poglavlja 2. U toj tabeli je pre svega zanimljiv poluprečnik kapi i njihova energija. Kada je nevreme, prosečni poluprečnik kapi je 0,15 cm i njihova energija 346 μ J;

kada sipi je poluprečnik kapi samo 0,01 cm a njihova energija 0,0012 μJ. Razlika je vrlo velika; u poluprečniku 15 puta, u energiji 303.333-puta. Kao što se vidi, razlike u kinetičkoj energiji pojedinih kapi kiše su vrlo velike. To takođe utiče na brzinu kvašenja odeće.

Kada se kap zaustavi na površini odeće, možemo ranije navedenu kinetičku energiju izraziti pomoću odgovarajuće količine potencijalne energije:

$$mgh \leq \frac{mv^2}{2}; \quad h = \frac{v^2}{2g} \quad (9.25)$$



*Slika 9-7: Veličina ugla kvašenja u kapilari u zavisnosti od oblika meniskusa
a) konkavna površina vode; b) konveksna površina vode*

Cela količina kinetičke energije se ne transformiše u potencijalnu energiju, radi čega je u jednačini (9.25) znak \leq . Deo kinetičke energije se potroši za promenu položaja vlakana na površini vanjskog sloja odeće, posebno ako je ta površina kosmata; deo kinetičke energije se potroši za deformaciju same kapi-poveća se površina kapi prilikom raspada u više manjih kapi i deo energije se potroši za savladavanje otpora, koji se javlja prilikom prodiranja kapi u unutrašnjost kanine. Ovaj otpor je u velikoj mjeri zavisn od vrednosti virtuelnog ugla kvašenja i poluprečnika pore r (vidi jednačinu (9.21).

Zbog većeg energetskog potencijala, velika kap će prodreti dublje u strukturu tkanine nego mala kap. Pošto mala kap ima manji poluprečnik -oko 0,1 mm, a ako je poluprečnik pore veći od 0,1 mm, ona može proći direktno kroz tkaninu pod uslovom, da ide pora direktno na suprotnu stranu tkanine. Obično je srednji hidrauličnih prečnik pore manji od 0,1 mm i zbog toga je takav događaj veoma malo verovatan.

Ako je ugao kvašenja veći od 90 stepeni- znači da je površina tkanine vodoodbojna, većina kapi će se skotrljati sa sa površine odeće. posebno ako ona nije vodoravna. Vodoravan je samo deo površine u području ramena. To znači, da ne utiče samo ugao kvašenja na prodiranje kapi u pore, nego takođe i sloj vode, koji se zadržava na površini tkanine odnosno odeće.

Struktura vanjske površine odeće odnosno tkanine takođe igra određenu ulogu prilikom njenog kvašenja. Ukoliko je površina glatka, kao na primer kod guste tkanine, izrađene iz glatke neteksturirane filamentne pređe, biće dodirna površina kapi neposredno sa površinom pređe vrlo velika, posebno slučajju, kada niti osnove flotiraju preko velikog broja potki, odnosno ako je broj

osnovinih ili potkinih veznih tačaka relativno mali, kao što je kod potkovnih ili osnovnih atlasa, koji imaju veliki raport. Zbog velike dodirne površine povećava se verovatnoća bržeg kvašenja površine odeće. Ako je površina kosmata i vlakna strše iz pređe, u pravilu se kapi najpre dotaknu stršećih vlakana. Prilikom tog udara se većina vlakana makar delimično deformiše- promeni položaj. Ova promena ili uvijanje je elastična. To znači da vlakna deluju kao amortizer. Ako su vlakna dovoljno duga i ako je njihov broj na jedinicu površine dovoljno veliki, malo je verovatno, da će kap doći do osnovnog tkiva tkanine. Kada se kap zaustavi -prestane hidrodinamički udarac- akumulirana energija u vlaknima se oslobodi i vlakna odbace kap nazad te se ona skotrlja dole niz odeću.

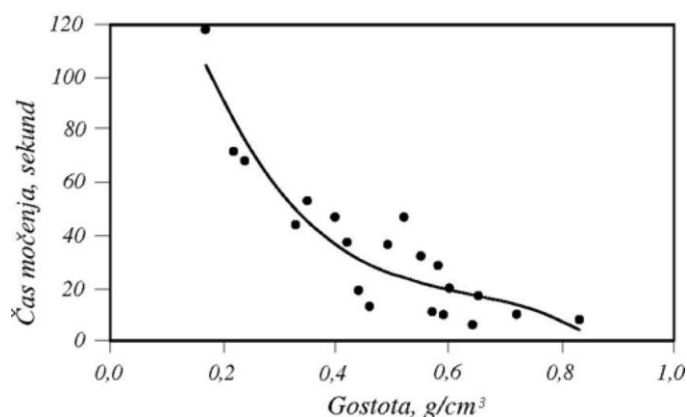
Na površini tkanine ostane određena količina vode i onda, kada je ona veoma vodoodbojna. Na delovima, gde se voda sliva sa ogrtača na donji deo pantalona, dolazi do trenja između površine pantalona i donjeg ruba ogrtača. To proizrokuje da se kapi vode “utisnu” u strukturu pantalona. To ima za posledicu brže kvašenje na tim delovima odeće.

Uopšte veliki uticaj na brzinu kvašenja ima struktura tekstilnog proizvoda, koju možemo izraziti pomoću gustine. Što je gustina manja, tim više je u proizvodu prostora, napunjenog vazduhom. Pošto je između vode i vazduha veliki površinski napon ($720 \mu\text{N/cm}$), usporiće se brzina kvašenja kao što se vidi sa slike 9-8.

9.3.1.4. Ilustracija mehanizma kvašenja odeće

U odnosu na kvalitet tkanine i položaj njene površine možemo posmatrati više mehanizama kvašenja odeće. Na slici 9-9 su prikazane četiri (a), b), c) i d)) faze kvašenja hidrofobne tkanine, koja ima koso usmerene dlake (nisu paralelene sa normalom na površinu tkanine) i na nju padaju kapi kiše 3 pod uglom 45 stepeni. Tkanina ima pore 2, između niti osnove i potke 1.

Veći deo gornje površine odeće zatvara sa smerom padanja kapi još manji ugao nego u slučaju, kada kapi padaju vertikalno na tlo, na kome stojimo. Kada kap dopre na površinu tkanine deformiše dlake i sa tim se sama deformirše (slika 9-9b). Kinetička energija kapi se potroši za deformaciju dlaka i povećanje površine kapi. Konačni rezultat je razbijanje kapi u više manjih (slika 9-9c), koje se skotrljaju sa površine tkanine. Ipak nešto malih kapi ostane na njenoj površini (slika 9-9d).



Slika 9-8: Zavisnost brzine kvašenja vunene pređe od njene gustine [8] (čas močenja,sekund-vreme kvašenja,sekunda; gostota-gustina)

Opisani mehanizam kvašenja se odnosi na hidrofobnu tkaninu. Osnovno tkivo tkanine ostane suvo. Ako je tkanina hidrofilna (slika 9-9e), prodire kap u poru zbog dinamičkog pritiska, koji je proizvela prilikom pada na površinu odeće. Ukoliko je kinetička energija kapi dovoljno velika i ako je ujedno dovoljno velik hidraulični promer pore u tkanini, neće biti nakvašen samo gornji sloj, nego i sledeći, koji je ispod nje, kao što je to ilustrovano na slici 9-9e. U slučaju gole površine (slika 9-10) ona može biti hidrofobna (slika 9-10a) ili hidrofilna (slika 9-10b). U oba slučaja možemo uporedo posmatrati četiri faze kvašenja. Prva faza je identična u oba slučaja. Površine su suve a kapi 3 su u položaju, tik pre nego što su pale na površinu.

U tom slučaju smo pretpostavili, da se to odnosi na deo odeće na ramenu i kapi padaju normalno na njegovu površinu. U drugoj fazi su kapi udarile na površinu i deo kinetičke energije se potrošio za deformaciju kapi, deo se transformisao u potencijalnu energiju. Na slici (slika 9-10b) su ilustrovane posledice toga procesa. Kod hidrofobne tkanine je deo kapi u pori, dok se međitim pređa odnosno tkivo tkanine uopšte nije okvasilo. Kod hidrofilne tkanine su obe kapi praktično usisane u tkivo tkanine odnosno pređe. Pore se sporije pune sa vodom. Pošto su kapi dovoljno razmaknute, jedna pora je ostala nenakvašena odnosno u njoj nema vode.

Pošto i dalje pada kiša, postoji velika verovatnoća, da će na ta mesta pasti još određeni broj kapi- faza tri. Realno je očekivati, da će hidrodinamički pritisci dodatnih kapi potisnuti vodu kroz pore. U slučaju hidrofilne tkanine možemo očekivati, da će biti stvoreni uslovi za curenje kapljica 4 sa suprotne površine tkanine (slika 9-10b3). Tkivo tkanine se još uvijek neće nakvasiti u slučaju, da je hidrofobnost permanentna (slika 9-10a3). Kod hidrofilne tkanine će već prva kap 4, zbog međusobnog trenja slojeva, preći na sledeći sloj odeće. Još uvek pretpostavljamo, da nijedna kap nije pala na ranije pomenutu praznu poru. U četvrtoj fazi je voda napunila neke pore u hidrofobnoj tkanini i već se pojavila na suprotnoj površini tkanine. To se može dogoditi i u drugoj fazi pod uslovom, da su brzina i masa kapi dovoljno velike i da je pripadajuća kinetička energija dovoljna za stanje u četvrtoj fazi. Pretpostavimo da je hidrofoban samo gornji sloj odeće. Ako donji sloj tare o gornji sloj, on će upiti vodu, koja je na unutrašnjoj strani gornje tkanine oblikovana u polusferu. Ako znamo kinetičku energiju kapi i dužinu pore (debeljnu tkanine), možemo odrediti gornju vrednost hidrauličnog polumera pora, kroz koji neće prodreti voda na suprotnu površinu tkanine.

Ako pogledamo hidrofilnu tkaninu, možemo ustanoviti da su se udružile polusfere, koje oblikuje voda na krajevima dvaju susednih pora na desnoj strani slike 9-10b, u četvrtoj fazi. Zbog toga događaja se virtuelni hidrauličnih promer poveća za nekoliko puta. Pored toga se smanji vrednost ugla kvašenja. Sa tim se takođe smanji potreban hidrostatički pritisak kao posledica virtuelnog povećanja promera pore i pre svega smanjenja ugla kvašenja na praktično nultu vrednost. To ima za posledicu povećanje brzine protoka vode kroz taj sloj odeće i povećanje brzine kvašenja donjih slojeva nje same.

U slučaju kosmate površine, sa vertikalno usmerenim dlakama (slika 9-11) proces kvašenja se veoma razlikuje od gore opisanog. U slučaju kada je dlaka dosta gusta (jedna kap prekrije veliki broj vlakana koji strče iz kompaktne površine tkanine), kapi se nabodu na stršuća vlakna. Pri tome se deo energije kapi potrebi za deformaciju položaja vlakana, deo za deformaciju nje same. Između površine tkanine i kapi je sloj vazduha i osnovno tkivo tkanine nije nakvašeno ni kod hidrofobne ni hidrofilne tkanine (slika 9-11a i slika 9-11b druga faza). Ipak je bitna razlika u konfiguraciji donjeg dela kapi. Kod hidrofobne tkanine donji deo kapi, koji je među vlaknima, pravi konveksne oblike površine; kod hidrofilne je konkavna oblika površine vode, gledano od odozdo nagore.

U trećoj fazi se uspostavi nova ravnoteža. Kod hidrofobne tkanine su kapi tik nad površinom tkanine, dok je hidrofilna tkanina skoro potpuno upila kapi u tkivo tkanine. Pošto voda brže putuje po tkivu (pređi) tkanine nego uzduž same pore, dostiže niži nivo u zidovima pora nego u samim porama. U četvrtoj fazi su kapi već delimično utisnute u pore hidrofobne tkanine; hidrofilna tkanina je praktično potpuno nakvašena i voda već kaplje dole sa suprotne strane površine tkanine. Ako poredimo mehanizam kvašenja gole površine (slika 9-10) i dlakave površine (slika 9-11) zapazićemo bitnu razliku u brzini kvašenja. U realnim uslovima upotrebe, dlake se relativno brzo potroše i u većini slučajeva za gornji sloj upotrebljavamo glatke a ne dlakave tkanine, koje se kvase približno po mehanizmu na slici 9-10.

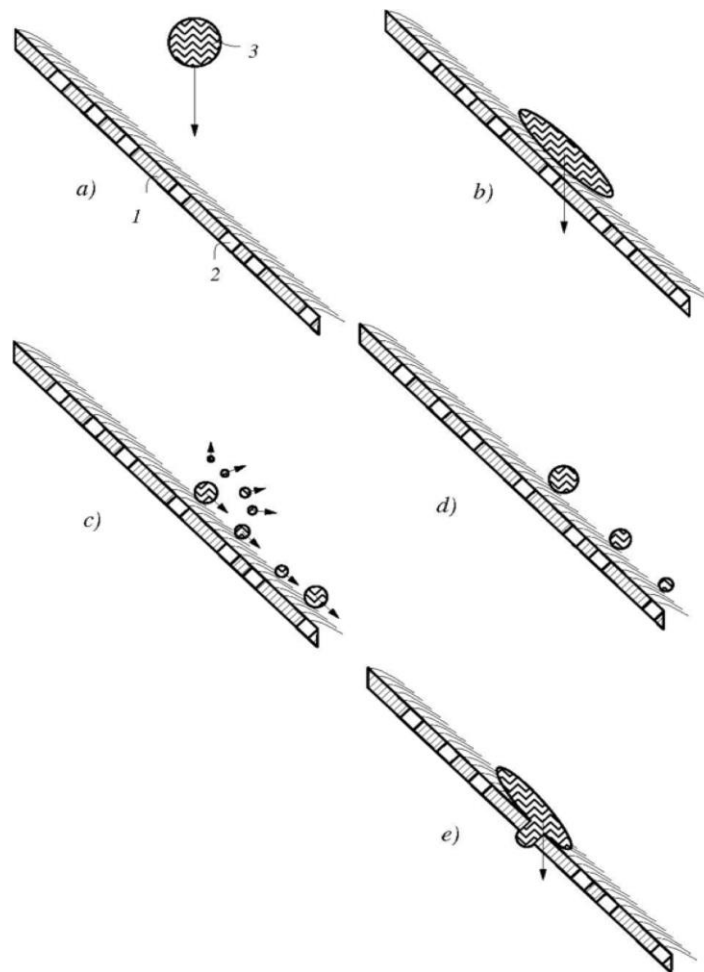
9.4. Metode za ispitivanje vodoodbojnog efekta na tkaninama i primerenost njihove upotrebe

9.4.1. Metode ispitivanja vodo-odbojnog efekta na tkaninama

Ranije smo govorili o procesu kvašenja. Ako je kvašenje usporeno, obično kažemo, da tkanina ima vodo-odbojne osobine. One nisu poželjne u fazama oplemenjivanja tkanina ili na gotovim proizvodima kao što je na primer gaza. Ipak je vodo-odbojni učinak svakako poželjen za gornji sloj odeće. Za merenje toga efekta postoji veći broj različitih metoda, kao što su: spray test metoda, hidrostatička metoda, hidrostatička metoda na šoperovom aparatu, hidrodinamička metoda na šoperovom aparatu, metoda potapljanje uzorka, Bundesmannova metoda i slično.

9.4.1.1. Spray test metoda (slika 9-13)

Ovom metodom simuliramo stanje, kada pada kiša. Sa određene visine sipamo litar vode kroz lijevak koji ima perforirano dno, tako da voda pada na tkaninu u obliku mlazeva. Tkanina je zategnuta na posebnom okviru i površina tkanine je postavljena pod uglom od 45 stepeni. Za rezultate bi pre rekli da su kvalitativni nego kvantitativni i upoređuju se sa etalonima. Ako se uzorak uopšte ne nakvasi, ocena je 100; malo nakvašena površina dobije ocenu 90 ili 80; potpuno nakvašena površina ocenu 50, što je istovremeno najniža ocena.



Slika 9-9: Kvašenje tkanine, koja ima dlake na površini i postavljena je koso

a) - suva hidrofobna tkanina: 1 - tkivo tkanine, 2 - pora; b) deformacija kišne kapi; c) - razbijanje kapi na više manjih; d) - kotrljanje kapi naniže po površini tkanine; e) situacija na hidrofilnoj tkanini

9.4.1.2. Hidrostatična metoda (“mulda”)

Uzorak učvrstimo na okvir 50 x 50 cm, tako da oblikuje obrnutu piramidu. U tu obrnutu piramidu se nalije voda u visinu 10 cm, računato od najniže unutrašnje tačke uzorka (vrh piramide). Ostavimo da odstoji 24 sata i pogledamo, da li je voda prodrla kroz tkaninu. Ako je voda prodrla kroz tkaninu zaključujemo da tkanina nema potreban vodo-odbojni učinak. To znači, da sa tom metodom dobijamo samo kvalitativne rezultate.

9.4.1.3. Hidrostatična metoda na šoperovom aparatu (slika 9-14)

Ova metoda se u principu ne razlikuje od prethodne. Tkanina se izloži pritisku 10 cm vodenog stuba, što iznosi 981 Pa, i ostavi 24 sata pod tim pritiskom. Ako voda prodre kroz tkaninu, kažemo, da tkanina nije vodo-odbojna, a ako ne prodre, kažemo, da je tkanina vodo-odbojna. Navedene metode se upotrebljavaju za ispitivanje kvaliteta vodo-odbojne impregnacije na tkaninama koji su namenjene za šatore, šatorska krila, cerade (ponjave) i sl.

9.4.1.4. Hidrodinamična metoda na šoperovom aparatu (slika 9-14)

Uzorak je zategnut u aparat kao kod prethodne metode. Za razliku od prethodne metode povećavamo visinu vodenog stuba odnosno pritisak određenom brzinom, na primer 20 cm/min. Kada se na površini uzorka pojavi prva kap ili prve tri kapi, očitamo visinu vodenog stuba odnosno pritisak. To znači da ova metoda daje kvantitativne rezultate. Što viši pritisak postignemo, tim je bolji vodo-odbojni učinak odnosno tim veći je ugao kvašenja (vidi jednačinu (9.21)).

9.4.1.5. Metoda potapljanja vzorca

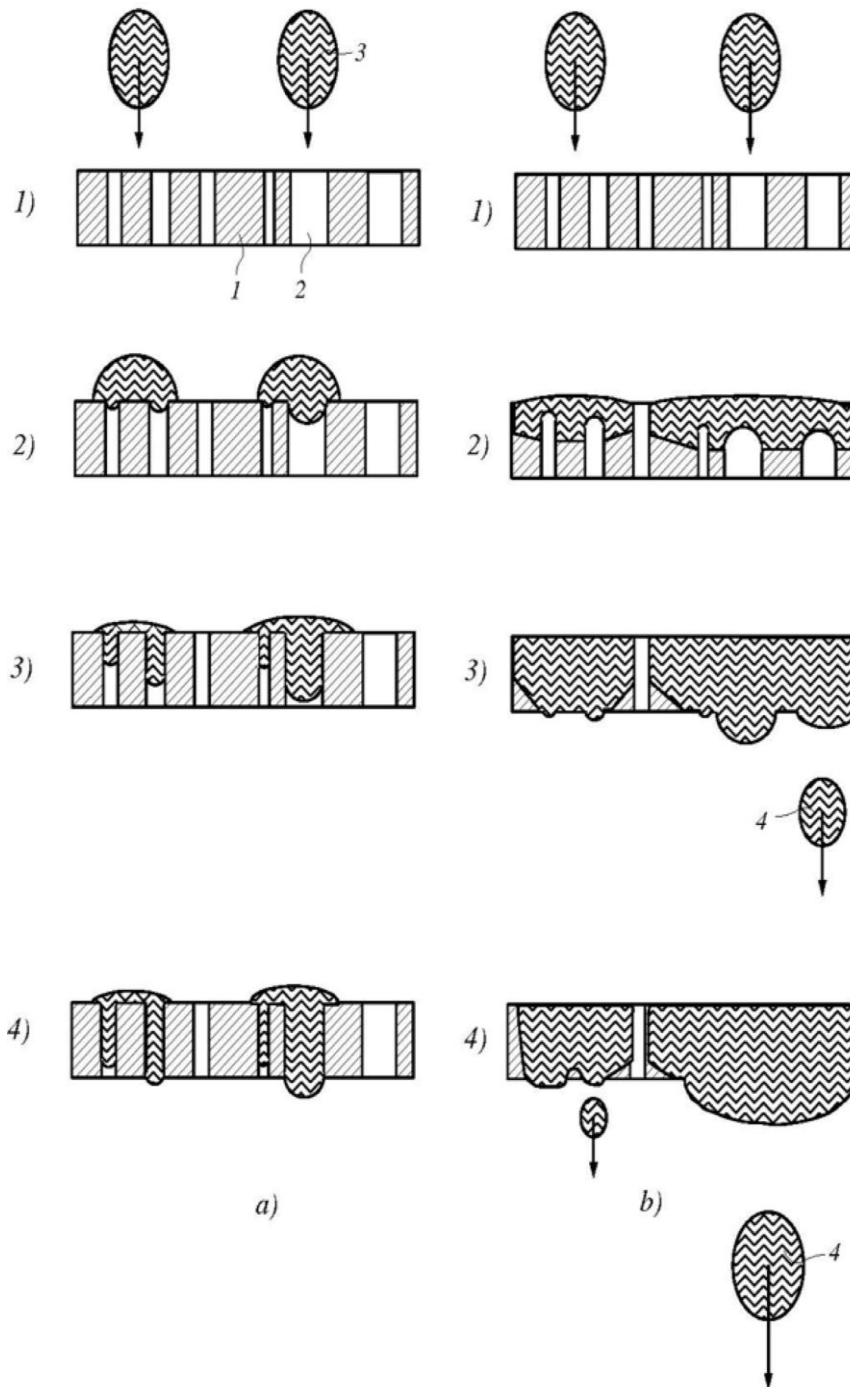
Uzorak potopimo u vodu i ostavimo ga određeno vreme. Uzmemo ga iz vode i stavimo između valjaka za ceđenje da se izjednače uslovi eksperimenta. Nakon toga izmerimo procenat apsorbovane vode. To znači da je ova metoda kvantitativna. Što se manje vode upije manja je kvašljivost tkanine.

9.4.1.6. Bundesmannova metoda (slika 9-15 i 9-16) [8]

Ovom metodom pokušavamo oponašati istovremeno kišu i trenje o unutrašnju površinu uzorka, što znači stvarno stanje odeće u nevremenu [8]. Kapi koje padaju sa visine 150 cm iz rešetke 9 na uzorak 2, imaju prosečan promer 0,64 cm, dostižu brzinu 540 cm/s i imaju kinetičku energiju 2.000 μ J, pre nego se dotaknu površine uzorka. Ova energija kapi je približno šest puta veća od kinetičke energije, koji imaju kišne kapi tokom nevremena.

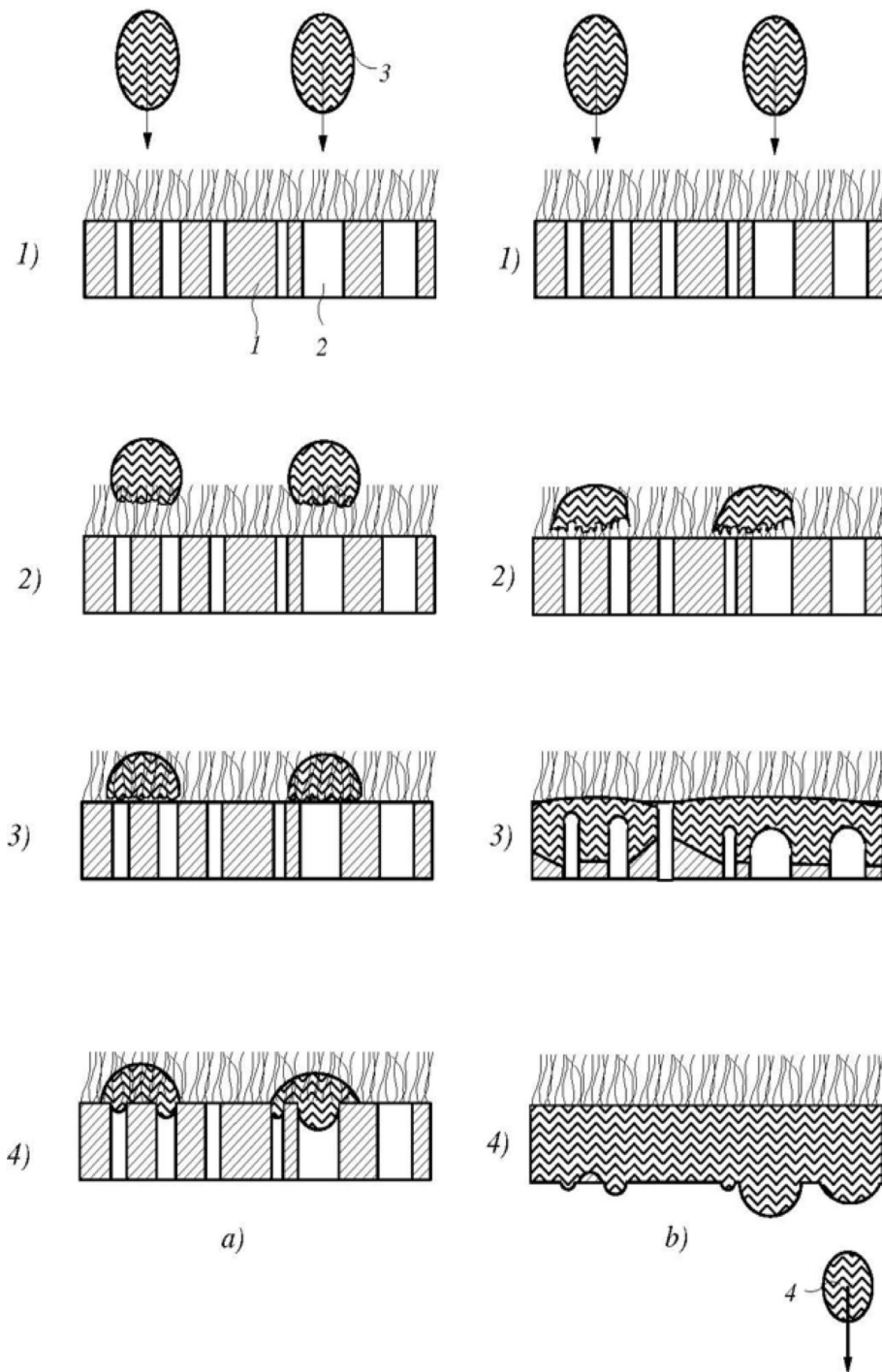
Prečnik posude je 10 cm a prečnik uzorka 14,1 cm, što znači, da je samo polovina uzorka izložena kapima vode odnosno kvašenju. Četiri posudice su postavljene u obliku krsta, tako da se istovremeno ispituju četiri primerka jednog uzorka. Pre nego se nameste uzroci na vrh posudica, izmeri se brzina protoka vode.

Ona je propisana u određenim standardima. Obično se izabere brzina oko 65 ml/min vode, koja se nakupi u jednoj posudici ili 65 ml/min na 78,5 cm². To je površina posudice. Nakon što je brzina protoka regulisana montiraju se primerci na posude, sabirni tanjir se odmakne da mogu padati kapi na primerke. Površina primerka, koja je izložena kapima, je nagnuta 10 do 15 stepeni u odnosu na vodoravni položaj. Motor okreće krst, na kome su pričvršćene posudice sa pet okretaja u minuti. U posudicama su pričvršćeni krstovi za trenje o unutrašnju površinu tkanine. Krstovi se okreću u svaku smer za približno 100 stepeni i naprave po 20 kretnji u minuti.



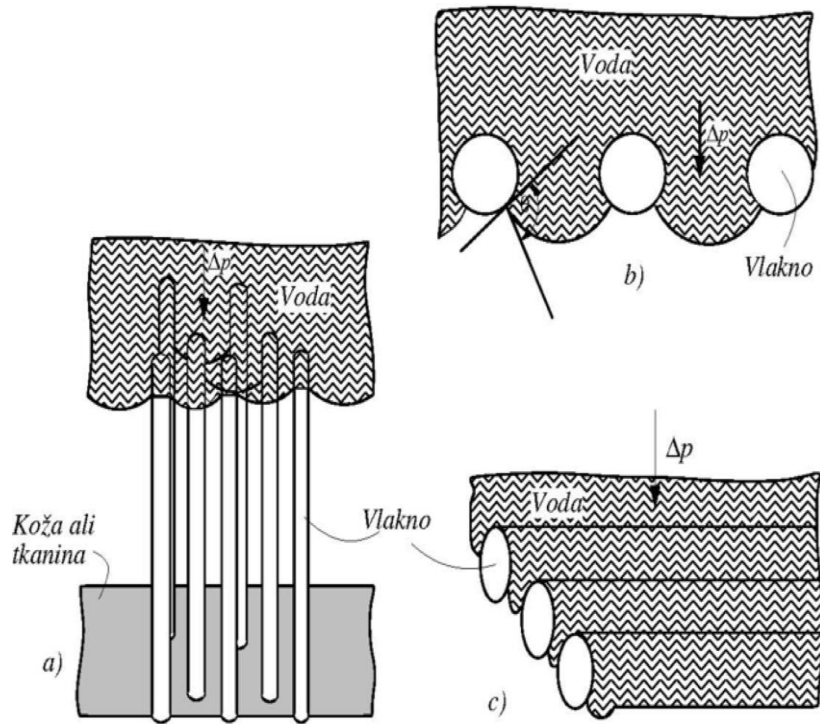
Slika 9-10: Kvašenje tkanine, koja ima golu površinu

a) hidrofobna tkanina: 1) - suva tkanina, 2) - početak kvašenja, 3) - stanje, pre nego je kap došla na suprotnu površinu tkanine, 4) - kap je došla na suprotnu površinu tkanine kroz najveću poru; b) hidrofилna tkanina: 1) - suva hidrofилna tkanina, 2) - prodor vode u tkivo tkanine, 3) - tkanina je potpuno nakvašena osim najmanje pore - prva kap se odvaja od suprotne površine tkanine, 4 - na desnoj strani je tkanina potpuno nakvašena i ponaša se kao, da je pora, koja ima velik promer



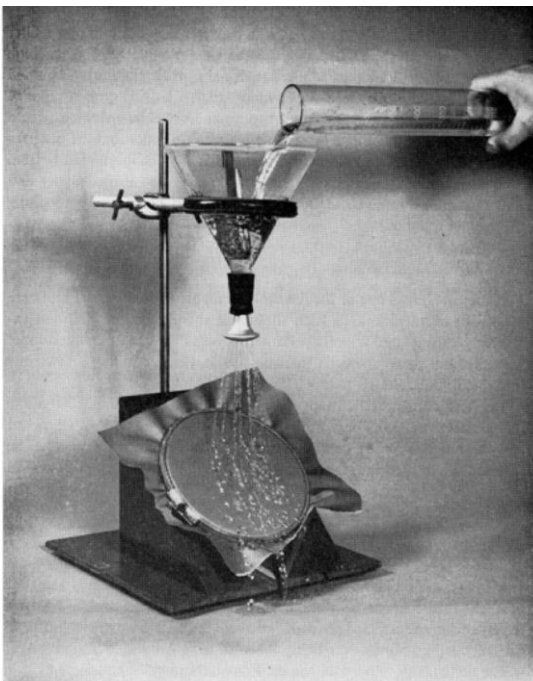
Slika 9-11: Kvašenje tkanine, koja ima kosmatu površinu

a) hidrofobna tkanina: 1) - suva tkanina, 2) - kapi su zadržane na dlakavoj površini tkanine i nisu dosegle tkivo tkanine, 3) - kapi su dosegle površinu tkiva tkanine, 4) - početak prodiranja kapi u pore tkanine; b) hidrofilna tkanina: 1) - suva tkanina, 2) - kapi su dosegle tkivo tkanine, 3) - kapi su skoro dostigle suprotnu stranu površine tkanine, 4) - voda je potpno nakvasila celo tkivo tkanine i jedna kap 4 se odvojila od tkanine

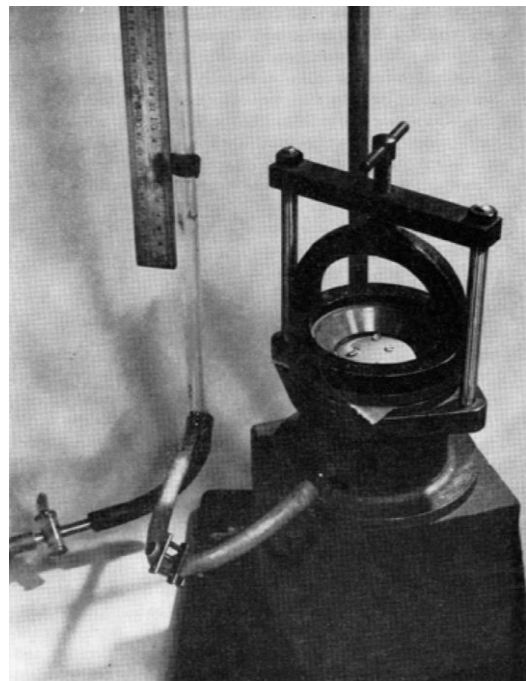


Slika 9-12: Ilustracija dvaju hidrofobnih idealiziranih tipova dlaka

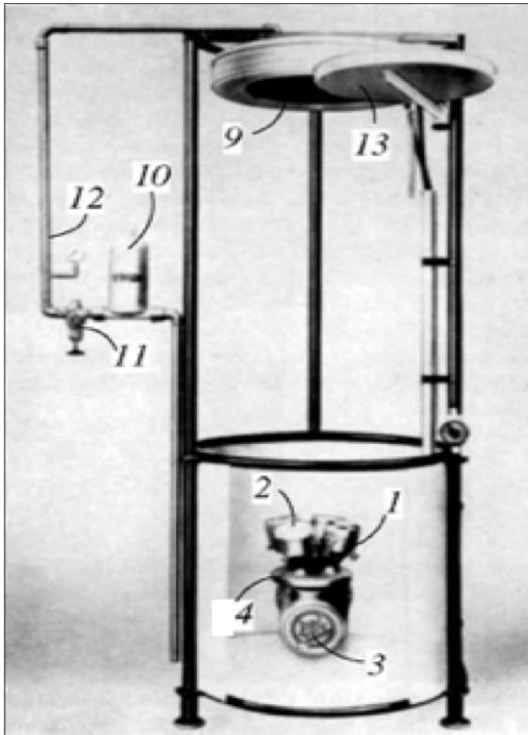
a) uspravna dlka, b) i c) vodoravno postavljena dlaka



Slika 9-14: Spray test



Slika 9-13: Ispitivanje vodo-odbojnog efekta na šoperovom aparatu



Slika 9-16: Izgled Bundesmannovoga aparata:
 1 - posudica, 2 - uzorak tkanine, 3 - motor, 4 - obruč za učvršćivanje, 9 - rešetka, 10 - filter, 11 - reducirni ventil, 12 - manometer, 13 - sabirni tanjir [8]



Slika 9-15: Posudice za montiranje primeraka uzorka:
 1 - posudica, 2 - primerak uzorka, 3 - posudica bez uzorka, 4 - obruč za učvršćivanje, 5 - krst, koji seljulja i tare uzorak sa unutrašnje strane, 6 - ventil, 7 - krst, 8 - stalak krsta [8]

Primerci uzoraka se izlože kapima vode 10 minuta. Potom se opet namesti sabirni tanjir ispod rešetke, isključi motor i skidaju se jedan za drugim primerci uzoraka. Primerak se postavi na vodoravnu okruglu ploču centrifuge. Na ploči su četiri kratke štipaljke, koje pričvrste uzorak da ne sleti sa ploče, kada se počne okretati u vodoravnom položaju. Uključi se motor centrifuge i primerak uzorka se centrifugira 15 do 30 sekundi. Nakon toga se primerak izvaga na vagi sa tačnošću $\pm 0,01$ gram.

Pre nego su primerci uzoraka izloženi kvašenju, bili su klimatizirani i vagani. Nakon pokusa povećaju primerci uzoraka masu, jer obično upiju veću ili manju količinu vode. Priraštaj mase izrazimo u procentima u odnosu na masu klimatiziranih suvih primeraka. Pošto je bilo samo 50% površine uzorka izloženo kapima vode, stvarna količina upijene vode koja je ostala u primerku nakon centrifugiranja je dva puta viša. Osim toga izmeri se takođe i količina vode, koja je možda prodrila u posudicu kroz primerak.

9.5. Primerenost metoda

9.5.1. *Spray test metoda (slika 9-13)*

Možemo pretpostaviti, da se mlazovi vode rasprše u kapi pre nego dotaknu površinu uzorka. Kapi su vrlo velike; pretpostavljamo, da su velike kao kod Bundesmanove metode. Kapi često padaju približno sa visine 20 cm (ova visina se može menjati). Pod tim uslovima će kinetička energija kapi biti oko 110 μJ . Ova vrednost je tokom nevremena i oluje-87 μJ (vidi tabelu 2-1, Poglavlje 2).

Na osnovu gore navedenih vrednosti možemo zaključiti, da se energija kapi podudara sa prirodnim uslovima. Ipak trajanje eksperimenta je vrlo kratko -samo oko 15 sekundi, zbog čega se moguća razlika među različitim vrednostima vodo-odbojnih efekata na tkanini dovoljno ne pokaže.

9.5.2. *Hidrostatična metoda (“mulda”)*

Uopšteno istražujemo vodo-odbojni efekat na tkaninama, koje su bile obrađene vodo-odbojnom impregnacijom. To znači, da ugao kvašenja ima vrednost iznad 90 stepeni. Kod ove metode je razlika pritisaka stalna. U odnosu na jednačinu (9.21) vrednosti ΔP , γ i θ su stalne. Poluprečnik pora r se može razlikovati od jednog do drugog uzorka. r je stvarno hidraulični poluprečnik pora. On ima određenu raspodelu. Ovde je pre svega značajan poluprečnik najviše pore (najveći poluprečnik) i njegov položaj u odnosu na pritisak, koji prouzrokuje voda u obrnutoj piramidi. Ako je pora, koja ima najveći hidrauličnih promer na vrhu piramide- to je tačka u kojoj je najviši pritisak (981 Pa) - može se dogoditi, obzirom na jednačinu (9.21), da kroz takvu poru počne teći voda. Postoji veoma mala verovatnoća da je u tkanini tako velika pora. Uzroke da, uprkos malim prečnicima pora, voda počne da teče kroz tkaninu treba tražiti na drugom mestu.

Oplemenjene tkanine imaju ugao kvašenja manji od 90 stepeni. To znači da su u većem ili manjem obimu hidrofilne. Ako ne bi bile hidrofilne, praktično bi bilo nemoguće oplemenjivanje u mokroj fazi. Zbog toga hidrofobni efekat možemo postići impregnacijom hidrofobnim sredstvima. Vodo-odbojno sredstvo obično nije vezano za vlakno jakim kovalentnim vezama, nego u većini slučajeva vodonikovim vezama i Van der Walsovim silama. Vlakna, koja su ugrađena u tkaninu, imaju vrlo veliku površinu. Malo je verovatno, da će biti sva ta površina prekrivena sa vodo-odbojnom impregnacijom kao filmom. Pošto su vodo-odbojne molekule dugačke, može se dogoditi, da do pojedinih delova površine nemaju pristupa; pre svega tamo gde su, na primer, dva vlakna tesno pripijena jedno uz drugo. Zbog previjanja tkanine može se promeniti međusobni položaj vlakana, tako da se otkrije nezaštićeni deo površine i on je u procesu kvašenja dostupan vodi. Voda može prodreti u vlakno na nezaštićenoj površini i pritom vlakno nabrekne, vodo-odbojni film (sloj) na površini vlakna može puknuti, ako nije dovoljno elastičan. U svakom slučaju se vlakno skvasi. Pored toga nije obavezno da je vodo-odbojni film na površini vlakana dovoljno otporan na previjanje i trenje, što ga takođe može oštetiti.

Što je više vlakana u tkanini, koja nisu zbog bilo kog razloga prekrivena vodo-odbojnim filmom, makar na spoljnoj površini tkanine, tim brže se tkanina nakvasi. Zbog toga je verovatno, da nije sva površina vlakana u tkanini prekrivena sa vodo-odbojnim filmom. Iz toga takođe sledi, da za takvu tkaninu ne važi jednačina (9.21) i da ugao kvašenja stvarno nema konstantnu vrednost, nego se menja sa vremenom. Pored toga navedena jednačina ne uzima u obzir prenos vode kroz vlakna zbog delovanja hidrofilnih grupa u vlaknu (celulozna vlakna, vuna). Uopšteno možemo reći, da postoji u tkanini određena raspodjela veličine prečnika pora i obzirom na navedene mogućnosti, postoji takođe određena raspodjela vrednosti ugla kvašenja. To znači, da su na pojedinim delovima površine tkanine

različiti uslovi za kvašenje i protok vode. Zbog toga je proces kvašenja tkanine stohastična pojava. Pretpostavimo, da ima brzina vode kroz tkaninu približno normalnu raspodelu. Verovatnoću E , da će se voda nalaziti na određenom delu površine tkanine na razdaljini x u vremenu t u smeru suprotne površine tkanine, možemo izraziti sledećom jednačinom:

$$E(x,t) = (\pi rdt)^{-\frac{2}{3}} \exp \frac{x - \bar{x}}{4Dt} \quad (9.26)$$

gde su:

- D - koeficient disperzije;
- \bar{x} - prosečni put, koji pređe voda na određenoj površini u vremenu t u smeru suprotne površine.

Za razliku od koeficijenta difuzije, koeficijent disperzije nije u vezi sa termičkim kretanjem molekula, nego se odnosi na mehaničke efekte, koji se javljaju pri prolazu vode kroz tkanine i druge ravne tekstilne proizvode. Jednačina (9.26) je izvedena pod pretpostavkom, da je kretanje delova vode u smeru, koji je suprotan nakvašenoj površini tkanine, neovisno od jedne do druge tačke na tom putu. Ako se taj put od jedne do druge površine tkanine razdeli, na primer na dužine po 1 μm , može brzina kretanja vode biti različita na bilo kojoj dužina jednog mikrometra uzdužne pore i ne zavisi od brzine, koju je imala u prethodnom sektoru pore. Možemo prihvatiti da je to tako, jer se menja poluprečnik i smer pore kao i kvalitet zidova pore, kada idemo po njoj od početka (jedna površina) do kraja (suprotna površina tkanine).

Obzirom na pre navedeno, možemo zaključiti, da je prolaz vode kroz vrlo guste tkanine, koje su obrađene sa vodo-odbojnom impregnacijom i imaju relativno male hidraulične promere pora, slučajna pojava. To sa druge strane znači, da nam ranije opisana hidrostatička metoda (mulda) ne daje realne rezultate, jer ne znamo, kakva je verovatnoća prolaza vode na suprotnu površinu na pojedinim delovima površine tkanine, odnosno da i u slučaju kada se voda nakon 24 sata ne pojavi na suprotnoj površini tkanine, to još ne znači da je tkanina stvarno potpuno vodo-odbojna.

Problem je u tome da je veoma teško odrediti potreban broj uzoraka za ispitivanje vodo-odbojnog efekta za određenu količinu tkanine, za unapred izabranu statističku sigurnost. Metoda je primerena za ispitivanje vodo-odbojnog efekta na tkaninama namenjenim za ponjave (cerade) i druga prekrivala različitih predmeta, s kojima ih štitimo od mokrine. Kod tih pokrivala se često dogodi, da se voda nakuplja u pojedinim udubinama, koje nastaju na površinama tih prekrivala, što je pomoću ove metode dobro simulirano.

Metoda nije primerna za gornje (vanjske) slojeve odeće, jer u tim slučajevima nema udubljenja u kojima bi se nakupljala voda. Pored toga na unutrašnjoj strani gornjeg (vanjskog) vodo-odbojnog sloja odeće ne postoji gasna faza-vazduh, sledeći sloj je tvrda faza, koja se tare o nju. Kod šatora je tkanina zategnuta i na suprotnoj (unutrašnjoj) strani je pored gasne faze-vazduha takođe i tvrda faza-čvrsta konstrukcija.

9.5.3. Hidrostatična metoda na šoperovom aparatu (slika 9-14)

U biti je ova metoda slična ranije navedenoj metodi u pogledu hidrostatičkog pritiska (visine vodenog stuba) i vremena ispitivanja. Uzorak se učvrsti između dva gumena obruča i sa donje strane uzorka se dovodi voda. Zbog hidrostatičkog pritiska dobije sferni oblik onaj deo površine uzorka, koji je u okruglom otvoru obruča. Isto kao “mulda” ni ova metoda nije primerna za kontrolu vodo-odbojnog efekta na tkanini u samoj proizvodnji, jer je vreme ispitivanja predugo. Rezultati su kvalitativni, pošto se ustanovljava samo da li je voda prodrla na suprotnu površinu uzorka ili ne, isto kao kod ranije navedene metode (“mulda”). Kod ove i pređašnje metode možemo potencijalnu energiju koju stvara pritisak u visini 10 cm vodenog stuba (981 Pa), porediti sa kinetičkom energijom kapi kiše ili kapi kod Spray test metode i Bundesmannove metode. Vodene kapi promera 0,64 cm prekrivaju prilikom pada na tkaninu približno približnu površinu $0,32 \text{ cm}^2$. Valjak koji ima osnovu $0,32 \text{ cm}^2$ i visinu 10 cm, zauzme $3,2 \text{ cm}^3$ zapremine. Ako potencijalnu energiju vodenog stuba pretvorimo u kinetičku energiju, dobijemo u našem primeru oko $320 \mu\text{J}$. Ova količina kinetičke energije odgovara kinetičkoj energiji ($346 \mu\text{J}$), koju ima kap kiše kod nevremena. Obzirom na to pravilno je postavljena visina vodenog stuba. Uprkos tome razlikuje se učinak, koji prouzrokuje kap kiše prilikom pada na površinu tkanine od učinka, koji ima statični vodeni stub. Metoda je primerna za određivanje učinka vodo-odbojne impregnacije na tkanini namenjenoj za šatore, jer je prilikom ispitivanju tkanina napeta i nema nabora kao kod “mulde”; pored toga je uzorak stisnut između gumenih obručeva. Na graničnoj liniji imamo približno takvo stanje kao na onim delovima površine tkanine koji se oslanjaju na konstrukciju šatora.

9.5.4. Hidrodinamična metoda na šoperovom aparatu (slika 9-14)

Razlikuje se od ranije navedene statičke metode po tome, da daje kvantitativne rezultate. Uzorak se zategne u aparat kao kod ranije navedene statične metode, potom se podiže vodeni stub, najčešće za 10 cm/min. Kada se na gornjoj površini tkanine pojavi prva kap ili tri kapi, što zavisi od propisa u standardima, očita se visina vodenog stuba. Ova visina je u određenoj meri zavisna od brzine podizanja vodenog stuba. Na većoj brzini postoji verovatnoća, da će biti i veća visina vodenog stuba, na kojoj će se pojaviti prva kap na gornjoj površini uzorka tkanine. Zavisnost pojave kapi od brzine dizanja vodenog stuba je u neposrednoj vezi sa brzinom prodiranja vode kroz tkaninu. Ipak ni ova metoda, isto kao ni “mulda” i hidrostatička metoda, ne simulira uslove, koji nastaju prilikom dinamičnog udara kapi kiše na površinu tkanine. Pored toga se ovom metodom ne može odrediti vreme prodiranja vode kroz tkaninu, što je vrlo važan momenat prilikom ocene vodo-odbojnog efekta. Ipak metoda je vremenski kratka i odgovarajuća je za tekuću kontrolu vodo-odbojno učinka u samoj proizvodnji, neposredno nakon faze nanošenja vodo-odbojnog sredstva na tkaninu.

9.5.5. Metoda potapanja uzorka

Metoda omogućava određivanje količine vode u procentima koju tkanina može zadržati. Rezultati su reproduktivni, ako je pravilno rešeno odvođenje vode, koja nije vezana za strukturu tkanine. Metoda ne simulira kišu i nije upotrebljiva za određivanje vodo-odbojnog efekta. Veoma je pogodna za određivanje hidrofilitnosti pojedinih proizvoda, kao što su dečje pelene, ulošci i slično.

9.5.6. Bundesmannova metoda

Sa ovom metodom se dobro simulira stanje, koje se pojavljuje na vanjskom sloju odeće kad pada kiša. Uslovi su stroži nego u prirodi. Energija kapi je približno šest puta veća nego što imaju kapi tokom nevremena. Krst koji tare uzorak sa unutrašnje strane, imitira trenje slojeva odeće jednog o drugog, odnosno međusobno trenje pojedinih delova vanjskih slojeva odeće, kao što je površina unutrašnjih delova rukava, koji su uz telo, površine nogavica među nogama kao i trenje nogavica o vanjski deo ogrtača. Pogodna je za određivanje vodo-odbojnog efekta na tkaninama, koje su namenjene za šatore kao i za cerade (ponjave), koje su dovoljno zategnute, da se ne stvaraju udubine, u kojima se nabira voda.

Literatura

1. Morton W. E. in sodel. 1962. Physical Properties of Textile fibres. str.153-164, založ. The Textile Institute Butterworths, Manchester, London.
2. Xelan M. in sodel. 1955. diffusion of Water Vapor through Laminae with Particular Referance to Textile Fabrics. Text. Res. J., Volume 25. 197-223.
3. Jakšić D. 1979. Prenos vodne pare skozi tekstilne izdelke - I. faza. VTOZD Tekstilna tehnologija, FNT, Univerza v Ljubljani, Slovenija.
4. Jakšić D. 1980. Prenos vodne pare skozi tekstilne izdelke - II. faza, VTOZD Tekstilna tehnologija, FNT, Univerza v Ljubljani, Slovenija.
5. Young T. 1855. Phyl. Trans. Roy. SOC. 84., Works, Vol. I., založ. Peacock, Murray, London, str.432.
6. Dupre A. 1869. Theorie Mechanicque de la Chateur. str.368, Paris.
7. Schreideger A. E. 1963.The Physics of Flow Trough Porous Media. založ. Universita of Toronto Press.
8. WATERPROOFING AND WATER-REPEPELLANCY. 1963. Edited by J. L. Moilliet; Elsevier Publishing Company, Amsterdam, London, New York, str. 35 in 283 do 285.

10. OTPORNOST NA TRLJANJE I POJAVA GRUDVICA (PILING)

10.1. Uvod

Projektovanje odeće mora obuhvatiti i repromaterijale, čije osobine uzimamo u obzir u pogledu projektnih zahtevah. Pritom postoje dva postupka: ili konstruišemo i proizvodimo repromaterijal za izradu odeće sa optimalnim osobinama ili projektujemo odeću na osnovu onih repromaterijala sa kojima raspolažemo. Ovaj drugi postupak se koristi samo u vanrednim slučajevima nestašica, na primer tokom rata. Pored ranije navedenih osnovnih parametara, koje moramo uzeti u obzir prilikom projektovanja odeće, navešćemo još nekoliko koji u određenoj meri utiču na upotrebnu vrednost odeće, kao što su: otpornost na trljanje, otpornost na pojavu čvorića, otpornost na deformacije (skupljanja), postojanost boja, tvrdoća, otpornost na gužvanje, brzina prljanja i mogućnost čišćenja, i slično.

Otpornost na trljanje je posebno važan parametar u pogledu trajnosti odjeće. Prilikom projektovanja već možemo propisati i trajnost odeće. Pre svega, to treba tamo gde moramo planirati materijalna i finansijska sredstva za radnu odeću, uniforme i sl. Trajnost odeće zavisi od intenziteta trljanja prilikom upotrebe i kvaliteta repromaterijala (tkanine, pletenine, vlaknovine, konac), iz kojih je odeća izrađena. Intenzitet trljanja možemo ustanoviti pomoću promene mase ili debljine, ili pojave rupa u određenom vremenskom periodu. Upotrebljivost odeće u odnosu na stepen pohabanosti, možemo odrediti pomoću kriterijuma koje za određenu odeću uspostavimo na osnovu iskustva.

Prilikom habanja se ponekad pojave grudvice. Grudvice nisu poželjne i zbog njihove pojave odeća može biti neupotrebljiva, uprkos tome što je praktično nova. Grudvice kvare površinski izgled. Odeća je zaista neupotrebljiva zbog estetskih kriterija. Zbog toga ćemo detaljnije obraditi pojavu grudvica, što će nam omogućiti da izaberemo takvu konstrukciju tkanina ili pletenina koja će onemogućiti njihovu pojavu, ili ih makar smanjiti na najmanju moguću meru kod date konstrukcije tkanina ili pletenina.

10.2. Mehanizam pojave grudvica

Mehanizam pojave čvorića obuhvata sve faze od početka nastanka grudvica (nastanak čupave površine) do otpadanja grudvica sa površine tkanine. Mehanizmom pojave grudvica označavamo sve faze njihovog nastanka i njihovo otpadanje sa površine tkanine. Za naše potrebe će biti dovoljno ako kažemo da se nastanak grudvica sastoji iz tri faze: nastanak čupave površine - čupavljenje površine, nastanak grudvica i otpadanje grudvica sa površine tkanine.

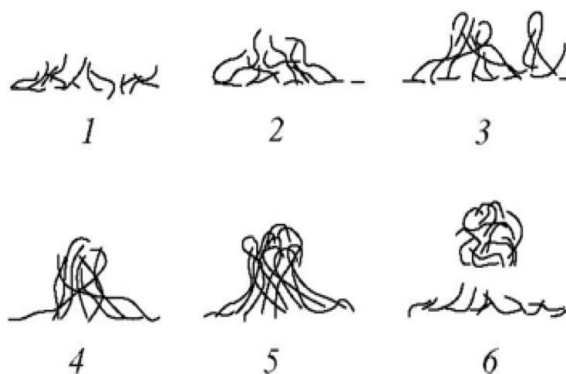
10.2.1. Čupavljenje površine

Posmatrajmo sada drugo vlakno, kod koga nijedan od dva kraja ne strši iz površine tkanine. Vlakno je ugrađeno u pređu tako da srednji deo vlakna strši sa površine vani. Pošto je vlakno uklešteno u pređu sa oba kraja, prilikom „udarca” (abrazije) se ovaj srednji deo bolje odupire promeni položaja nego stršeci deo ranije posmatranog vlakna, zbog čega je verovatno da će abraziv polako početi čupati vlakno iz površine. Ako je vlakno dovoljno dugo, stvoriće petlju i lakše će se za petljati sa drugim vlaknima u grudvice.

10.2.2. Modeli nastanka grudvica

Na slici 10-1 [1] prikazane su faze nastanka grudvica u prvom slučaju. U prvoj fazi već imamo veoma dlakavu površinu. Krajevi vlakana strše iz površine tkanine. To može biti neobrađena tkanina ili tkanina koja je inače imala izgled glatke površine, ali joj se površina pod uticajem trljanja počela čupaviti. U drugoj fazi je površina tkanine veoma čupava. Zbog uticaja trljanja iz površine tkanine strši prilična dužina vlakana i ovi delovi vlakana se počinju međusobno preplitati. U trećoj fazi je međusobno preplitanje stršećih vlakana već toliko da se pojavljuju obrisi buduće grudvice. U četvrtoj fazi već nastaje grudvica, no on je brojnim vlaknima pričvršćen na površinu tkanine. U njemu je naime malo vlakana koja su se potpuno odvojila od površine tkanine. U petoj fazi se grudvica još uvek drži za površinu tkanine pomoću brojnih vlakana, ali se već oblikovala kao „vrat“- izrazito suženi deo koji veže grudvicu za površinu tkanine. U šestoj fazi grudvica otpada sa površine tkanine. Prilikom trljanja se, naime, dve površine kreću jedna na drugu i sila deluje na grudvicu približno paralelno sa površnom tkanine. Zbog toga su vlakna opterećena na istežanje i presavijanje. Vlakna se prilikom svakog ciklusa previjaju, istegnu i rasterete. Pritom se vlakna međusobno zapliću i smanjuje im se sila ukleštenja u pređi. U trenutku kada je zbir svih sila ukleštenja vlakana u pređi, koja čine „vrat“ grudvice, manji od trenutno delujuće istezne sile, grudvica će se otkinuti od površine tkanine.

U drugom slučaju, kada je trljanju izložen srednji deo vlakna, proces je nešto drukčiji. On je prikazan na slici 10-2. Na toj slici je prikazano samo jedno debelo vlakno i to zbog bolje preglednosti. Ovaj Albrehtov model [2] je u pregledu faza identičan sa ranije opisanim modelom, samo što nije prikazana šesta faza - otpadanje grudvice. U prvoj fazi je položaj posmatranog vlakna takav da su oba kraja u tkanini (pređi), ali srednji deo vlakna leži u obliku luka u tkanini, a najveći deo luka strši iz tkanine. Ovaj deo vlakna je neposredno izložen uticaju abraziva. Abraziv „udara“ o taj deo vlakna. Pošto je vlakno na obe strane uklešteno u pređu, jače se odupire promeni položaja nego u slučaju kada iz tkanine strši samo jedan kraj vlakna. Zbog toga će biti veća sila trenja, koja nastane prilikom prolaza abraziva preko vlakna koji ga izvlači iz tkanine



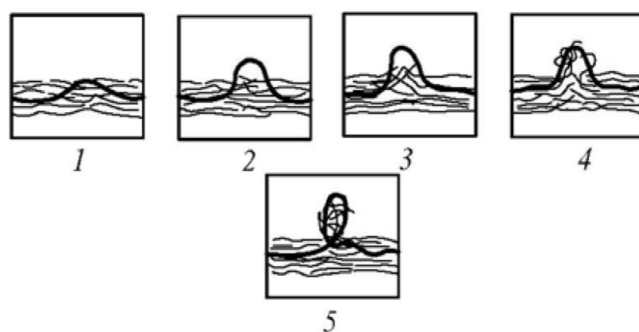
Slika 10-1: Hofmanov model nastanka grudvica [1]

Nakon određenog broja prolaza abraziva preko vlakna može se dogoditi da je sila vučenja odnosno sila trenja, koju izaziva abraziv prilikom prolaska preko vlakna, veća od zbira sila trenja koje u datom trenutku deluju između posmatranog vlakna i vlakana, koja su u neposrednom dodiru sa njim. Zbog toga se prilikom svakog prolaza preko vlakana, posmatrano vlakno izvuče za određenu dužinu iz tkanine i pravi petlju, kao što je prikazano na slici 10-2 u drugoj fazi.

U trećoj fazi je posmatrano vlakno još više izvučeno iz tkanine. Pored toga ovo vlakno prate druga vlakna i neka sa svojim krajevima strše iz površine tkanine. U četvrtoj fazi je nastanak grudvica već izražen, još nemaju „vrat“.

U petoj fazi je posmatrano vlakno već toliko izvučeno da se omotalo oko sebe i pravi petlju, u koju su zahvaćena brojna druga vlakna. Grudvica je konačno oblikovana i ima već „vrat“. Nakon određenog broja prolaza abrazora, grudvica će se odvojiti od površine tkanine i otpasti. Istovremeno nastaju novi i ostaju na površini.

Kad dostignemo stanje da je brzina otpadanja grudvica veća od nastanka novih, broj grudvica će se smanjiti.

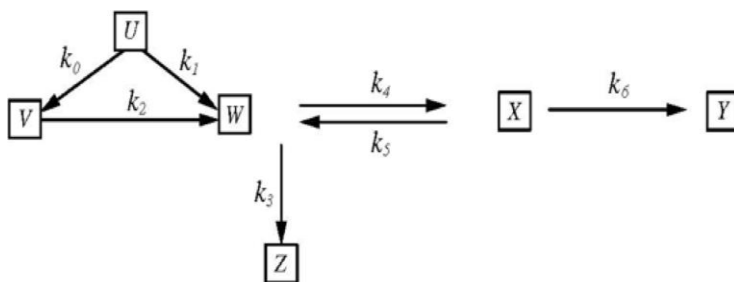


Slika 10-2: Albrehtov model nastanka grudvica [2]

10.3. Kinetički modeli nastanka grudvica (pilinga)

10.3.1. Brand-Bohmfalkov kinetički model nastanka grudvica [3]

Model je razvijen na osnovu analogije sa hemijskom reakcijom. Pretpostavljen je ranije navedeni mehanizam nastanka grudvica sa dodatnim, sporednim fazama. Grudvica može nastati iz već postojeće dlakave površine ili se ona očupavi zbog procesa habanja. Grudvica nastaje zbog međusobno zapetljanih vlakana, a može takođe i zbog stranog tela, kojeg na površinu privuče statički elektricitet kao jezgro, oko koga se formira grudvica.



Slika 10-3: Brand-Bohmfalkov kinetički model nastanka grudvica

U modelu, koji je prikazan na slici 10-3 oznake znače:

- U je koncentracija (težina) tkanine;
- V je koncentracija (težina) kratkih dlačica, koje ne mogu odmah činiti grudvice;
- W je koncentracija (težina) dugih dlačica, iz kojih nastaju grudvice;

- Z je koncentracija (težina) vlakana, koja otpadaju sa površine tkanine, pre nego se zamotaju u grudvicu;
- X je koncentracija (broj ili težina) grudvica koji nastanu na površini tkanine i
- Y je broj grudvica koji otpadaju sa površine tkanine. Čitav proces posmatramo u određenom vremenskom intervalu.

Kao što se vidi iz slike 10-3, postoji u modelu sedam „reakcijskih” (brzinskih) konstanti. Nekima među njima je praktično nemoguće odrediti vrednost. Najpre pogledajmo kako se menjaju pojedine koncentracije sa protokom vremena.

$$\frac{dU}{dt} = -(k_1 + k_0)U \quad (10.1)$$

$$\frac{dW}{dt} = (k_2V + k_5X) - (k_3 + k_4)W + k_1U \quad (10.3)$$

$$\frac{dy}{dt} = k_6X \quad (10.4)$$

$$\frac{dX}{dt} = k_4W - (k_5 + k_6)X \quad (10.2)$$

$$\frac{dZ}{dt} = k_3W \quad (10.6)$$

Ako pretpostavimo da tkaninu čini beskonačan broj vlakana, tako da možemo zanemariti gubitak težine tkanine u vreme testiranja, možemo napisati da je:

$$k_0U = K_0 \quad (10.7)$$

$$k_1U = K_1 \quad (10.8)$$

Posle toga se jednačine 10.1.do 10.3. transformišu u sledeće oblike:

$$\frac{dU}{dt} = -(K_0 + K_1) \quad (10.9)$$

$$\frac{dV}{dt} = -K_0 - k_2V \quad (10.10)$$

$$\frac{dW}{dt} = k_2V + k_3X - (k_3 + k_4)W + K_1 \quad (10.11)$$

Osnovni nedostatak modela je u tome što je pretpostavka u pogledu broja vlakana u tkanini nerealna, pošto prilikom nastanka grudvica ne sudjeluju sva vlakna. Pod određenim uslovima može se tkanina nakon određenog vremena habanja pojaviti kao stabilan sistem u pogledu nastanka grudvica. Iz toga proizilazi da tkanina u većini slučajeva daje određen broj vlakana za nastanak grudvica. Sa druge strane, navedene konstante takođe nisu konstantne tokom čitavog vremena posmatranja nastanka grudvica. Ovo veoma otežava rešenje ranije navedenih diferencijalnih jednačina.

Ako ostanemo kod pretpostavke da su vrednosti ranije navedenih konstanti stvarno konstantne, potom su opšta rešenja ranije navedenih jednačina po vremenu.

$$\ln U = -(k_1 + k_0)t \quad (10.12)$$

$$U = \exp\left[-(k_1 + k_0)t\right] \quad (10.13)$$

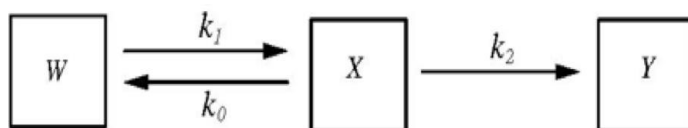
$$U = -(K_1 + K_0)t \quad (10.14)$$

$$V = \frac{K_0}{k} + \left(V_0 - \frac{K_0}{k_2} \exp - k_2 t \right) \quad (10.15)$$

Rešenja svake sledeće jednačine je sve zapletenije i tu ih nećemo navoditi. Čitalac ih može rešiti sam ili pogledati rešenja u literaturi [3]. Vrednosti pojedinih k_j su zavisne od osobina vlakana, pređe i tkanine ili pletenine. Ako znamo vrednosti k_j , može se dogoditi da je moguće izračunati korelacije uticaja pojedinih osobina vlakana pređe i tkanine ili pletenine na određenu fazu mehanizma nastanka grudvica. U ranije navedenim jednačinama merimo koncentracije U , V , W , Z i Y u određenom vremenu i izračunavamo vrednost pojedinih konstanti. Visina dlačica koju pripisujemo koncentraciji V je 1,6 mm do 6,4 mm. Dlačica, koju pripisujemo koncentraciji W , duža je od 6,4 mm. To je takođe kritična dužina za nastanak grudvica.

10.3.2. Pojednostavljeni kinetički model nastanka grudvica [4]

Model je zasnovan na pretpostavci, da prvo nastanu sve dlačice iz kojih potom nastaju grudvice. To onda znači da je brzina nastanka i otpadanja grudvica manja od brzine nastanka čupave površine. Dalje je pretpostavljeno da je takođe brzina raspeljavanja grudvica konstantna. To je prikazano na slici 10-4.

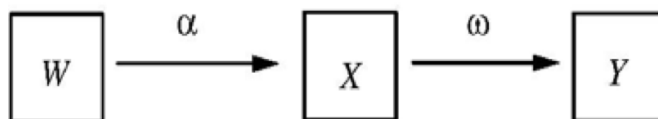


Slika 10-4: Pojednostavljeni kinetički model mehanizma nastanka grudvica

Na slici 10-4 parametri znače:

- W - koncentracija dlačica, iz kojih nastaju grudvice;
- k_1 - brzinska konstanta nastanka grudvica;
- k_0 - brzinska konstanta razvezivanja grudvica;
- X - koncentracija grudvica;
- k_2 - brzinska konstanta otpadanja grudvica;
- Y - koncentracija otpalih grudvica.

Produženjem abrazije (habanja) zapažena je promena oblika grudvica - veličina grudvica se povećava. To je verovatno zbog toga što se vremenom smanjuje vrednost konstantne k_0 , odnosno k_0 nije više konstantna. Ako bi u model uveli još i tu hipotezu, bila bi veoma otežana matematička obrada modela. Zbog takvih pojednostavljenja je teško dobiti dovoljno podudaranje modela sa eksperimentalnim rezultatima. Pod određenim pretpostavkama možemo model na slici 10-4 zameniti modelom na slici 10-5.



Slika 10-5: Alternativni pojednostavljeni kinetički model mehanizma nastanka grudvica [5]

Ako poredimo modele na slikama 10-4 i 10-5, videćemo da nakon nekog vremena trljanja više nisu ekvivalentni. Nas sa praktičnog stanovišta zanima pre svega odnos između broja grudvica na uzorku i vremena abrazije (trljanja). Konstantu α možemo označiti kao brzinu nastanka grudvica i konstantu ω kao brzinu otpadanja grudvica. Početno stanje dlačica (W_0) možemo izraziti brojem grudvica, koje nastaju iz njega. Pojednostavljeni model mehanizma nastanka grudvica temelji na sledećim pretpostavkama:

- da su na površini formirane dlačice iz kojih nastaju grudvice još pre nego su oni formirani ili otpali (na primer $W_0 = \text{konstantno}$);
- da otpadaju grudvice nije tako važno; pre svega nas zanimaju dlake iz kojih nastaju grudvice

- da su brzina formiranja grudvica α i brzina otpadanja čvorića ω konstantne u vremenu, u kome je promenljiv tok krivulje nastanka grudvica (to ne znači raspetljavanje vlakana, nego je takođe brzina raspetljavanje konstantna).

Model možemo opisati sledećim diferencijalnim jednačinama:

$$\frac{dW}{dt} = \alpha W = 0 \quad (10.16)$$

$$\frac{dX}{dt} + \omega X = \alpha W \quad (10.17)$$

Pošto je W količina dlačica kao potencijalni broj grudvica i X - broj grudvica, dobićemo za vreme $t = 0$:

$$W = W_0 \quad (10.18)$$

$$X = 0 \quad (10.19)$$

Ako integrišemo diferencijalne jednačine 10.16 i 10.17 uzimajući granične uslove jednačina 10.18 i 10.19 u vremenu $t = 0$, dobijamo:

$$X = [\exp(-\omega t) - \exp(-\alpha t)] \quad (10.20)$$

$$A = \frac{W_0 \alpha}{\alpha - \omega} \quad (10.21)$$

Konstanta A (jednačina (10.21)) ima drugačiji značaj kod svakog od modela. Druga varijanta modela se može uzeti kao „ekvivalentni model”, pošto kinetika formiranja i otpadanja grudvica daje krivulju nastanka grudvica, koja se podudara sa tim modelom. Parametre krivulje nastanka grudvica možemo izraziti pomoću kinetičkih parametara. Ako nacrtamo $\ln(X(t))$ u zavisnosti od t , dobićemo pravu, ali samo ako je vrednost parametra t , (jednačina (10.21) odnosno jednačina (10.22)), dovoljno velika. Koeficijent smera prave će biti $-\omega$, i prava preseca Y osu na vrednosti $\ln A$. Dakle možemo izračunati konstante A in ω . Jednačinu (10.21) možemo napisati i u sledećem obliku:

$$A \exp(-\omega t) - X(t) = A \exp(-\alpha t) \quad (10.22)$$

Ako ucrtamo $\ln[A \exp(-\omega t) - X(t)]$ u zavisnosti od t , dobićemo takođe pravu. Koeficijent smera prave je α . Ova prava, kao i prethodna seče Y osu na udaljenosti A od ishodišta.

Izračunavanje parametara na ranije navedenim pravima je prilično lako jer α ima mnogo veću vrednost od ω . Ukoliko α nije dovoljno veća od ω , vrednosti $A \exp(-\omega t) - X(t)$ ne leže na pravoj (semi-logaritamska kriva). U tom slučaju moramo aproksimacijom pronaći pravu koja ima koordinate $\ln X(t)$

i Z. Pri tome je moguće izračunati pravu čije su koordinate $\ln[A \exp(-\omega t) - X(t)]$ i t te koeficijent smera - α . Jednačina (10.21) je rešenje jednačina (12.16) i (12.17) samo ako je $\alpha \neq \omega$. Ukoliko je $\alpha = \omega$, dobićemo:

$$X = \alpha \omega_0 t \exp(-\alpha t) \quad (10.23)$$

Jednačina (10.23) je odgovarajuća aproksimativnost u slučajevima kada su vrednosti α i ω veoma blizu jedna drugoj. Vrednosti α i W_0 možemo potražiti direktno tako što ćemo nacrtati $\ln(X(t)/t)$ u zavisnosti od t . Ukoliko vremenska lestvica krivulje nastanka grudvica ne obuhvata celo područje događanja, na primer, ne obuhvata tačku u kojoj su svi grudvice otpali, analiza se može izvesti obrnutim postupkom. Sporo otpadanje $x(t)$ znači da je vrednost ω dosta manja od vrednosti α . Na osnovu toga u kratkim vremenskim intervalima imamo:

$$\exp(-\omega t) = 1 \quad (10.24)$$

Ako uzmemo u obzir jednačinu (10.7), možemo jednačinu (10.23) napisati u sledećem obliku:

$$A - X(t) = A \exp(-\alpha t) \quad (10.25)$$

Uz pomoć aproksimacije je moguće izračunati vrednost A , tako da $\ln(A-X)$ u zavisnosti od t daje pravu, koja seče Y osu u tački $\ln A$. Za ocenu indeksa slaganja, pomoću statističke analize možemo izračunati parametre σ pomoću jednačine (10.26),

$$\sigma = \frac{\left[\frac{\sum (X_i - \bar{X}_i)^2}{N-3} \right]^{0,5}}{\frac{\sum X_i}{N}} \quad (10.26)$$

gde su:

- σ - rasipanje vrednosti rezultata;
- X_i - eksperimentalni broj grudvica u datom vremenu;
- X_j - vrednost, koju izračunamo pomoću jednačine (10.21), uzimajući u obzir vrednosti brzinskih konstanti, izračunatih iz eksperimentalnih rezultata;
- N - broj merenja (očitanja broja grudvica);
- 3 - broj konstanti u jednačini (10.21);
- $(N-3)$ - broj slobodnih nivoa;
- X_i/N - predstavlja prosečnu vrednost broja grudvica.

Vrednost σ se ne može izračunati ako se eksperimentalni rezultati rasipaju proizvoljno oko teoretske krive, ili ako eksperimentalni rezultati simetrično odstupaju od teoretske krive. Podudaranje je dobro, kada je $\sigma < 0$.

10.4. Faze nastanka grudvica i osobine vlakana

Najpre ćemo dati pregled uticaja pojedinih osobina vlakana na određene faze nastanka grudvica.

10.4.1. Formiranje dlakave površine.

Kod ove prve faze nastanka grudvica važnu ulogu igraju: torne osobine površine vlakana (koeficijent trenja), krutost (otpornost na previjanje (savijanje)), prekidna jačina i otpornost protiv habanja.

10.4.2. Nastanak grudvica kod vlakana, koja čine dlakavu površinu

Na tu fazu utiču: oblik poprečnog preseka vlakana, finoća, krutost, brzina relaksacije, torne osobine površine vlakana (koeficijent trenja) i istežanje.

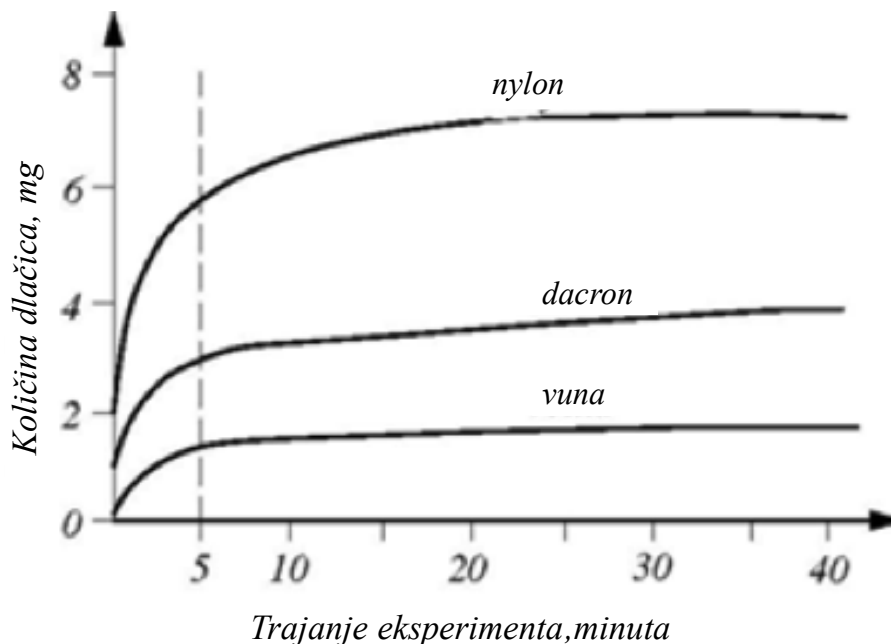
10.4.3. Otpadanje grudvica sa površine tkanine

Na ovu fazu utiču jačina kidanja i životni vek vlakana kod presavijanja.

10.5. Sklonost ka čupavljenju i nastanku grudvica

Ova osobina ima odlučujuću ulogu prilikom nastanka grudvica. Ako se površina ne čupavi prilikom trljanja, nema na raspolaganju materijala – relativno slobodnih vlakna za nastanak grudvica, na površini tkanine se neće pojaviti grudvice. Na slici 10-6 su prikazane krive koje označavaju količinu dlačica, koje nastaju na jedinicu površine u zavisnosti od vremena tretiranja i vrste vlakana. Bez ove osobine nema nastanka grudvica. Zato je veoma važno proučiti uticaj pojedinih parametara kvaliteta vlakana na pojavu čupave površine. Prilikom određivanja toga, pojavljuju se velike teškoće. Neki parametri imaju uticaja na nastanak grudvica u jednoj fazi dok drugi utiču u sve tri faze nastanka grudvica. Pogledajmo sliku 10-4. Vuna je manje sklona nastanku grudvica nego dakron ili najlon. Zbog čega dolazi do toga? Gde su glavni uzroci takvog ponašanja vlakana različitog porekla? Vidimo da je brzina prirasta količine dlačica u početnim fazama, u prvih pet minuta čupavljenja odnosno habanja vrlo velika, a posle toga se količina dlačica relativno malo menja. Ako čupavimo tkanine, postizemo komercijalnu čupavost u prvih pet minuta čupavljenja. Dalje čupavljenje ne povećava bitno čupavost površine. Ovakav rezultat je posledica dva uzroka. Prvo, najpre iščupamo iz tkanine vlakna, koja su relativno slabo „ukleštena” u pređi. Kod daljnjeg tretiranja, potrošićemo mnogo vremena da iščupamo iz tkanine u pređu jače vezana vlakna. Drugo, vlakna otpadaju sa tkanine i brzina čupanja novih vlakana iz tkanine je samo nešto veća od brzine otpadanja već iščupanih vlakana.

Prilikom normalne upotrebe odeće nastaju grudvice ukoliko je tkanina sklona nastanku grudvica, koji na kraju otpadnu. To znači da veći deo vlakana otpadne u obliku grudvica i samo manji deo u obliku pojedinačnih vlakana. Ako tkanina nije sklona nastanku čvorića, onda će sa površine tkanine otpadati pojedinačna vlakna ili otkinuti delovi vlakana.



Slika 10-6: Tipične krive formiranja dlačica kod različitih vrsta vlakana [5]

10.6. Uticaj pojedinih parametara kvaliteta vlakana na nastanak grudvica

Sada ćemo pogledati kako pojedini parametri u osobinama vlakana utiču na nastanak grudvica.

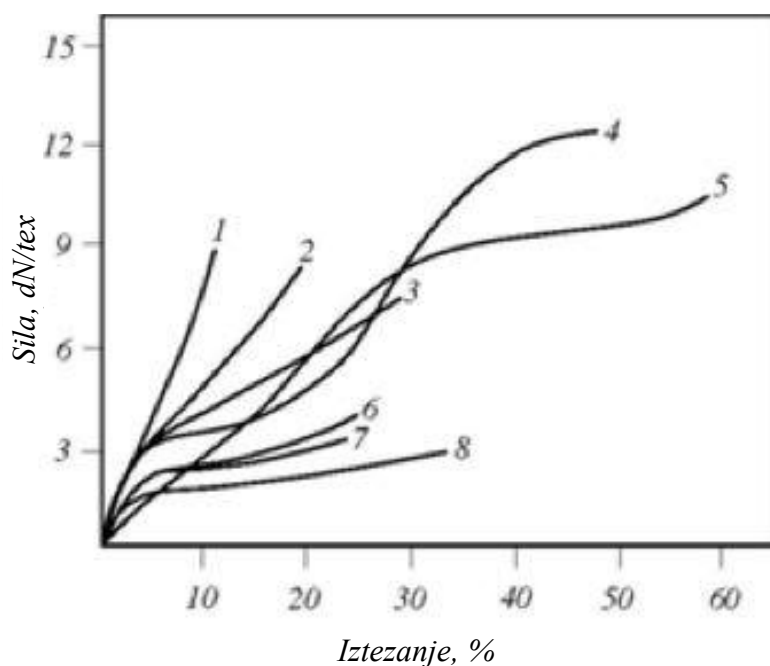
10.6.1. Uticaj prekidne jačine i otpornosti na uvijanje

Prekidna jačina vlakana ima određeni uticaj na nastanak grudvica. Na slici 10-7 su prikazane krive napetost - istežanje za određene vrste tkanina.

Krive sa slike 10-6 možemo porediti sa krivima na slici 10-7. Vuna ima najmanju sklonost ka čupavljenju površine; kod dakrona ili najlona je stanje obratno. Velike su razlike prekidne jačine. Iz toga možemo zaključiti da veća prekidna jačina vlakana takođe znači veću sklonost ka čupavljenju površine i tim veću sklonost nastanku grudvica uz istovremeno pogodne druge uslove.

Pogledajmo ponovo dva ranije opisana slučaja. Deo vlakna jednim krajem viri iz površine tkanine. Ukoliko vlakno ima relativno malu prekidnu jačinu i istovremeno je čvrsto „uklešteno” u pređi i tkanini a sila trenja, koja čupa vlakno, manja od sila trenja koje drže vlakno u pređi i tkanini, postoje dve mogućnosti. Deo vlakna, koji je u pređi i tkanini, ne menja položaj; deo koji strši iz tkanine se može deformirati, delimično promeniti položaj ili ostati u prvobitnom položaju. To važi onda kada je sila trenja, koju prouzrokuje abrazija, kada abrazer ide preko vlakana, manja od prekidne jačine vlakna. Ukoliko je ova sila veća od prekidne jačine vlakna, što znači da je stršeći deo vlakna čvrsto uklešten, abrazijom će se vlakno otkinuti i otpasti sa površine. Slično važi i za drugi slučaj. Iz toga

proizilazi da prekidna jačina utiče na brzinu otpadanja dlačica i grudvica, što možemo ustanoviti nakon dužeg vremena trljanja. Broj čvorića na jedinicu površine je mera za grudvice na tkanini.



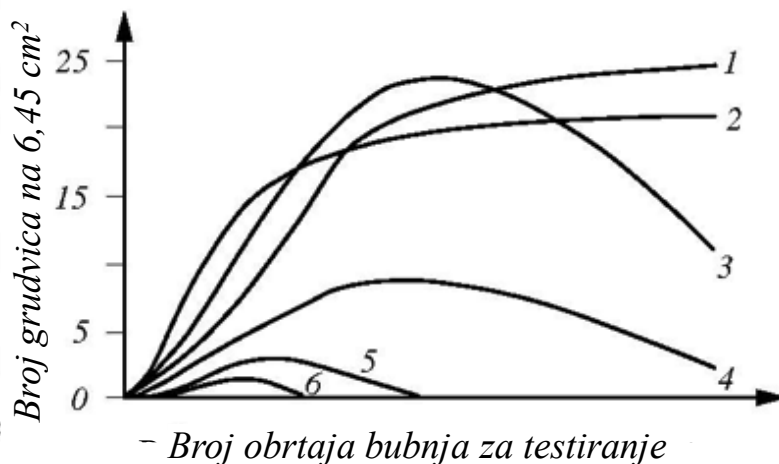
Slika 10-7: Krivulje toka sila - istezanje za neka vlakna
 1 - pamuk; 2 - rajon; 3 - orlon; 4 - dakron; 5 - najlon; 6 - acetat; 7 - vuna, 8 - vikara

Ako pretpostavimo da brzina nastanka dlačica koje imaju dovoljnu visinu za nastanak grudvica na površini tkanine, računato od površine tkanine, zavisi od brzine otpadanja grudvica sa površine tkanine, onda će broj grudvica ostati nepromenjen. Realno, proces teče drugačije. Kao što vidimo sa slike 10-8, kod vune postizemo maksimalan broj grudvica na površini tkanine izvesno vreme nakon formiranja dlačica. Od te tačke dalje je brzina formiranja novih grudvica manja od brzine otpadanja grudvica sa površine tkanine. Kod dakrona i najlona to se ne događa. Prekidna jačina tih vlakana je, naime, relativno velika, zato je brzina nastanka grudvica veća od brzine njihovog otpadanja.

Količinu grudvica možemo smanjiti smanjenjem prekidne jačine vlakana, što vidimo sa slike 10-7. Vlakno se kida zbog kombinovanog delovanja sile istezanja i uvijanja. Zbog uvijanja vlakno oslabi, sa čime se takođe smanjuje prekidna jačina. Jačinu vlakana možemo meriti pomoću broja previjanja, koja vlakno izdrži do prekida. Na slici 10-9 su prikazane krivulje koncentracije grudvica neoslabljenog poliesterskog vlakna i oslabljenih poliesterskih vlakana.

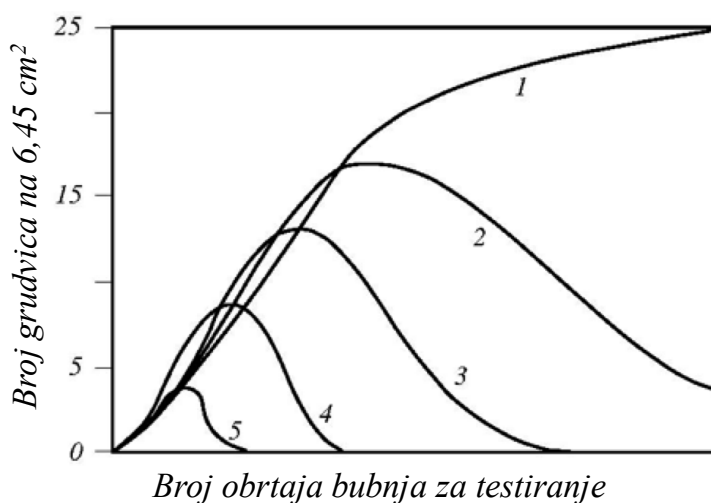
Kriva 1 na slici 10-9 se odnosi na poliestersko vlakno, koja ima prekidnu jačinu 3,9 cN/tex i izdrži 13.000 previjanja; kriva 2 se odnosi na oslabljeno poliestersko vlakno koje ima jačinu kidanja 3,8 cN/tex i izdrži 4.200 previjanja; kriva 3 se odnosi na oslabljeno poliestersko vlakno koje ima jačinu ukidanja 3,6 cN/tex i izdrži 2.900 previjanja; kriva 4 se odnosi na oslabljeno poliestersko vlakno koje ima jačinu kidanja 2,5 cN/tex i izdrži 1.800 previjanja i kriva 5 se odnosi na oslabljeno poliestersko vlakno koje ima jačinu kidanja 1,8 cN/tex i izdrži 800 previjanja.

Kao što vidimo na slici 10-9 kriva 2 već ima maksimum, nakon koga je brzina nastanka grudvica manja od od brzine njihovog otpadanja. To je postignuto pre svega velikim smanjenjem otpornosti na previjanje. Kriva 5 brzo dostiže maksimum i pri tom tipu praktično nemamo pojave grudvica. Jačina i otpornost oslabljenih PES vlakana - kriva 5 su slične vunenom vlaknu.



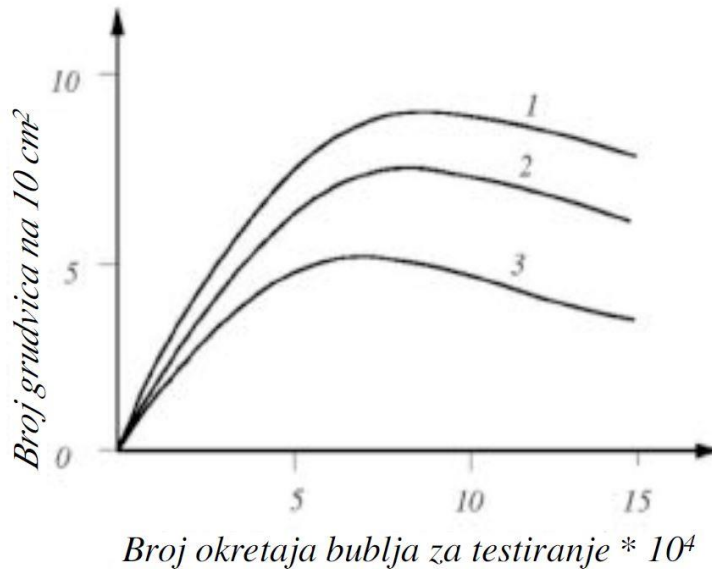
Slika 10-8: Zavisnost broja grudvica na jedinici površine od broja ciklusa (obrtaja) aparata za određivanje koncentracije grudvica [5]

1 - dakron; 2 - najlon; 3 - rajon, 4 - orlon; 5 - vuna; 6 - acetat



Slika 10-9: Krivulje pilinga neoslabljenog poliesterskog vlakna i u određenoj meri oslabljenih poliesterskih vlakana [5]

1 - dakron; 2 - najlon; 3 - rajon, 4 - orlon; 5 - vuna; 6 - acetat



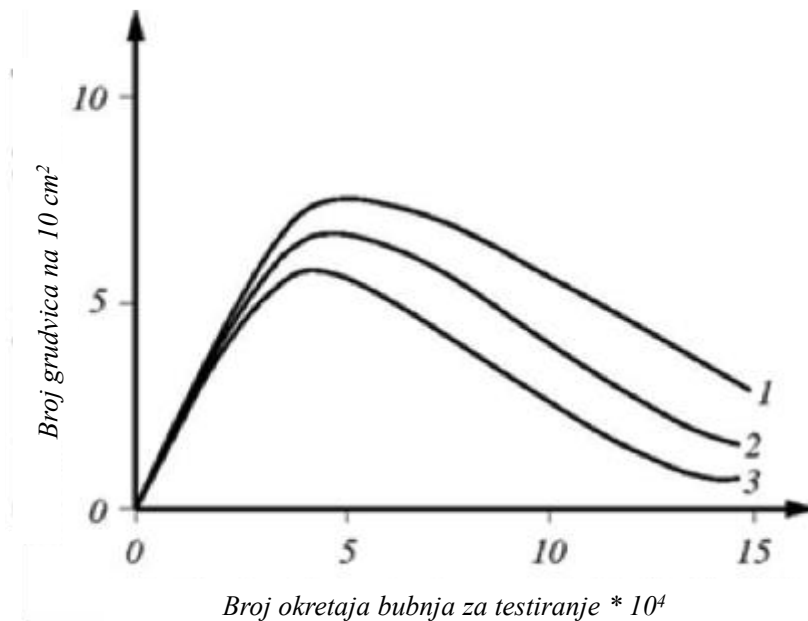
Slika 10-10: Uticaj dužine vlakana na količinu grudvica na tkanini iz poliesterskih vlakana
 Krivulja 1 – dužina vlakana 60 mm; krivulja 2 – dužina vlakana 80 mm I krivulja 3 – dužina
 vlakana 120 mm [5]

10.6.2. Uticaj dužine vlakana

Nije teško zamisliti način uticaja dužine vlakana na pojavu grudvica. Što je vlakno duže, tim veća je verovatnoća da će mu se povećati kontaktna površina sa susednim vlaknima u pređi. Sa povećanjem kontaktne površine takođe se povećava zbir sila trenja, koje nastaju u procesu čupanja vlakana iz tkanine zbog pritiska susednih vlakana na površinu posmatranog vlakna. Ako je vlakno duže, moramo dakle upotrebiti veću silu prilikom čupanja vlakna iz strukture tkanine nego u slučaju kada je vlakno kraće. U početnoj fazi habanja razlike nisu velike. One se povećavaju nakon postizanja maksimuma (vidi sliku 10-10).

10.6.3. Uticaj finoće vlakana

Kada raspravljamo o uticaju određenog parametra na koncentraciju grudvica, uvek pretpostavljamo da ostaju svi drugi parametri nepromenjeni. Abrazija vuče vlakna određeno vreme određenom silom iz strukture tkanine. Abrazija u suštini pritiska na određenu površinu vlakna određenom silom. Što je veća površina, tim veća je ukupna sila koja vuče vlakno iz tkanine.



Slika 10-11: Promena broja grudvica u zavisnosti od broja obrtaja aparata za probu i finoće vlakana na površini pletenine, koja je pletena na okruglim mašinama za pletenje [6]
 1 - finoća vlakana 2 dtex; 2 - finoća vlakana 4 dtex; 3 - finoća vlakana 5 dtex

Sa druge strane kontaktna površina grubog vlakna će biti verovatno nešto veća od kontaktne površine finijih vlakana ili bar neće biti manja. Iz toga prozilazi da će finija vlakna verovatno tvoriti veću količinu grudvica na površini tkanine nego gruba vlakna. Ovde treba uzeti u obzir još nešto. Na jedinici površine tkanine je, naime, veći broj finijih nego grubih vlakana, naravno pritom pretpostavljamo da je konstrukcija tkanine iz grubljih vlakana identična tkanini koja je izrađena od finijih vlakana. Onda će i broj izvučenih finijih vlakana biti veći od broja izvučenih grubljih vlakana. Takođe je razmak među finijim vlaknima manji. Zbog toga je potrebna manja kritična dužina finijih vlakana za nastanak grudvica nego kod grubljih vlakana koja su međusobno udaljenija.

Na osnovu gore navedenih pretpostavki možemo zaključiti da će finija vlakna praviti veću količinu grudvica nego grublja vlakna. Tu pretpostavku potvrđuju rezultati na slici 10-9.

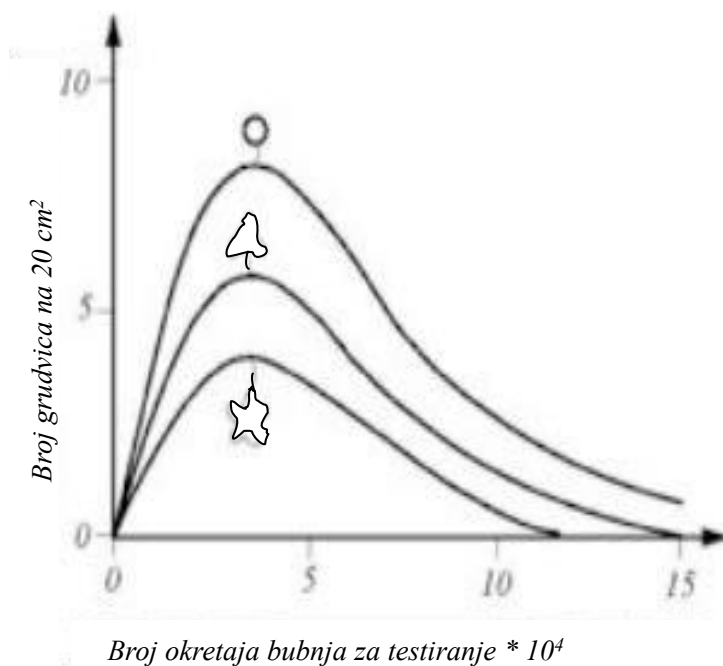
10.6.4. Uticaj oblika poprečnog preseka vlakana

Oblik poprečnog preseka vlakana takođe utiče na količinu grudvica na površini tkanine. Poznajemo najmanje tri oblika poprečnog preseka vlakana: okrugli, u obliku trokake zvezde i u obliku peterokake zvezde. Zamislimo da je abrazor ravna ploča koja pritiska na vlakno i ujedno klizi preko njega. Ako je vanjski promer jednak kod sve tri vrste poprečnog preseka, kao što je to prikazano na slici 10-9, najveću dodirnu površinu sa abrazorom imaće vlakno, koje ima okrugli presek, najmanju vlakno koje ima poprečni presek u obliku peterokake zvezde. To je zbog toga, jer je poluprečnik zakrivljenosti površine kod okruglog poprečnog preseka nekoliko puta veći od poluprečnika zakrivljenosti površine na vrhu krakova kod poprečnog preseka u obliku peterokake zvezde.

Silu, koja vuče okrugla vlakna iz tkanine, možemo uporediti sa silom koja vuče vlakno iz zvezdastog poprečnog preseka. Pošto je pritisak na jedinicu površine kod oba vlakna jednak i pošto je kod vlakna, koje ima okrugli presek, dodirna površina veća nego kod vlakna zvezdastog poprečnog preseka, biće

i sila trenja, koja vuče vlakno iz tkanine veća kod vlakna koje ima okrugli poprečni presek nego kod vlakna, koje ima zvezdasti presek.

Što je sila trenja, koja vuče vlakno iz strukture tkanine veća, tim veća je i verovatnoća da će iz tkanine biti izvučen veći broj vlakana i da će nastati više grudvica na jedinicu površine. Ipak moramo analizirati još i suprotni efekat, koji prouzrokuje veličina dodirne površine među vlaknima u tkanini i pređi. Ako je pritisak, koji čine susedna vlakna na posmatrano vlakno, u oba slučaja jednak, onda je vrlo važna veličina dodirne površine.



Slika 10-12: Uticaj oblika poprečnog preseka i broja obrtaja (vremena delovanja) aparata za testiranje na količinu grudvica na površini tkanine od 100 % poliester [6]

U ovom slučaju od dodirne površine zavisi koliko će biti velika sila trenja, koja se odupire čupaju vlakana iz strukture tkanine. U drugom slučaju, gde susedna vlakna deluju na posmatrano vlakno sa jednakom silom kod okruglog i zvezdastog preseka, dodirna površina ima nešto manju ulogu. Naravno, pretpostavljamo da je koeficijent trenja među vlaknima jednak kod oba oblika poprečnog preseka.

Ako su u pređi dobro paralelizovana vlakna, može se dogoditi da je kod zvezdastog oblika veća dodirna površina nego kod okruglog. Iz pre rešenog proizilazi da je veoma teško doneti zaključak o vrednosti sila trenja, koje sprečavaju čupanje vlakana iz strukture tkanine na njenu površinu. Za sada ćemo pretpostaviti da su te sile jednake, bez obzira na oblik poprečnog preseka. Na slici 10-12 prikazan je uticaj oblika poprečnog preseka vlakana na koncentraciju grudvica (broj grudvica na jedinici površine tkanine iz 100 % poliester). Na slici se jasno vidi da veća kontaktna površina sa abrazorom znači veću količinu grudvica i obratno, veća dodirna površina među vlaknima (trokraka ili peterokraka zvezda) znači manju sklonost nastanku grudvica.

10.6.5. Uticaj krutosti vlakana

Za razliku od otpornosti na uvijanje, koja nam pokazuje koliko previjanja podnosi vlakno (previjanja su pod uglom 90^0), pre prekida, krutost nam pokazuje kolikom silom se vlakno odupire promeni položaja previjanju za 90^0 . Što je manji otpor koji vlakno nudi abrazoru, odnosno što se lakše prilagodi novom položaju, koji zahteva položaj površine abrazora, tim manjom silom će abrazor delovati na vlakno. Sila koja vuče vlakno iz strukture tkanine na njenu površinu će, znači, biti manja kod lako savitljivog vlakna i tkanina će imati manju sklonost nastanku čupave površine i grudvica.

10.6.6. Uticaj koeficijenta trenja

Koeficijent trenja ima veoma važnu ulogu prilikom nastanka grudvica. Što je veća vrednost koeficijenta trenja među vlaknima, tim bolje je vlakno uklešteno u strukturu tkanine, odnosno potrebne su veće sile trenja za čupanje vlakna iz strukture tkanine, ako nije promenjena vrednost pritiska susednih vlakana i veličina dodirne (torne) površine. Po drugoj strani veći koeficijent trenja takođe utiče na povećanje sile trenja, koja vuče vlakno iz strukture tkanine. Bez obzira na to se povećanjem vrednosti koeficijenta trenja povećava verovatnoća smanjenja količina grudvica na jedinicu površine, posebno u slučaju, kada je koeficijent trenja između abrazora i vlakana manji od koeficijenta trenja među samim vlaknima.

10.7. Uticaj parametara kvaliteta pređe na pojavu grudvica

Kao što smo već indirektno naveli kod vlakana, za ponašanje pređe posebno su važna dva osnovna parametara: veličina dodirne površine i veličina sile koja drži vlakna skupa.

10.7.1. Uticaj veličine dodirne površine

Veličina dodirne površine zavisi, pre svega, od načina predenja. Ako pređu predemo po vlačenom postupku, nećemo dobiti dovoljno veliku orijentisanost vlakana, a dobićemo voluminoznu pređu, u kojoj vlakna imaju takav međusobni položaj da ne dozvoljavaju postizanje visoke vrednosti dodirne površine među sobom. U pređi je previše međusobnih ukrštanja vlakana, zato se vlakna među sobom češće dodiruju u pojedinim tačkama nego po čitavoj dužini.

Zbog toga je veličina dodirne površine među vlaknima manja nego kod dobro paralelizovanih vlakana u pređi. Kod nepromenjenog međusobnog pritiska vlakana manja veličina dodirne površine znači manju vrednost sile trenja, koja se javlja kao reakcijska sila u procesu čupanja vlakana iz pređe prilikom nastanka grudvica. Posledica toga je lakše čupanje vlakana iz strukture pređe, lakši nastanak čupave površine i broja grudvica.

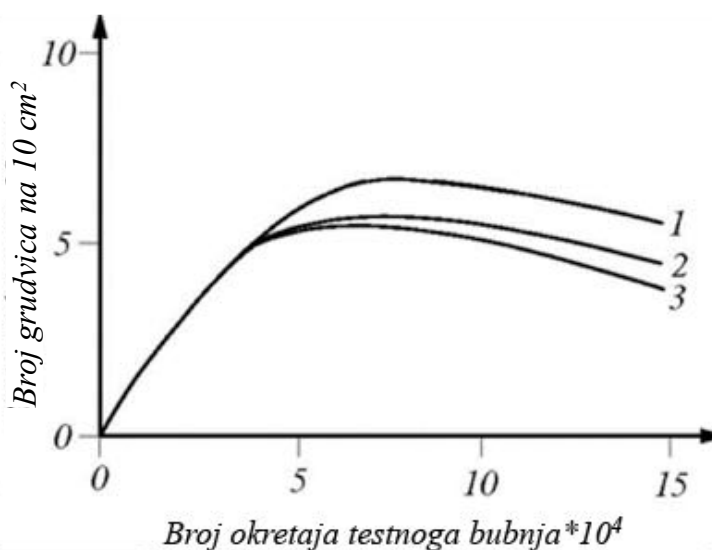
Kod češljane pređe vlakna su bolje paralelizovana i manje se ukrštaju međusobno. Dodirna površina je mnogo veća nego kod vlačene pređe. Zbog toga će uz nepromenjenu vrednost pritiska susednih vlakana na posmatrano vlakno, koje čupamo iz pređe, odnosno tkanine, vrednost reakcijske sile trenja prilikom čupanja vlakna iz češljane pređe biti veća nego što bi bila kod sličnog vlakna u vlačenoj pređi. Možemo, dakle, zaključiti, da će češljana pređa imati manju sklonost čupavljenju i nastanku grudvica.

Kod končane pređe pritisak susednih vlakana na posmatramo vlakno je veći, isto tako i dodirna površina, zbog čega se javlja veća reakcijska sila prilikom čupanja posmatranog vlakna iz strukture

pređe odnosno tkanine. Pored toga je abrazoru izložen kraći deo vlakana nego u jednožičnoj pređi. Iz svega ovog možemo zaključiti da će tkanina, izatkana od končane pređe, imati manju sklonost nastanku grudvica nego tkanina izatkana od jednožične pređe.

10.7.2. Uticaj broja zavoja

Sa povećanjem broja zavoja se takođe povećava pritisak susednih vlakana na posmatrano vlakno. Zbog toga se javlja veća reakcijska sila trenja u procesu čupanja vlakana iz pređe. Pored toga se takođe, sa povećanjem broja zavoja, povećava gustina pređe i smanjuje se međusobna razdaljina između vlakana, odnosno povećava se verovatnoća smanjenja koncentracije grudvica.



Slika 10-13: Zavisnost broja grudvica na jedinici površine (poliesterske tkanine) od broja obrtaja bubnja za testiranje i promene broja zavoja jednožične pređe

1 - 30 tex Z 300 * 2 S 550; 2 - 30 tex Z 550 * 2 S 550; 3 - 30 tex Z 600 * 2 S 550

Na slici 10-13 vidimo da je broj grudvica na 10 cm² površine do 40.000 okretaja jednak kod svih posmatranih pređa, onda se krivulje nastanka grudvica razdvajaju. Ipak razlika nije bitna. Isto ponašanje u početnoj fazi je verovatno posledica približno jednakog broja slabo vezanih vlakana kod sve tri posmatrane pređe. Kad se ta vlakna „potroše“ za izgradnju grudvica, abrazor počinje vući iz pređe i ona vlakna koja su bolje „ukleštena“. Pošto se pojavljuje manja reakcijska sila trenja kod končane pređe, u kojoj jednožična pređa ima 300 zavoja na metar, nego kod pređe koja ima u jednožičnoj pređi 600 zavoja na metar dužine pređe, i kriva 1 zauzima viši položaj nego kriva 3.

10.8. Uticaj vrednosti parametara kvaliteta tkanine na pojavu grudvica

Tkanina je kompleksan sistem i zbog toga je veoma teško predvideti uticaj promene vrednosti pojedinih parametara kvaliteta na promenu njene sklonosti ka nastanku grudvica. Ako uzmemo u obzir ranije analizirane uticaje promene vrednosti parametara kvaliteta vlakana i pređe na pojavu grudvica, verovatno će se izbeći izrada tkanina koje su sklone nastanku grudvica. Kod tkanina ćemo analizirati uticaj prepletaja i čebanja na pojavu grudvica.

10.8.1. Uticaj prepletaja

Međusobno preplitanje niti osnove i potke u tkanini je dodatni stabilizacijski faktor, koji u određenoj meri može smanjiti količinu grudvica na površini tkanine. Dužina flotiranja niti na površini tkanine zavisi od gustine - broja niti osnove i potke na jedinicu dužine i vrste prepletaja. Možemo očekivati da povećanje gustine utiče na smanjenje koncentracije grudvica. Ipak, gustina je ograničena i prilagođena vrsti i nameni tkanine. Zbog toga ne može biti faktor, sa kojim možemo bitno uticati za smanjenje koncentracije grudvica. Neka je gustina konstanta i menjamo samo prepletaj.

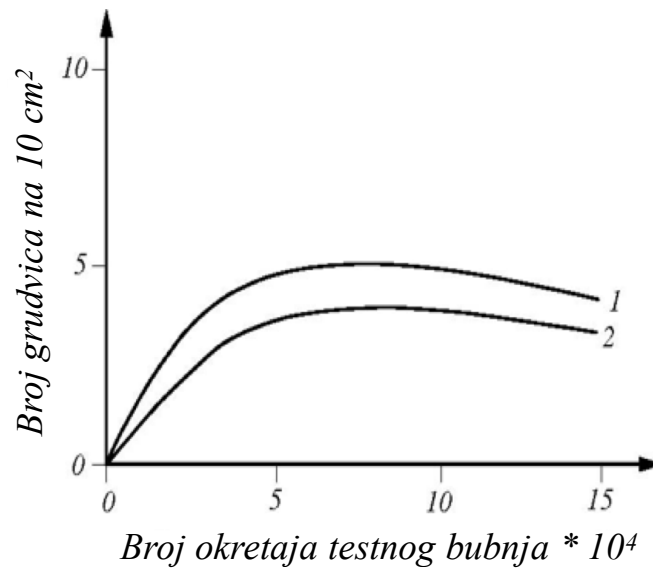
Na slici 10-14 vidimo, da prepletaj platno smanjuje količinu grudvica u poređenju sa prepletajem keper (cirkas 2/2). Kod kepera je dužina flotirajuće niti dva puta veća nego kod platna, uprkos tome se razlika u broju grudvica bitno ne razlikuje. Iz toga zaključujemo da uticaj prepletaja na koncentraciju grudvica nije izrazit, odnosno, morali bismo veoma povećati promenu dužine flotirajuće niti da bismo dobili vidljivu razliku u količini grudvica.

10.8.2. Uticaj valjanja tkanine

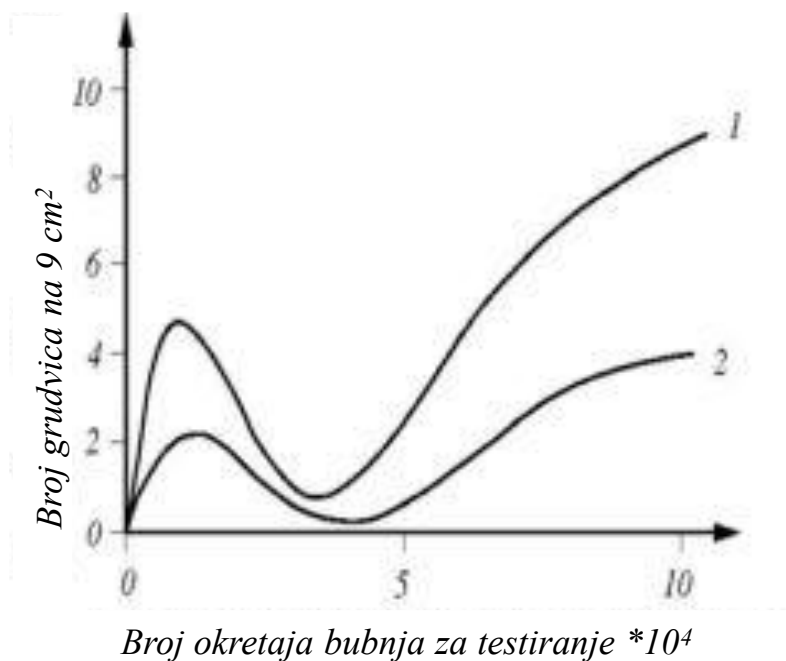
Ovo se uglavnom odnosi na vunene i delimično poluvunene tkanine. Valjaju se pre svega tkanine izrađene od vlačene pređe. Takve tkanine imaju na površini određen procenat vlakana, koja nisu „ukleštena” u pređu odnosno tkaninu ili su slabo ukleštena. Pored toga, vlakna su međusobno zapletena tako da ne stvaraju grudvice. Kada površinu takve tkanine izložimo habanju (trljanju), združe se u grudvica slobodna vlakna na tkanini i vlakna koja su u tkanini slabo učvršćena - slabo ukleštena.

Ukoliko nastavimo sa testiranjem nastanka grudvica - krive su prikazane na slici 10-15, dobićemo i drugi maksimum. Vidimo da malo valjana tkanina daje više grudvica nego normalno valjana tkanina. To možemo delimično objasniti prisutnošću poliesterskih vlakana u tkanini koju predstavlja kriva 1 i delimično sa načinom valjanja. Kako smo već ranije naveli, u normalno valjanoj tkanini vlakna su veoma jako međusobno zbijena. Time se povećava veličina reakcijske sile trenja i iz tkanine se teško izvlače nova vlakna, što nije slučaj kod manje valjane tkanine. Posmatrajmo drugi deo krive - desno od minimalnog broja grudvica. Kriva 1 pokazuje više nego dvostruki broj grudvica u poređenju sa krivom 2. U tom području je pored učinka valjanja prisutan još učinak prekidne jačine poliesterskih vlakana koji produžava „životni vek” grudvica na tkanini.

Zbog toga broj grudvica narasta brže nego kod tkanine iz čiste vune. Na osnovu položaja minimuma možemo zaključiti da je brzina nastanka grudvica na poluvunenoj tkanini samo nešto veća od brzine nastanka grudvica na vunenoj tkanini, ali je brzina otpadanja grudvica sa vunene tkanine vjerovatno dosta veća nego sa poluvunene, i to nakon postizanja minimalnog broja grudvica, posle dostizanja 4.000 obrtaja bubnja za testiranje.



Slika 10-14: Zavisnost broja grudvica (na površini poliesterske tkanine) od broja obrtaja bubnja za testiranje i prepletaja [6]
1 - keper 2/2; 2 - platno

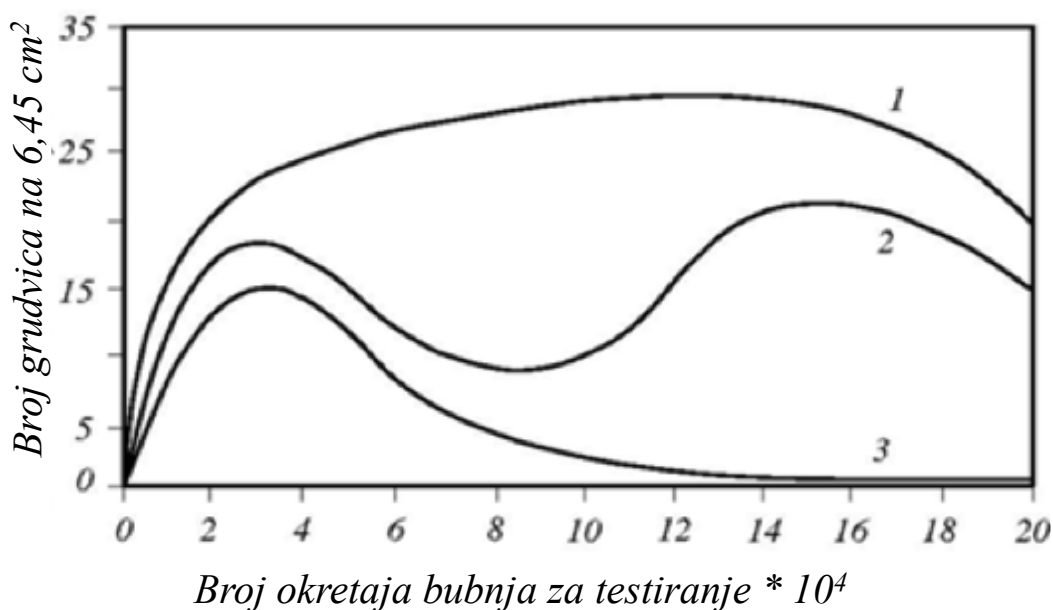


Slika 10-15: Zavisnost broja grudvica od stepena valjanja vunelih tkanina (broja obrtaja bubnja za testiranje) i sirovinskog sastava tkanine
1 - kriva nastanka grudvica na manje valjanoj tkanini (85 % vune i 15 % PES); 2 - kriva nastanka grudvica na normalno valjanoj vunenoj tkanini.

U prethodnom poglavlju smo već naveli kako na nastanak grudvica može uticati određeno vlakno, bez obzira na to što je njegov udeo relativno mali. Moderne tkanine, namenjene za izradu odeće, često su izrađene od mešavine različitih vlakana. U mešavini su najčešće prirodna vlakna mešana sa hemijskim (sintetičkim) vlaknima.

Pogledamo rezultate ispitivanja nastanka grudvica kod različitih sirovinskih sastava. Na slici 10-16 su prikazane tri krive nastanka grudvica. Kriva 3 se odnosi na 100 % vunenu tkaninu, kriva 2 na tkaninu koja ima 85 % vune i 15% vlakana tipa dakron, krivua 1 se odnosi na tkaninu koja ima 70 % vune i 30 % dakrona. Oblik krive 3 je tipičan za vunene tkanine. Kriva 2 već pokazuje jako promenjen oblik. Već u području maksimuma krive 2 kriva 1 pokazuje veće vrednosti nastanka grudvica, ali joj je oblik sličan obliku krive za vunene tkanine. Ovaj deo krive možemo objasniti delimično povećanom brzinom čupavljenja i većom brzinom nastanka grudvida, a delimično smanjenom brzinom otpadanja grudvica.

Kod krive 2 je dostignut minimum na približno 8.000 obrtaja bubnja za testiranje. Nakon toga se broj grudvica počne opet povećavati. Kriva 1 dostiže neizražen maksimum na približno 12.000 obrtaja bubnja za testiranje. Iz ovih kriva vidimo da u vunenim tkaninama čak i relativno mali procenat jakih sintetičkih vlakana u tkanini veoma oslabi osobine tkanine u pogledu nastanka grudvica.

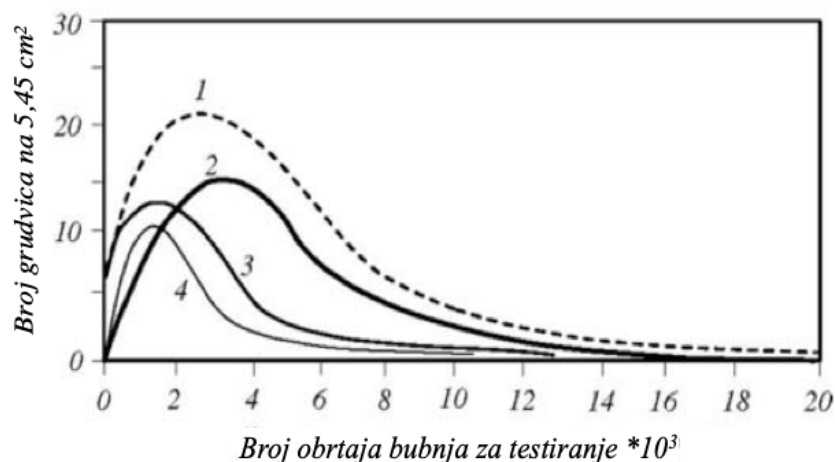


Slika 10-16: Zavisnost broja grudvica od vremena testiranja (broja obrtaja bubnja za testiranje) i sirovinskog sastava tkanine [7]

1 - tkanina od 70 % vune i 30 % dakrona; 2 - tkanina od 85 % vune i 15 % dakrona; 3 - tkanina od 100 % vune

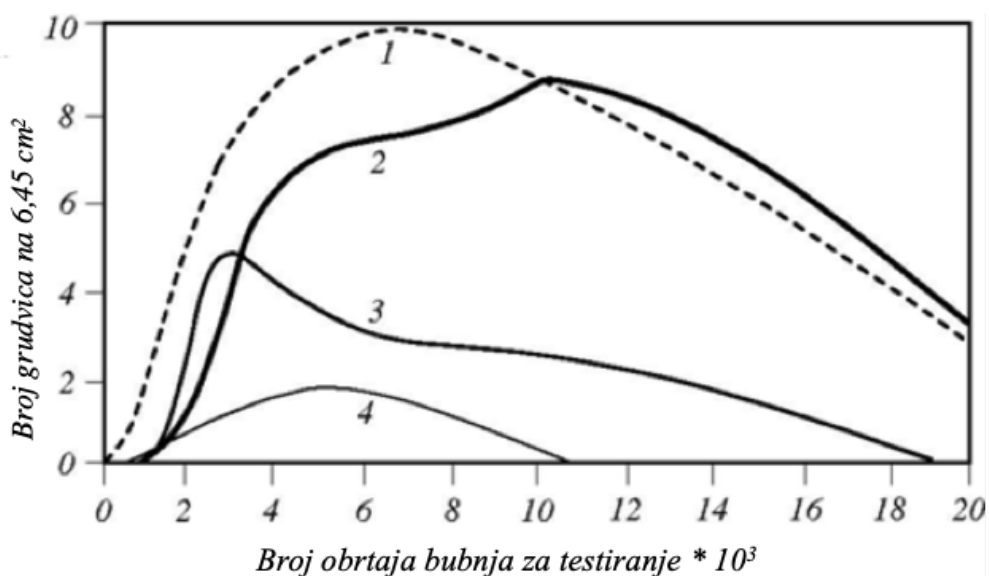
Kriva 4 (slika 10-18) se odnosi na flanelsku tkaninu koja je manje čupavljena i valjana nego flanelska tkanina, koju predstavlja kriva 2. Iz oblika kriva se vidi, da u pogledu pojave grudvica, PAN vlakna imaju slične osobine kao vuna. Iz slike 10-16 takođe vidimo da sve krivulje imaju maksimum i da je brzina otpadanja grudvica posle određenog broju obrtaja bubnja za testiranje veća od brzine nastanka

novih grudvica. Najveći maksimum dostižemo kod tkanina u kojima su viskozna vlakna, posebno ako su, pored impregnacije protiv gužvanja, obrađena vodoodbojnom impregnacijom.



Slika 10-17: Zavisnost broja grudvica od vremena testiranja (broja obrtaja bubnja za testiranje) i sirovinskog sastava tkanine [7]

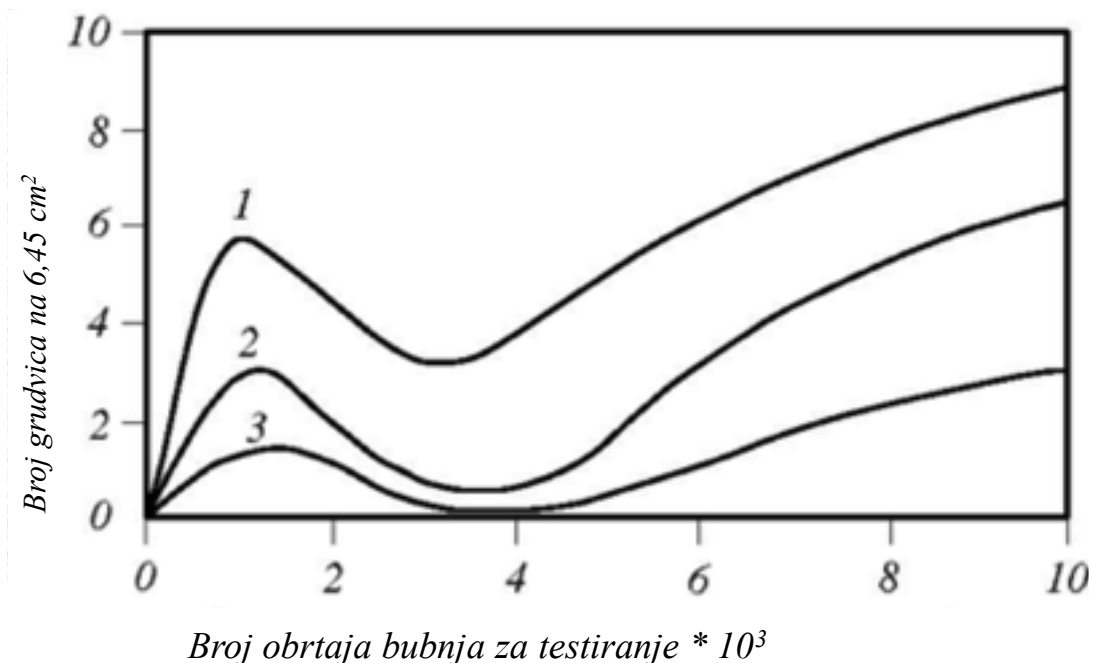
1 - tkanina od 70 % vune i 30 % orlona, 2 - 100 % vuna; 3 - 70 % vune i 30 % dynela; 4 - tkanina od 100 % vune



Slika 10-18: Zavisnost broja grudvica od vremena testiranja (broja obrtaja bubnja za testiranje) i sirovinskog sastava tkanina [7]

1 - tkanina od 50 % viskoze i 50 % dakrona, obrađena protiv gužvanja i kvašenja; 2 - 55 % dakrona i 45 % vune; 3 - 100 % dakron; 4 - tkanina od 50 % dakrona i 50 % viskoznih vlakana - obrađena protiv gužvanja

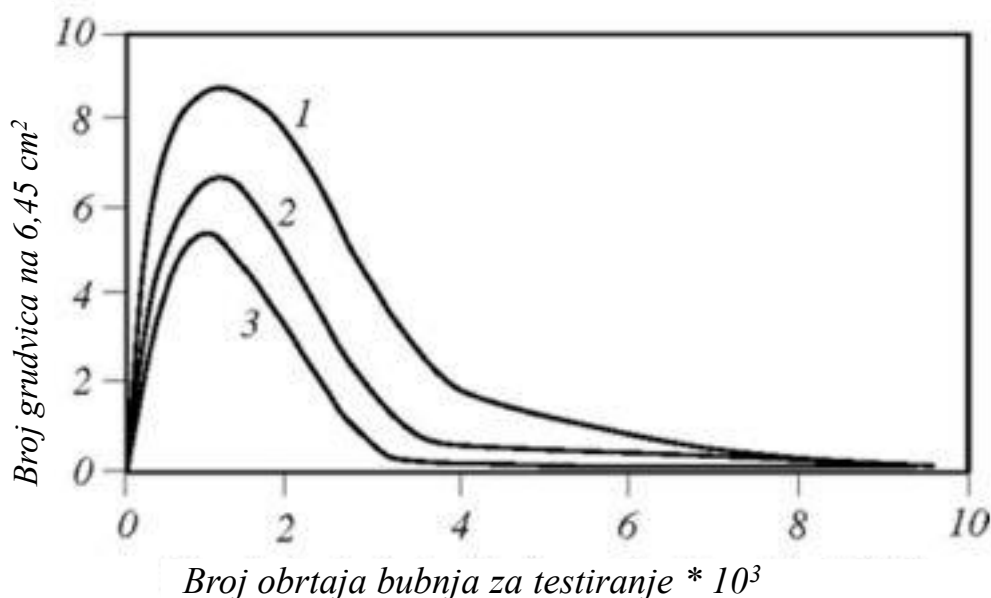
Sa slike 10-17 vidimo da povećanje procenta jakih sintetičkih vlakana u tkanini veoma povećava koncentraciju grudvica (kriva 1). Pored toga se nakon postignutog minimalnog broja grudvica njihov broj počne povećavati, jer sintetička vlakna drže grudvice na površini tkanine, odnosno produžavaju životni vek grudvica. Čim je više tkanina valjana, tim manje je podložna pojavi grudvica.



Slika 10-19: Zavisnost broja čvorića od vremena testiranja (broja obrtaja bubnja za testiranje) i surovinskog sastava tkanina [7]

1 - normalno valjana tkanina i 10 % mešavine najlon/dakron i 70 % vune; 2 - malo valjana tkanina od 15 % mešavine najlon/dakrona in 85 % vune i 3 - normalno valjana tkanina izrađena od 15 % najlon/dakrona i 85% vune

Na slici 10-18 vidimo da je bolja situacija nego na slici 10-17 jer orlon ima manju jačinu na presavijanje nego najlon. Činjenica je da je koncentracija čvorića na maksimumu veća nego na slici 10-17, ali se potom brzo smanjuje. Ovde postoji još i dodatni kriterijum – „izlizana” površina tkanine. Ako je površina tkanine previše „izlizana”, imaće star izgled i može se dogoditi da odeća, izrađena od takve tkanine, nije pogodna za dalju upotrebu. To naravno ne važi za farmerke.



Slika 10-20: Zavisnost broja grudvica od vremena testiranja (broja obrtaja bubnja za testiranje) i sirovinskog sastava tkanina [7]
 1 - normalno valjana tkanina izrađena od 30% orlon/dynela i 70% vune; 2 - malo valjana tkanina izrađena od 15% orlon/dynela i 85% vune i 3 - normalno valjana tkanina izrađena od 15% orlon/dynela i 85% vune

Literatura

1. Jakšić D., Dimitrovski K. 1980. Študij pojava pillinga na tkaninah. XV. strokovni simpozij o novitetah v tekstilni industriji, Ljubljana 1980. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FNT, VTO Tekstilna tehnologija: 293–318.
2. Albrecht W. 1970. Ein Modell des Pilling-Mehanismus. Chemiefasern, 20: 387–396.
3. Brand R. H., Bohmfalkin M. B. 1967. A Mathematical model of pilling mechanisms. Textile Research Journal 37 (6): 467–476.
4. Conti W., Tassinari E. 1974. A simplified kinetic model for the mechanism of pilling. Textile Research Journal J 65 (3): 119–125.
5. Gintis D., Mead J. E. 1959. The Mechanism of Pilling. Textile Research Journal 29 (7): 578–585.
6. Grunewald K. M. 1968. Chemiefasern, 18 (10): 862.
7. Heydeck W., 2/1955 The problem of Pilling in Uniform Cloths. Melliand Textilberichte International 36, 1–6: 149.

11. OTPORNOST PREĐE I TKANINE NA DEFORMACIJE

11.1. Uvod

Stabilnost dimenzija, posebno na gotovim tekstilnim proizvodima kao što su delovi odeće, veoma je važna. Pored toga je takođe značajna otpornost na gužvanje i to pre svega sa estetskog stanovišta. Zbog toga je neophodno, uzimajući u obzir namenu tekstilnog proizvoda, prilikom njegovog konstruisanja, propisati vrstu vlakana i tehnološki postupak koji će nam dati takav kvalitet tekstilnog proizvoda da deformacije - skupljanje i gužvanje, ne budu veće od unapred propisanih vrednosti.

11.2. Otpornost na skupljanje

Ako želimo izbeći skupljanje, potrebno je znati uzroke te pojave. Kao što smo već pominjali, deformacije možemo razdeliti na elastične, visoko elastične i plastične [1]. Ove definicije se javljaju onda, kada na tekstilni proizvod deluje vanjska zatezna sila. Uopšteno govoreći, imamo posla sa vlaknima, pređom ili ravnim tekstilnim proizvodom (tkanina, pletenina, vlaknovinama) čiju prošlost često ne znamo. Deklarisani kvalitet često nije tačan ili nije potpun. Ponekad nemamo tehničkih mogućnosti ili vremena za potpunije ispitivanje kvaliteta vlakana ili proizvoda; zbog toga se može dogoditi da je kvalitet proizvoda slabiji nego što smo očekivali, odnosno da proizvod nije upotrebljiv za određenu namenu zbog prevelikog skupljanja.

11.2.1. Uzrok deformacije (skupljanje ili istezanje) - uopšte

Skupljanje je posebno važno kod tkanina koje se koriste za pojedine delove odeće, pa i za neke druge namene. Skupljanje tkanina može biti posledica stanja vlakana, pređe ili procesa tkanja [2]. Hemijska vlakna mogu biti nestabilna. Nestabilnost je posledica procesa pređenja. Oglada se u plastičnoj deformaciji - istezanju zbog premalog procenta rastezanja prilikom pređenja ili skupljanju, ako je prilikom pređenja vlakana nastala struktura koja ima unutrašnje napetosti. Ove napetosti počinju skupljati vlakno pod uticajem temperature ili, kod nekih vlakana, pod uticajem vlage. Kod sintetičkih (hemijskih) tkanina takve neugodnosti izbegavamo fiksiranjem tkanina određeno vreme na određenoj temperaturi.

11.2.2. Skupljanje vunениh tkanina i pojava napetih (zategnutih) niti

Zategnute niti u vunениm tkaninama se pojavljuje kao posebna vrsta grešaka u tkaninama. S obzirom na konstrukciju tkanine, prepletaj i dezen u tkanini, mogu biti više ili manje uočljive. Jasno vidljiva izbočina ili grba na tkanini, gde se pojavljuju deformacije, znak je da su na tim mestima prisutne zategnute niti. Zategnute niti, pre svega u češljanim vunениm tkaninama, smanjuju njihovu estetsku i samim tim prodajnu vrednost. Ova pojava nije nova. Sa njom se inače sreću tekstilne fabrike koje proizvode vunene tkanine.

Neki autori [3 do 10] objašnjavaju pojavu zategnutih (napetih) niti sa vidika proizvodnog iskustva. Smatraju da napete niti nastaju kao posledica neravnomernog istezanja mokre vunene pređe. Tako istegnuta pređa se tokom procesa tkanja fiksira u novonastaloj sirovoj tkanini. U većini slučajeva ova pojava u sirovoj tkanini nije jasno vidljiva. Tek nakon postupka pranja i sušenja sirovih tkanina se ta deformacija pokaže u punoj meri.

Pokušaćemo obraditi pojam zategnutih niti, za koji mislimo da je posledica strukturalnih promena u vunenom vlaknu. Ako uzmemo u obzir dosadašnje radove o toj problematici, zaključujemo da te promene uglavnom nastaju kao posledica istovremenog delovanja više različitih činilaca na vunenu pređu u pojedinim fazama izrade tkanine. Ovi činioci su uglavnom napetost, vlaga i temperatura; treba uzeti u obzir i vreme delovanja tih činilaca.

11.2.2.1. Uticaj vlage

Na pojavu zategnutih niti u vunenim tkaninama utiče pre svega neravnomerno raspoređena vlaga i neodgovarajuća napetost pređe [3 do 10]. Tvrdnja se temelji na činjenici da se lakše deformiše mokra nego suva vunena pređa tokom premotavanja, snovanja i tkanja. Poznato je, da voda formira sa alfa-keratinom kontinuiranu molekulsku mrežu. Prisutnost vode u toj molekulskoj mreži, zbog asimetrične raspodele naelektrisanja vodenih molekula, znatno utiče na smanjenje energije veza u vunenom vlaknu. Ovo posebno važi za poprečne veze, jer na tome mestu molekule vode imaju najlakši pristup. Smanjena energija veza se zbog prisutnosti vode pokazuje na obliku krivulje zatezanje - rastezanje. Povećana relativna vlažnost vazduha utiče na povećanje količine vode u vunenoj pređi, što omogućava da se vlažna pređa mnogo više rastezne (uz nepromenjeno istežanje – nepromenena sila raztezanja) nego pređa sa manje vlage. Analizirajući klasični dijagram zatezanje - istežanje vunenog vlakna, možemo izneti nekoliko značajnih zaključaka.

Prelaz iz Hukovog područja u područje velikih istežanja se događa kod iste apsolutne dužine suvog ili mokrog vlakna; to je u stvarnosti početak otvaranja alfa spirala, bez obzira na relativnu vlagu. Na toj tački prelaza napetost je linearna funkcija relativne vlažnosti (napetost pada sa povećanjem vlažnosti). Napetost u Hukovom području nastane kao posledica povećanja dužine intravodonikovih mostova u alfa spirali. Rastezanje vlakna u mokrom stanju do 30% predstavlja reverzibilan proces. Rastezanje veće od 30% prouzrokuje trajne deformacije, jer prelazimo iz područja velikog istežanja u područje trajnih deformacija. Napetost, odnosno silu, u tački prelaza iz Hukovog područja u područje velikih istežanja nazivamo kritična napetost, odnosno sila.

11.2.2.2. Uticaj promene napetosti

Moguća pojava izrazitih variranja napetosti u fazama tehnološkog procesa (pređenje, premotavanje, končanje, snovanje i tkanje) može veoma mnogo uticati na stvaranje početnih uslova za kasniju pojavu deformacija u vunenim tkaninama. Pojava variranja napetosti može mnogo uticati na povećanje broja prekida niti, brzinu premotavanja, pa i na kvalitet snovanja i tkanja. Zbog promene napetosti u pređi, najslabija mesta (tanki i debeli) su potencijalne lokacije na kojima može doći do pojave visoko elastičnih i trajnih (plastičnih) deformacija.

11.2.2.3. Uticaj temperature na mokro vlakno

Promena temperature može znatno uticati na kvalitativne promene u vunenom vlaknu [11].

Prekoračenje kritične napetosti prouzrokuje početak alfa - beta transformacije keratina i usko je povezana sa promenom temperature. Sa povećanjem temperature se smanjuje vrednost napetosti na kojoj se postiže tačka prelaza u područje velikih istežanja (kritična napetost). Promene u vunenom vlaknu su u tesnoj vezi sa temperaturnim intervalom 50 °C do 60 °C [12, 13, 14]. U tom intervalu jedan deo keratina prelazi u gušći oblik, koji ima manju mogućnost ekspanzije. Na toj temperaturi je

još vidljiv prelaz iz područja velikih istezanja u područje trajnih (plastičnih) deformacija. Prilikom povećanja temperature sa 60 °C na 80 °C granica prelaza među tim područjima praktično ne postoji. Ovu pojavu objašnjavamo kao izrazito smanjenje energije poprečnih veza (uključujući cistinske mostove). Ukoliko je istezanje veće od 30%, praktično više nema promene otpora deformaciji vlakana.

U fazi parenja pređe dostiže se stanje strukture vlakana koje znači najmanju unutrašnju napetost. Ova promena je moguća zbog smanjenja energije poprečnih veza u vlaknima. Moguće je, takođe, da dođe do manje promene međusobnog položaja vlakana u pređi. Ta promena takođe daje svoj udeo u smanjenju unutrašnjih napetosti u pređi. Vreme i uslovi relaksacije veoma značajno utiču na eliminisanje visoko elastične deformacije i sa tim, takođe, na eliminisanje unutrašnjih napetosti u pređi. Često odmah nakon okončanog procesa parenja počinje premotavanje te mokre pređe, što može, zbog gore navedenih uticaja, imati za posledicu nastanak napetih niti u vunanim tkaninama.

11.2.2.4. Uticaj ravnomernosti pređe

U procesu pređenja nastupaju određene promene uslova, zbog čega se na pređi pojavljuje izvestan broj debelih i tankih mesta u poređenju sa prosečnom debljinom pređe. Veći broj tankih mesta u pređi može neposredno uticati na povećanje njene finoće, kao i na variranje broja zavoja i na silu trenja među vlaknima. Posledica toga je variranje prekidne jačine uzduž pređe. Na tankim mestima, gde je broj vlakana najmanji, prekidna jačina je po pravilu manja nego na preostalim delovima pređe. Na tom preseku se pređa lakše deformiše nego na ostalim delovima. Prilikom povećanja zategnutosti, se stvaraju uslovi za pojavu visoko elastičnih i trajnih deformacija, pre nego na drugim mestima uzduž nje same. Pojava neravnomerne raspodele deformacija je, pre svega, posledica delovanja određene napetosti uzduž ose neravnomerne pređe. Na otpornost deformaciji pređe utiče pre svega broj vlakana u poprečnom preseku pređe, finoća vlakana, broj zavoja, orijentisanost vlakana, sila trenja među vlaknima i tako dalje. Bolje orijentisana vlakna omogućavaju veću dodirnu površinu, a sa tim se stvaraju uslovi za povećanje adhezijskih sila među vlaknima prilikom povećanja broja zavoja.

U fazama izrade vunениh tkanina javljaju se deformacije pređe, koje zalaze u područje velikih istezanja i u područje trajnih deformacija. Zbog moguće pojave pomeranja (migracije) vlakana u pređi, mogu se u procesu istezanja pređe pojaviti trajne deformacije čak i na manje od 30 % istezanja pređe. U području trajnih deformacija se pokazuju izrazite promene u vlaknu, odnosno pređi. Nastaju nove poprečne veze, pa i nove disulfidne cistinske veze i otvaraju se nove sekcije alfa spirala. Sa druge strane, u pogodim uslovima (vlaga, temperatura, napetost i vreme) delimično nastaje trajno fiksiranje promena u vunenom vlaknu. Trajne deformacije u pređi su, dakle, verovatno delimično posledica međusobnog pomeranja vlakana u pređi i, pre svega, trajnih deformacija u vlaknima.

11.3. Jakšićev model transformacije dužine niti u vunanim tkaninama

11.3.1. Polazne pretpostavke

Zategnute niti u vunanim tkaninama mogu imati različito poreklo. Najčešće je to visoko elastična deformacija vlakana u pređi. Zbog toga ćemo se ograničiti na tu pojavu. Zategnute niti u vunanim tkaninama koje je proizvodila tekstilna industrija u bivšoj Jugoslaviji nisu bile retka pojava [15]. Još uvek se susrećemo sa tim problemom, u slučaju kada realizacija pojedinih faza izrade vunениh tkanina

nije optimalna. Na to su posebno osetljive češljane vunene tkanine. Uprkos popravljaju grešaka, takve tkanine ne možemo uvrstiti u prvu klasu kvaliteta. Ako su zategnute niti u tkanini posledica visokoelastičnih deformacija, obično je tih grešaka toliko da ih se ne isplati popravljati. Radi toga mogu nastati velike štete u proizvodnji. Zategnute niti se mogu pojaviti u osnovi i u potki. Niti osnove mogu biti zategnute zbog nepravilne pripreme osnove. Parena vunena pređa za osnovu i potku obično nema unutrašnjih napetosti, koje su posledica pređenja i končanja. Uprkos tome mogu nastati visokoelastične deformacije u sledećim fazama prerade pređe u tkaninu. Pre nego što to analiziramo, nakratko ćemo obrazložiti vrste oštećenja koje navodimo. Ako se pređa pod uticajem vanjske sile rastegne za određen procenat, u našem slučaju manje od 2%, i nakon prestanka delovanja vanjske sile se odmah vrati na prvobitnu dužinu, govorimo o elastičnoj deformaciji. U tom slučaju je vanjska sila manja od kritične sile ili kritične zategnutosti. Ako je početna dužina uzorka vunene pređe L_0 i pod uticajem vanjske sile je rastegnemo na dužinu L_1 ($L_1 > L_0$), onda nam pokazuje dužina $L_1 - L_0$ veličinu ukupne deformacije. Kada vanjska sila prestane delovati, pređa se odmah vrati na dužinu L_2 ($L_2 > L_0$). Kod vunene pređe to je tako, samo ako smo je rastezali više od 2%. Nakon toga ostavimo pređu u slobodnom stanju jedan sat i po. U tom vremenu ona se dodatno skupi na dužinu L_3 ($L_2 > L_3 > L_0$).

Dužina $L_2 - L_3$ je deo visokoelastične deformacije. To znači da je visokoelastična deformacija funkcija vremena. Dužina $L_3 - L_0$ predstavlja deo plastične ili trajne deformacije. Kao što ćemo kasnije videti, moguće je komponentu visokoelastične deformacije privremeno zamrznuti pomoću fiksiranja novoformirane strukture u vunenim vlaknima, koja nastane u procesu deformacije pređe. Ako kasnije tu fiksiranu strukturu „odmrzemo” (mokra dorada vunenih tkanina), oslobodiće se visokoelastične deformacije; vlakna i pređa u tkanini se skupljaju i tako nastaju napete niti u vunenim tkaninama.

Ako, na primer, posmatramo premotavanje pređe sa križnih konusnih kalemova na potkine kalemove (tkanje na konvencionalnim tkačkim razbojima), pojavljuju se, osim elastičnih, još i visokoelastične i plastične deformacije, iako za posmatrani kvalitet pređe nismo menjali uslove premotavanja u pogledu brzine i zategnutosti pređe. Iz iskustva znamo da pod tim uslovima ranije nismo imali nikakvih problema koje prouzrokuje visokoelastična deformacija. Uzroke za tu promenu moramo potražiti u stanju pređe koju prerađujemo u tkaninu.

Pređa je nakon faze parenja potpuno mokra ili je vlažnija nego na 65 % relativne vlažnosti vazduha ili na vlažnosti vazduha u tkačnici. To znači da pređa nakon faze parenja nije dobro osušena. Razlozi za to mogu biti veoma različiti. Možda je vreme sušenja bilo kratko, temperatura vazduha za sušenje preniska, ili je u aparatu za parenje pređe bila greška koju nismo pravovremeno otkrili.

Vlažnost (voda) u pređi nije ravnomerno raspoređena. To se može dogoditi zbog nepotpunog sušenja nakon parenja i prekratkog vremena „aklimatizacije” pređe, zbog čega preostala voda nema dovoljno vremena za ravnomerno raspoređivanje po čitavom konusnom (krstastom) kalemu. Ako pređa nije dovoljno osušena, obično su slojevi, koji su najbliži cevki u kalemu, najvlažniji.

Može se dogoditi da se nakvasi deo konusnog kalema nakon parenja i sušenja, može na deo površine konusnog kalema kanuti jedna ili više kapi vode. Mokar ili vlažan konusni kalem ima nakon parenja na različitim mestima različitu temperaturu. To se, pre svega, odnosi na unutrašnje slojeve konusnog kalema. Kao što smo već naveli, sa povećanjem temperature mokre vunene pređe smanjuje se njena jačina, a takođe i nivo kritičnog zatezanja. To znači lakšu deformaciju pređe na takvim lokacijama.

Odmotavanja pređe sa konusnog kalema, prilikom snovanja ili tkanja na beščunkovnim razbojima, menja se napetost u niti. Kod konstantne brzine odmotavanja pređe sa konusnog kalema povećava se ugaona brzina tokom smanjivanja prečnika konusnog kalema. Zbog toga se menja i ugaona brzina odmotavanja pređe sa konusnog kalema. Najveća brzina premotavanja je onda kada se pređa namotava na najveći prečnik normalnog kalema; najmanja je onda kada se pređa namotava neposredno na cijevku, to znači na najmanji prečnik konusnog kalema. Brzina premotavanja varira približno u granicama $\pm 40\%$ do 50% [15]. Napetost u niti je srazmerna sa kvadratom ugaone brzine, zbog čega je variranje napetosti još izraženije od variranja ugaone brzine premotavanja. Pošto je ugaona brzina srazmerna sa kvocijentom brzine odmotavanja i poluprečnikom konusnog kalema, ona će rasti sa smanjenjem poluprečnika konusnog kalema. Ugaona brzina je najveća neposredno pre nego što se sva pređa odmota sa konusnog kalema.

Zategnutost takođe varira zbog promene dužine balona. Dužina balona je najkraća dužina od najbližeg vodiča uz konusni kalem do površine, koju zamišljamo da normalno preseca konusni kalem. Na obodu te površine je tačka u kojoj pređa prelazi iz mirovanja u kretanje. Ta tačka putuje u obliku zavojnice od početka do kraja sloja križnog kalema i nazad. Zbog toga se takođe menja dužina balona. Pošto je dužina konusnog kalema najčešće u granicama 10 do 20 cm, za toliko se takođe menja dužina balona, koga čini pređa prilikom odmotavanja konusnog kalema. Napetost u niti je srazmerna sa kvadratom dužine balona, što prouzrokuje veliko variranje njene vrednosti. Prilikom odmotavanja određenog sloja pređe sa konusnog kalema najveća zategnutost nastaje kada je dužina balona najveća, i istovremeno se pređa namotava na najveći prečnik kalema potke. Postoji velika opasnost da je ta maksimalna napetost veća od kritične napetosti (na primer u vlažnom delu pređe), koja je slučajno u tom trenutku u polju kretanja pređe. Rezultat te istovremenosti su viskoelastične i plastične deformacije ili čak prekid pređe. Pređa je tvrdo namotana na konusni kalem, osim u slučaju kada pređu bojimo direktno na konusnom kalem. Zbog tvrdog namotavanja ne postoji mogućnost relaksacije viskoelastične napetosti. Ukoliko dođe do tog oštećenja na mokrom delu pređe, pređa će se u većini slučajeva osušiti. Zbog toga se novoformirana struktura u vlaknima stabilizira. Do naknadne relaksacije viskoelastične deformacije neće doći tako dugo, dok se ne budu ostvarili određeni uslovi - ponovno kvašenje pređe u tkanini.

Radnu napetost pređe je zbog njene neravnomernosti teško ustanoviti (napetost koja se pojavi u pređi prilikom odmotavanja). U tom slučaju se neravnomernost odnosi pre svega na prekidnu jačinu, odnosno vrednosti kritične napetosti. Ako je faza pređenja pravilno urađena, ne nastaju periodično oslabljena mesta u pređi. Srednja napetost u pređi u fazama tehnološkog procesa, koji sledi nakon parenja pređe, morala bi biti oko 4% prekidne jačine koju ima suva pređa. Ako je pređa veoma ravnomerna, vrednost radnog zatezanja bi smela biti do 10% prosečne vrednosti prekidne jačine. Pošto su obično velika odstupanja od srednje vrednosti, kako prekidne jačine, tako i srednje vrednosti radnog zatezanja, može doći do pojave visoko elastičnih deformacija uprkos relativno niskoj vrednosti prosečnog radnog zatezanja, posebno ako je pređa još i vlažna.

Vlažnost, temperatura, variranje radnog zatezanja i variranje prekidne jačine su u pogledu pojave međusobno nezavisni. Pojava jedne od njih u polju premotavanja - na primer, povećana vlažnost, maksimalna zategnutost ili minimalna jačina pređe, koja je u polju premotavanja, ne zavisi od istovremene pojave uticaja drugih parametara, koji pogoduju lakšoj deformaciji pređe. Istovremeno delovanje dva ili više navedenih parametara u polju premotavanja može prouzrokovati

viskoelastične deformacije zbog kojih se kasnije mogu pojaviti zategnute niti u vunanim tkaninama. Vlažnost, temperatura i variranje zategnutosti kod pređe određenog kvaliteta mogu prouzrokovati čestu pojavu zategnutih niti. Posmatrana pređa može imati određen broj oslabljenih mesta različitih nivoa. Na 1.000 m pređe neka ima, na primer, 20 mesta na kojima je prekidna jačina 10 % manja od srednje jačine, na 10 mesta je manja za 20 %, na pet mesta za 30 %, dva mesta imaju za 50 % manju prekidu jačinu od srednje prekidne jačine. Pretpostavimo da kritično zatezanje varira isto kao i prekidna jačina. Ako posmatranu pređu nakvasimo, a srednja zategnutost i temperatura ostanu nepromenjeni, smanjiće se kritična zategnutost, tako da će maksimalna proizvodna zategnutost biti veća od kritične zategnutosti koju ima posmatrana pređa, pod tim uslovima na svim oslabljenim mestima, koja su bila kod klimatizirane pređe slabija od srednje vrednosti za, na primer, 25 %. Znači, sedam je kritičnih mesta na kojima se mogu pojaviti zategnute niti.

Dalje možemo pretpostaviti da će se viskoelastične deformacije pojaviti na oslabljenim mestima, na kojima je prekidna jačina samo 50 % od prosečne prekidne jačine, ali pod uslovom da je radno zatezanje jednako ili veće od prosečnog radnog zatezanja. Na ostalih pet oslabljenih mesta možemo pretpostaviti da će se pojaviti viskoelastične deformacije onda kada radno zatezanje dostigne maksimalnu vrednost u pređi, koja je trenutno u polju premotavanja ili odmotavanja.

Iako je variranje zatezanja funkcija vremena, može se dogoditi da premotavamo, na primer, jedan sat brzinom 500 m/min (premotavamo 30.000 metara pređe), i da se u polju premotavanja istovremeno ne zadese oslabljeno mesto i nivo zategnutosti, koji je neophodan da dođe do pojave viskoelastične deformacije na oslabljenom mestu. Ipak postoji određena verovatnoća da će se to dogoditi. Sa povećanjem temperature se smanjuje vrednost kritične zategnutosti pređe; s tim se povećava verovatnoća nastanka viskoelastične deformacije uz nepromenjenju srednju vrednost radnog zatezanja

11.3.2. Faze transformacije

Ako uzmemo u obzir polazne pretpostavke i činjenicu da u fazi parenja vunene pređe odstranimo unutrašnje napetosti u pređi, koje nastaju u prethodnim fazama izrade pređe, možemo uzeti parenje kao početnu fazu koja može uticati na pojavu zategnutih niti u vunanim tkaninama kao posledica strukturnih promena u vlaknima, koja čine pređu. Model se sastoji iz osam faza ili stanja pređe. Te faze odgovaraju određenim fazama u tehnološkom procesu prerade pređe u tkaninu. Model je prikazan na slici 11-1. Opisaćemo pojedinačne faze.

11.3.2.1. Prva faza (slika 11-1a)

Prikazan je deo strukture vlakna dužine L_0 . Molekule matriksa su prikazane u rastegnutom stanju, što se u stvarnom vlaknu retko događa. Zbog lakšeg razumevanja procesa transformacije dužine vlakna, možemo dozvoliti takvu idealizaciju. U toj fazi pređa, odnosno vlakna, nisu izloženi zatezanju. U takvom stanju je pređa nakon parenja i sušenja. Moguće je da je pređa na posebnim delovima i pre parenja u takvom stanju.

11.3.2.2. Druga faza (slika 11-1b)

Brojevi predstavljaju: 1, 1', 2, 2', 3, 3' – molekule matriksa (slabo orijentisana faza u vunenom vlaknu, koju uslovno uzimamo kao amorfnu fazu); 4 - mikrofibril koga čini više protofibrila, oni su sastavljeni iz više alfa spirala; 5 - bočne grupe (lanci) i 6 - molekule vode.

Pređu parimo, no ipak je moguće da se pređa nakon parenja i sušenja skvasi pre faze premotavanja, ili da nije bila, bar na nekim delovima dužine, dobro osušena. U oba slučaja pređa je mokra. Kvašenje pređe nakon parenja i sušenja nije česta pojava. Zbog toga ćemo pretpostaviti da se druga faza odnosi na fazu parenja pređe. Na slici 11-1b je prikazano da su se molekuli vode utisnuli među bočne polarne veze, te da povećavaju razmak između molekula matriksa. To prouzrokuje da vuneno vlakno u vodi nabubri. Ova pretpostavka nije obavezna; dovoljno je da molekuli vode dođu u neposrednu blizinu poprečnih polarnih veza. Zbog asimetrije naelektrisanja molekula vode, ona spolja nije neutralna, i veže se na poprečnu polarnu vezu u vlaknu, i to više molekula vode na obe krajnje molekulske grupe bočnih lanaca, koji čine polarnu vezu. Deo energije polarne veze se razdeli na asociране molekule vode, zbog čega se smanji energija posmatrane poprečne polarne veze. Ova pojava omogućava oslobodjenje (smanjenje) unutrašnjih napetosti u pređi u fazi parenja. Sa tim je, naime, omogućena lakša promena položaja elemenata strukture vlakna u stanje najmanje energije, to rezultira najmanjom napetosti u vlaknu.

11.3.2.3. Treća faza (slika 11-1c)

Pređa koji uparimo je obično namotana na konusne kaleme. Parimo je 15 do 20 minuta na temperaturi do 80 °C. Na smanjenje energije veza takođe utiče, pored vodene pare, povišena temperatura (i poprečnih veza, takođe, bez obzira na to da li su vodonikove, polarne ili disulfidne).

U normalno vođenom procesu pređa se nakon parenja osuši i određeno vreme klimatizira, da se preostala vlaga ravnomerno rasporedi i da se temperatura takođe izjednači po čitavoj zapremini konusnog kalema. Ponekad se dogodi da se sušenje i aklimatizacija pređe ne izvedu pravilno. Pređa se ne osuši dobro ili čak ide mokra i neohlađena na premotavanje. U takvim okolnostima je vrednost kritičnog zatezanja pređe smanjena i povećava se verovatnoća da će se pojaviti veća radna zategnutost nego što je kritična zategnutost pređe. U tom slučaju se pojavi transformacija (povećanje)

dužine vlakana odnosno pređe, kao što je prikazano na slici 11-1c. Otvaraju se pojedine sekcije alfa spirala u mikrofibrilu, molekule matriksa klize jedna mimo drugu, kidaju se poprečne veze i nastaju nove. Dužina L_0 se povećava na dužinu L_1 . U modelu nisu prikazane poprečne disulfidne veze i njihovo ponašanje kod te transformacije. Deformacije, koje su obrađene u modelu, se odnose na područje velikog rastezanja vlakana i u tom području obično ne dolazi do kidanja disulfidnih veza.

Bez obzira na to, transformacija dužine, prikazana na slici 11-1c, jeste moguća, jer su disulfidne veze pre svega u matriksu, čije molekule nisu rastegnute, barem ne kod normalno rastegnutog vlakna. Zbog toga se dve susedne molekule matriksa mogu uporedno rastezati, a da se ne prekine disulfidna poprečna veza kojom su povezane. To važi samo do određenog procenta rastezanja. Kod vlakna je to oko 30 % (granica između područja velikog rastezanja i područja trajnih deformacija). Ako je rastezanje veće, počnu se takođe kidati i poprečne disulfidne veze.

Pretpostavimo da je pređa izložena takvim zatezanjima u fazi premotavanja na potkine kalemov (za klasične razboje). To se može odnositi i na fazu snovanje osnove, i fazu tkanja -potkin kalem, i da

nastaju viskoelastične deformacije. Zbog tvrdoće namotavanja na potkine ili konusne kalemove onemogućena je relaksacija viskoelastičnih deformacija - pređa se ne može skupiti. Uprkos tome se delimično oslobodi zategnutost u pređi zbog reorganizacije strukture u vlaknima i promene međusobnog položaja vlakana u stanju najmanje moguće napetosti u datim uslovima. Na pređu deluje sila F_0 u polju premotavanja

11.3.2.4. Četrta faza (slika 11-1d)

Pređa namotana na potkine kalemove je pod određenim naponom (slika 11-1c i 11-1d). Pretpostavimo da pređa ostaje toliko vremena na potkovnom kalemu da se osuši. Zbog toga se povećava energija poprečnih veza - fiksira se novonastala struktura. Na pređu deluje sila $F_1 (F_1 < F_0)$.

11.3.2.5. Peta faza (slika 11-1e)

U tkaninu utkamo suhu, deformisanu potku. Možemo zanemariti zategnutost u potki pre njenog pritkivanja u tkaninu, no ipak u pritkanoj potki nastaje određena napetost zbog višestrukih prelazaka potke sa lica tkanine na naličje tkanine i obratno, kao i zbog toga što u tome području deluju zatezači u smeru potke. Uopšteno, možemo ustanoviti da su niti osnove i potke odmah nakon nastanka tkanine izložene određenim zatezanjima u tkanini. Ova zatezanja se postepeno oslobađaju. Na slici 11-1e potpuno smo zanemarili mogući ostatak zatezanja u tkanini nakon relaksacije. Ipak, ta zatezanja i povećana energija poprečnih veza, posebno ova poslednja, sprečavaju oslobodjenje viskoelastičnih napetosti, odnosno zatvaranje alfa spirala u deformisanom (rastegnutom) mikrofibrilu, kao i skupljanje pređe na prvobitnu dužinu L_0 . Zbog toga u sirovoj vunenoj tkanini obično ne zapažamo zategnute niti, koje bi bile posledice navedenog strukturnog preoblikovanja. Izuzetak je moguć ako smo utkali vlažnu ili mokru potku.

11.3.2.6. Šesta faza (slika 11-1f)

U mokroj doradi, tkaninu nakvasimo, na primer, pranjem. Zbog toga se smanjuje energija poprečnih veza kao u drugoj i trećoj fazi. Novo energetska stanje sistema je takvo da su sile koje deluju u smeru zatvaranja rastegnuteh sekcija alfa spirala reverzibilan (povratan) proces, to znači da su veće od sila koje stvaraju poprečne veze i sila trenja među nitima potke i osnove. Zbog takvog odnosa sila, postepeno se skraćuje potka (skupi se). Potka se skupi u visini vrednosti viskoelastične deformacije ili manje, zavisno od energetska stanja sistema tkanina - pređa - vlakna - voda.

Na slici 11-1f je prikazano samo početno stanje, pre nego se vlakno počinje skupljati. Proces skupljanja se odvija između šeste i sedme faze. U sedmoj fazi (slika 11.1g) je taj proces završen. Ipak je dostignuta ravnoteža sila (pretpostavljamo), pre nego se potpuno zatvore alfa spirale. Na potku deluje sila F_2 .

11.3.2.7. Sedma faza (slika 11-1g)

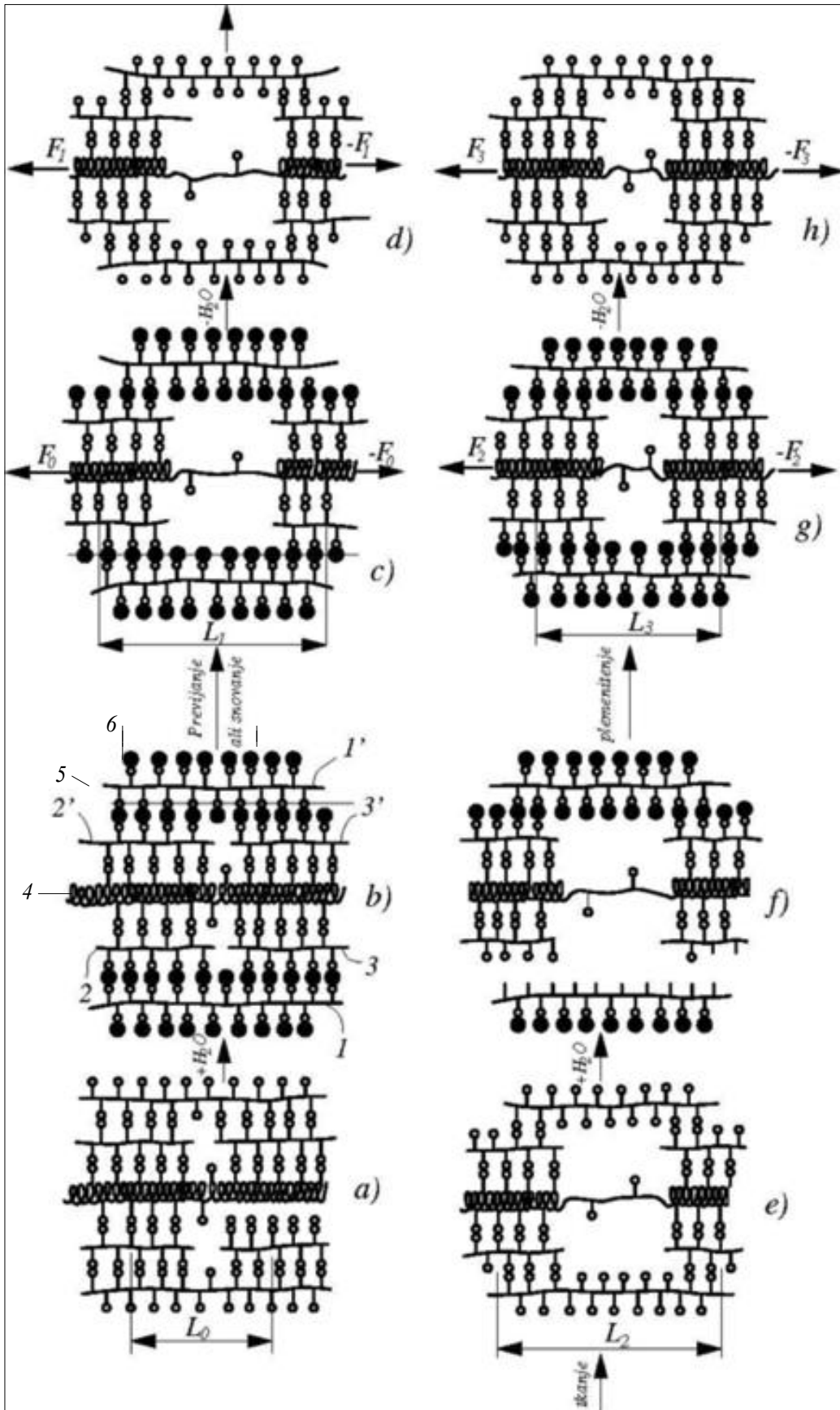
U mokroj doradi ima dovoljno vremena za reverzibilan proces, a to je skupljanje vlakana, odnosno otklanjanje viskoelastičnih deformacija. Ako nisu prisutne trajne deformacije u pređi zbog međusobnog trenja vlakana, i ako ona nisu bila rastegnuta više od 30 %, pređe će se vratiti približno u stanje, kao što ga je imala u drugoj fazi modela. Ukoliko su prisutne i trajne (plastične) deformacije, druga i sedma faza u pogledu strukture pređe neće biti identične. Posmatrano vlakno može imati

jednako stanje strukture u drugoj i sedmoj fazi uprkos prisutnosti trajnih deformacija pređe. To je moguće samo ako vlakno nije bilo u trećoj fazi rastegnuto više od 30 % i ako su sile trenja među nitima osnove i potke bile manje od sila koje su delovale u smeru zatvaranja otvorenih alfa spirala, i ako su se alfa spirale zatvorile u trenutku kada je bila dostignuta ravnoteža među tim silama. Ukoliko je ravnoteža sila dostignuta ranije, onda nastaje stanje koje je prikazano na slici 11-1g. Potka je izložena sili zatezanja F_3 . Postoji kvalitetna razlika između druge i sedme faze čak i u slučaju kad se alfa spirale potpuno zatvore. Vlakno je u drugoj fazi sastavni deo pređe koja je namotana na konusni kalem. Ako je pređa bila pravilno namotana, i ako je faza parenja bila pravilno izvedena, onda posmatrano vlakno nije izloženo zatezanju.

Što smo pretpostavili u drugoj fazi, ili je zategnutost u vlaknu relativno mala. U sedmoj fazi deluje na posmatrano vlakno sila F_2 (slika 11-1g), koja se pojavljuje na deformisanom -rastegnutom delu potke. Njena vrednost odgovara ravnotežnom stanju između sila koje deluju u smeru zatvaranja alfa spirala i sila trenja s kojima se poprečne veze odupiru promeni strukture vlakana, kao i silama trenja između niti osnove i potke.

11.3.2.8. Osmo faza (slika 11-1h)

Nakon mokre obrade, tkaninu osušimo. Ova faza se čini istovetna prvoj fazi u slučaju zatvorenih alfa spirala, ali postoje dve kvalitativne razlike. Pređa je u osmoj fazi izložena sili F_3 . Druga razlika se odnosi na dužinu L_0 . U tkaninu je bila utkana dužina L_2 u petoj fazi, koja se nije promenila do trenutka kvašenja u šestoj fazi. Pri tome nije važno približno skupljanje potke u odnosu na širinu tkanine, jer je stvarna dužina potke nepromenjena. U sedmoj i osmoj fazi se skratila dužina L_2 iz pete i šeste faze na dužinu L_3 . Zbog toga skupljanja potka na deformisanom mestu može biti potpuno zategnuta. Ukoliko je deformacija nastala na većoj dužini, i ako je, na primer, veća od 10 %, zategnuta potka čak naguba tkaninu. Slično se mogu deformisati i niti osnove. Rezultati ispitivanja modela [16] pokazuju da je model validan.



Slika 11-1: Jakšičev model transformacije dužine vunene pređe u tkanini

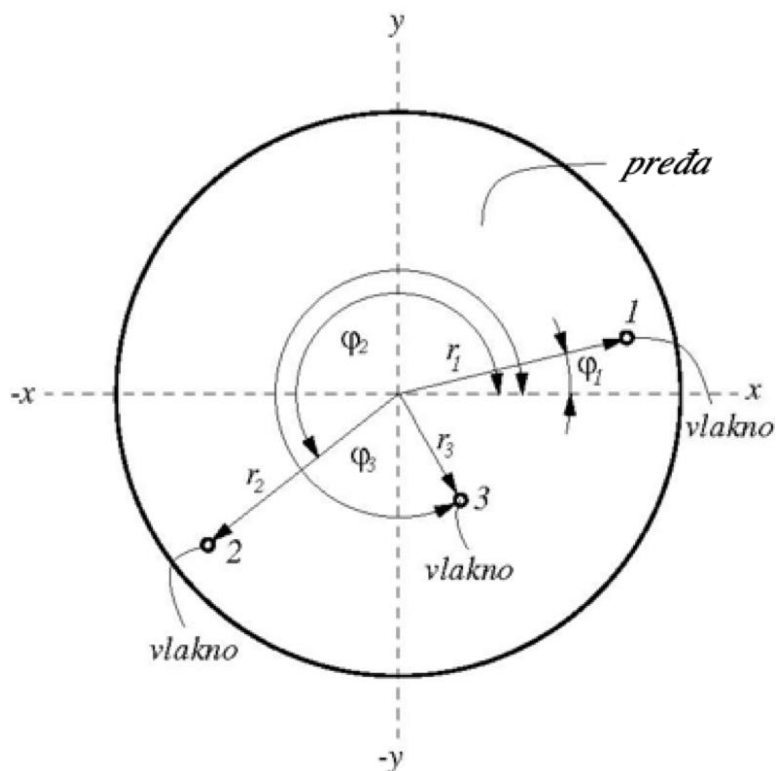


Slika 11-2: Izgled površine vunene tkanine sa napetim nitima, koje opisuje model na slici 11-1

11.4. Jakšićeva studija grbačenja poluvunениh tkanina

11.4.1. Opšte

Vuna je dostupna samo u ograničenim količinama. Zbog toga, i zbog njenih tekstilno- tehnoloških, te upotrebnih osobina, mešamo je sa drugim vlaknima u određenim odnosima. Ako mešanje različitih komponenata vlakana nije dobro izvedeno ili nisu izabrana vlakna odgovarajućih parametara (debljina, dužina), može doći do nastanka dvokomponentnosti pređe i u vezi sa tim do nastanka grbina (izbočina) na tkanini, izrađenoj od takve pređe. Pojavu ćemo ilustrovati na osnovu studije [18], koja se odnosi na određivanje uzroka grbanja tkanine, izrađene od pređe koja je deklarirana kao pređa od 30 % vunениh vlakana i 70 % PAN (poliakrilnitrilnih) vlakana. U testiranoj pređi je stvarno samo oko 23% vunениh vlakana prečnika 38,6 mikrometara. Prečnik PAN vlakana je samo 19,4 mikrometara. Pored toga su vunena vlakna prosečno duga 109 mm, PAN vlakna 118 mm.



Slika 11-3: Određivanje položaja pojedinih vunelih vlakana na poprečnom prerezu pređe

11.4.2. Teoretske osnove

Grbačenje tkanine je veoma kompleksna pojava i teško je možemo potpuno analitički definisati. Na nju utiče veliki broj parametara, koje je teško pratiti i izmeriti. Zbog toga ćemo kod analiziranja pojave upotrebiti određene idealizacije i aproksimacije. Pratićemo faze izrade pređe i tkanine, i pokušati ustanoviti koja faza je odlučujuća za nastanak grba (izbočina) na površini tkanine [16, 17, 18].

Prva faza kod izrade navedene pređe je dupliranje i razvlačenje vunelih i poliakrilnitrilnih traka (topsa). Prilikom te operacije se vlakna međusobno mešaju. Pretpostavljamo da bi tu fazu morali nekoliko puta ponoviti, da bi se zaista dobro i jednakomerno vunena i poliakrilnitrilna vlakna rasporedila po dužini trake i po poprečnom preseku. Ako u toj fazi postignemo dobro međusobno mešanje obe komponente vlakana, onda ne očekujemo da će se bitno promeniti međusobni raspored vlakana u predpredivu na predilici. U neposrednom procesu formiranja pređe na prstenastoj predilici, položaj se naglo menja. Na relativno kratkom putu se pojavljuju velika razvlačenja. U polju nastanka pređe, vlakna su izložena centrifugalnim i nateznim silama. U pogledu dinamičnosti uslova, koji deluju prilikom oblikovanja pređe na svako pojedino vlakno ili čak na delove pojedinih vlakana, dolazi do pojave migracija vlakana [19, 20] u odnosu na njihov položaj u predpredivu. Ako pravimo pređu iz jedne vrste vlakana, duža vlakna će se postaviti bliže osi pređe, a grublja vlakna bliže periferiji pređe [26]. Vunena vlakna su grublja i kraća nego poliakrilnitrilna. Zbog toga možemo očekivati da će vunena vlakna biti bliže površini pređe. Ako posmatramo kraće delove pojedinih vlakana, što nam omogućava da pratimo njihov položaj uzduž pređe, ustanovićemo da su vunena vlakna raspoređena više prema površini pređe. Takav raspored vunelih vlakana u pređi može dovesti do pojave grbina (izbočina) na tkanini. Zbog čega do toga dolazi, jasno je prikazano na slici 11-3.

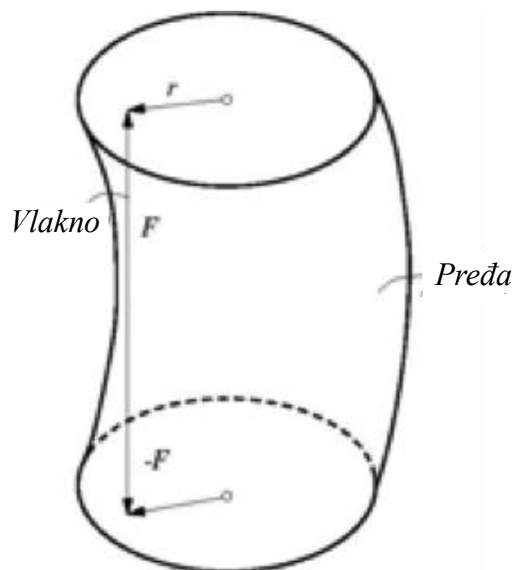
U fazi formiranja pređe vlakno se može, u odnosu na susedna vlakna, u određenoj meri deformisati - istegnuti, što zavisi od lokalnog delovanja sila na posmatrano vlakno i od njegovog položaja u polju pređenja. Obično nije čitava dužina vlakna jednako izložena deformacijama. Vlakno u pređi zauzima određeni spiralni položaj. To naravno nije prava spirala, jer za tako nešto u polju pređenja nema uslova. Pre nego što se vlakna zapredu u pređu nisu idealno paralelizovana. Pored toga, ona su u određenoj meri kovrdžava, pa i susedna vlakna ometaju nastanak pravilnije spirale. Prilikom formiranja pređe deluje na vlaknu sila istezanja. Ova sila deluje različito na pojedina vlakna. Ako je, na primer, jedan kraj vlakna slobodan (strši iz pređe), taj deo uopšte nije opterećen. Deo vlakana koji čini spiralnu se zaista ne deformiše. U tom slučaju parametri spirale se promene i vlakno se postavi u paralelniji položaj sa osom pređe. Drugi deo vlakna, koji je uklešten među drugim vlaknima, manje se deformiše nego deo vlakna koji je uklešten između dve tačke, posebno ako je takav deo paralelan sa osom pređe i istezna sila deluje paralelno sa osom pređe. Zbog delovanja zatezne sile, vlakna mogu klizati jedno pored drugog, posebno na onim mestima pređe gde je vrednost normalne sile najmanja, i dodirna površina između vlakana takođe najmanja. Klizanje takođe zavisi od vrednosti koeficijenta trenja površine vlakana. On je veći među vlaknima vune nego među vunanim i poliakrilnitrilnim vlaknima. Kod vunениh vlakana je veći u smeru koji je suprotan smeru krljušti, i manji u smeru krljušti.

Postoji mala verovatnoća da su u posmatranoj pređi dva vunena vlakna jedno pored drugoga. Vunena vlakna su znači okružena poliakrilnitrilnim vlaknima. Pritom moramo uzeti u obzir da je malo verovatno da će određeno poliakrilnitrilno vlakno pratiti određeno vuneno vlakno i da će se skupa ukleštiti u dve susedne tačke ukleštenja. Zbog toga se povećava verovatnoća da će vuneno vlakno biti izloženo većoj sili istezanja nego poliakrilnitrilna vlakna.

Pored toga je početni modul ili smerni koeficijent ($tg\alpha$) u Hukovom području kod vune 2 do 3 N/tex [27]; kod poliakrilnitrilnog štapelnog vlakna oko 6 do 9 N/tex [29] u standardnim uslovima (65 % relativne vlažnosti i 20 °C). U mokrom stanju se vrednost početnog modula poliakrilnitrilnih vlakana ne menja, kod vunениh vlakana se smanji za 60 % [28, 29].

U posmatranoj pređi vlakna vune su približno dvaput grublja nego poliakrilnitrilna. Zbog toga se apsolutna vrednost gornje granice početnog modula izjednačava sa donjom vrednošću početnog modula kod poliakrilnitrilnih vlakana. To još uvek znači da su vunena vlakna u posmatranoj pređi manje otporna prema deformacijama nego poliakrilnitrilna vlakna.

Ako uzmemo u obzir ranije navedeni mehanizam trenja i raspored sile zatezanja, onda je jasno da će se tokom procesa formiranja pređe vunena vlakna više deformisati nego poliakrilnitrilna vlakna. Nas pre svega zanima kako te deformacije utiču na kvalitet pređe. Da bismo to doznali, neophodno je da poznamo strukturu vune i poliakrilnitrilnih vlakana. Nećemo se detaljnije upuštati u samu strukturu izgradnje poliakrilnitrilnih vlakana, pošto grbačenje tkanine opravdano pripisujemo komponenti vunениh vlakana u tkanini. Da bi proces potpuno razumeli, prikazaćemo i Jakšićevu teoriju fazne strukture vune.



Slika 11-4: Prikaz ukrivljenja pređe zbog napetosti u vunenom vlaknu

Ako vlakno rastežemo, u njemu se pojavljuju određene sile. Sa povećanjem rastezanja se povećava napetost u vlaknu, dok se ono ne prekine. Ako zaustavimo rastezanje pre prekida i ostavimo vlakno u napetom stanju, doći će do oslobođenja (relaksacije) napetosti. Relaksacija je funkcija vremena. Napetost u vlaknu se smanjuje zato što se elementi strukture reorganizuju u međusobni položaj, koji znači najmanju energiju u datim uslovima deformacije i makromolekule odnosno nadmolekularni elementi strukture vlakna se međusobno povezuju. Što je novonastala struktura bolje fiksirana, to je veći procenat plastične deformacije. Obično ostane još određeni deo elastične i viskoelastične deformacije, koja sama po sebi ne može u većoj meri uticati na kvalitet tkanine. To važi pre svega za poliakrilnitrilna vlakna. Kod vune je nešto drugačije. U vunenom vlaknu je određen deo makromolekula u alfa obliku - makromolekule su u obliku zavojnica. Prilikom rastezanja vunenog vlakna u procesu formiranja pređe, spirale se otvore i u kasnijim fazama prerade pređe u tkaninu mogu negativno uticati na kvalitet konačnog proizvoda [17, 18]. Kod ranije navedenog eksperimenta rastezanja novonastala struktura se naime fiksira i u vunenom vlaknu; ali za razliku od poliakrilnitrilnih vlakana, u vunenim vlaknima na pojedinim delovima makromolekula su otvorene spirale. One teže ka tome, da se opet zatvore. To znači da je novoformirana struktura u vunenom vlaknu veoma labilna. U tom slučaju su u ravnoteži sile, koje su proizvod poprečnih veza (one deluju kao stabilizatori novoformirane strukture) i sile, koje deluju u smeru ponovnog zatvaranja alfa spirala. Raspored tih sila u vlaknu može biti asimetričan u odnosu na osu vlakna. To može, uopšteno, prouzrokovati uvijanje vlakna. Pošto je vlakno element strukture pređe, može uticati takođe na element pređe, posebno u slučaju kada je u pređi relativno mali broj vunenih vlakana. Ipak simetriju sila i momenata u samom vlaknu možemo zanemariti zbog toga što je prečnik vlakna mnogo manji od prečnika pređe. Zato ćemo pripisati uvijanje (krivljenje) pređe (slika 11-3) i njegovu posledicu (grbavljenje tkanine slika 11-4), većem broju uzroka kao što sledi:

- ni na jedno vunenno vlakno ne deluje sila koja bitno prelazi prosečni nivo sila, koje deluju na druga vlakna na posmatranom poprečnom preseku pređe;

- vunena vlakna su na posmatranom poprečnom preseku pređe izložena delovanju različito velikih sila, koje prelaze prosečni nivo kod drugih vlakana, ali njihovi momenti su simetrično raspoređeni u pogledu ose pređe;
- vunena vlakna su na posmatranom poprečnom preseku pređe izložena delovanju različito velikih sila, koje prelaze prosečni nivo kod drugih vlakana, ali njihovi momenti su asimetrično raspoređeni u odnosu na osu pređe;
- stanje se razlikuje od stanja u drugoj alineji samo po tome što su momenti asimetrično raspoređeni u pogledu ose pređe.

Kako smo već naveli prilikom analize učinka sila kod formiranja pređe, veća je verovatnoća deformacije vunениh nego poliakrilnih vlakana. Zbog prisutnosti alfa keratina (makromolekula u obliku spirala), vuneno vlakno ima veći udeo viskoelastične deformacije nego poliakrilnitrilno vlakno.

Pod uticajem sila na vlakno, nastaju u fazi formiranja pređe zbog otvaranja alfa spirala u vunenom vlaknu i manje stabilne, eventualno novoformirane, strukture u poliakrilnitrilnom vlaknu.

Kada se u procesu predenja pređa namota na predionički namotak, veoma se smanjuje napetost uzduž ose pređe u poređenju sa stanjem u balonu. To omogućava delimično skupljanje pređe zbog skupljanja vlakana. Pošto je realna pretpostavka da su vunena vlakna više deformisana (istegnuta) nego poliakrilnitrilna vlakna i pošto su u vunenim vlaknima otvorene alfa spirale, vunena vlakna će se skupiti za veći procenat (elastična i viskoelastična deformacija) nego poliakrilnitrilna vlakna.

Ukoliko se u sledećim fazama prerade pređe poveća relativna vlažnost ili se pređa čak nakvasi, smanjiće se energija poprečnih veza u vunenim vlaknima [17, 18]. Zbog smanjenog usporavajućeg učinka poprečnih veza, nastavlja se proces zatvaranja alfa spirala i samim tim skupljanje vunениh vlakana.

Ako je udeo vunениh vlakana u pređi relativno mali, i ako su ona locirana više prema periferiji pređe, može se dogoditi da zbog ranije navedenih uzroka dođe do uvijanja pređe, kao što je prikazano na slici 11-2. Kao što vidimo iz slike 11-3, deluje sila F na polugu r u odnosu na osu pređe. Ova sila i poluga čine momenat koji prouzrokuje uvijanje pređe. Položaj na slici 11-3 se može odnositi na slučaj kada je u pređi samo jedno vuneno vlakno ili predstavlja rezultantu delovanja svih vunениh vlakana u pređi. Momenat uvijanja možemo izraziti sledećom jednačinom:

$$M = \sum_{i=1}^n M_i = \sum_{i=1}^n F_i r_i \quad (11.1)$$

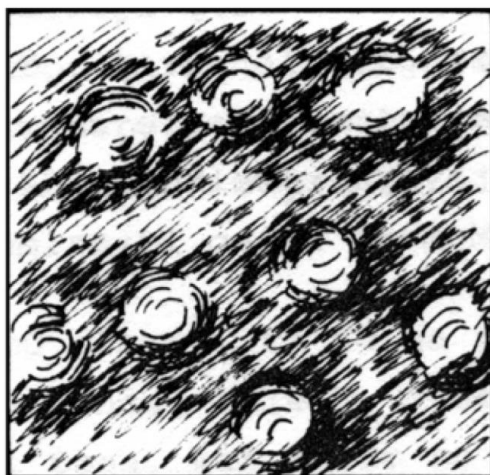
Gde je $i = 1, 2, \dots, n$ (broj vunениh vlakana u pređi). S obzirom na sliku 11-3 možemo uzeti da sve sile deluju u istom smeru i da su paralelne. Realna je pretpostavka da u svakom vlaknu na posmatranom delu pređe deluje različita napetost, odnosno sila. Nažalost, nemamo metode sa kojom bi izmerili veličinu tih sila. Moguće je naći položaj svakog vunenog vlakna na posmatranom poprečnom preseku pređe (slika 11-2). Ove položaje smo stvarno i izmerili. Tkaninu smo obojili crvenom bojom (Base acryl rot SB), koja ne boji vunena vlakna.

Vunena vlakna ostaju neobojena - bela. Na osnovu visine i obima grbine (izbočine) na tkanini, bilo bi moguće odrediti rezultantu svih sila koje deluju na vlakna. Čak ni to nije lako, pošto ne znamo da li izbočinu prouzrokuje jedna ili više niti. Kako bi, u našim trenutnim prilikama, s obzirom na eksperimentalne mogućnosti merenja, bilo moguće problem matematički obraditi, nužno je uzeti u obzir sledeće pretpostavke:

Sile, koje deluju u smeru ose vunениh vlakana, paralelne su sa osom pređe i deluju u istom smeru. Iz te pretpostavke proizilazi da su vunena vlakna, koja vidimo na datom poprečnom preseku pređe, paralelna sa osom pređe. Iz druge pretpostavke proizilazi da vunena vlakna ne menjaju međusobni položaj, odnosno položaj na susednom poprečnom preseku uzduž pređe, koji nije previše udaljen od posmatranog preseka.

Pretpostavljamo da je deformaciji najviše izložen onaj deo vlakna koji je paralelan sa osom pređe. Vlakno, koje ne ispunjava prve tri pretpostavke, navedene gore, nije deformisano i napetost u njemu je jednaka prosečnoj napetosti svih drugih vlakana u pređi sa izuzetkom ekstremnih vrednosti. Svakom vunenom vlaknu, koje je na poprečnom preseku, propišemo prosečnu vrednost sile F . Šestu pretpostavku možemo upotrebiti zbog toga što sa tim ne menjamo vrednost ukupnog momenta, koji prouzrokuje određeni otklon (uvijanje) pređe na posmatranom mestu.

Ako je stanje na određenom delu pređe takvo da na nijedno vlakno ne deluje sila koja bitno prelazi prosečni nivo sila, koje deluju na druga vlakna na posmatranom poprečnom preseku pređe, neće doći do grbanja tkanine. Ako su vlakna na posmatranom delu pređe opterećena silama, koje prelaze prosečan nivo sila kod drugih vlakana, doći će do određenog grbačenja tkanine - zavisno od veličine ukupnog momenta.



Slika 11-5: Izgled površine analizirane tkanine

Ako svakom vlaknu, koje je na poprečnom preseku, pripišemo neku vrednost sile F , jednačinu (11.1) možemo napisati u sledećem obliku:

$$M = \sum_{i=1}^n M_i = F \sum_{i=1}^n r_i = Fr \quad (11.2)$$

U jednačini 11-2 nije navedena metoda izračunavanja poluge r . To stvarno predstavlja rezultantu svih poluga i možemo je izračunati na osnovu slike 11-3. r je udaljenost tačke vunenog vlakna od ishodišta (ose pređe) polarnog koordinatnog sistema u ravnini (poprečni presek pređe). Polugu r možemo rastaviti na komponente u smeru ose pravougaonog koordinatnog sistema. Dobićemo sledeće relacije:

$$x_i = r_i \cos \varphi_i; \quad y_i = r_i \sin \varphi_i \quad (11.5)$$

$$r_i = \left(x_i^2 + y_i^2 \right)^{0.5} \quad (11.4)$$

$$r = \sum_{i=1}^n r_i = \left[\left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]^{0.5} \quad (11.6)$$

$$(11.3)$$

$$M = Fr = F \left[\left(\sum_{i=1}^n r_i \cos \varphi_i \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n r_i \sin \varphi_i \right)^2 \right]^{0.5} \quad (11.7)$$

$$r = \left[\left(\sum_{i=1}^n r_i \cos \varphi_i \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n r_i \sin \varphi_i \right)^2 \right]^{0.5}$$

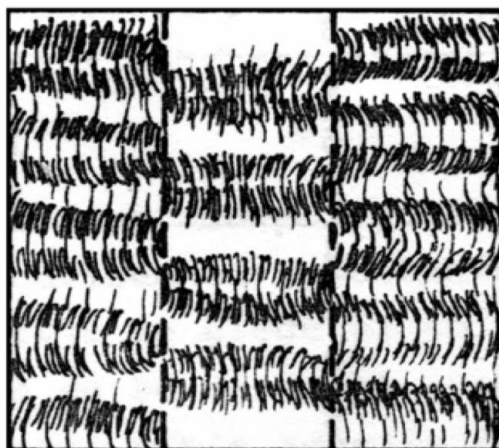
Kao što smo već pomenuli, r možemo izračunati pomoću jednačine 11.6 na osnovu merenja r_i i φ_i . Ako je $r = 0$, time još nije rečeno da na tom mestu neće doći do grbačenja tkanine, ili da je verovatnoća grbačenja u tom slučaju veoma mala. Sa povećanjem vrednosti r se povećava verovatnoća nastanka grbina na tkanini.

11.5. Analiza eksperimentalnih rezultata u nagrbačenoj tkanini

11.5.1. Opšte

Raspored i broj vunениh vlakana u poprečnom preseku pređe je veoma važan faktor, koji verovatno ima dominantan uticaj. Naša osnovna pretpostavka je da je grbačenje posledica deformacije vunениh vlakana na pojedinim mestima površine tkanine. To znači da na ostalim delovima pređe ne dolazi do takvih deformacija koje bi izazvale uvijanje pređe; uprkos deformaciji raspored momenata je takav da ukupni momenat nije dovoljno veliki za uvijanje pređe. Našu pretpostavku takođe potvrđuje izgled grbina na ispitivanoj tkanini (slika 11-4), koje se bitno razlikuju od grbina koji se pojavljuju na vunenoj tkanini kao posledica zategnutih niti (slika 11-2 in 11-6) [17, 18].

Eksperimentalni rezultati su prikazani u tabeli 11-1. Prilikom izračunavanja nije uzet u obzir poprečni presek, u kome nema vunениh vlakana. U teoretskim osnovama smo pretpostavili da uvijanje pređe zavisi od prosečne udaljenosti vunениh vlakana od ose pređe, bez obzira na to da li je jednožična ili končana, i drugo, da će se vrednost srednje udaljenosti vunениh vlakana od ose pređe smanjivati sa povećanjem broja vunениh vlakana u pređi. Kao što vidimo u tabeli 11-2, prva pretpostavka je eksperimentalno potvrđena, a druga ne.



Slika 11-6: Izgled nagrbačene tkanine kao posledica napetih niti u tkanini

Stanje je čak suprotno od onoga koje smo pretpostavili. Iz tabele 11-2 vidimo da se povećava srednja vrednost prosečne udaljenosti vunениh vlakana od ose pređe sa povećanjem broja vunениh vlakana u preseku pređe. Tu anomaliju možemo objasniti samo kao posledicu slabog mešanja vlakana. Ovu pretpostavku ćemo ilustrovati na slici 11-6. Najpre ćemo pretpostaviti da je u poprečnom preseku pređe 55 poliakrilnitrilnih vlakana. Ovaj broj neka bude konstantan. Ovaj broj poliakrilnitrilnih vlakana se nešto razlikuje od eksperimentalno utvrđenog proseka 45,6. Navedenih 55 vlakana u poprečnom preseku pređe smo izračunuli tako što smo uzeli u obzir sledeće vrednosti pojedinih parametara: finoća pređe 25 tex, finoća (promer) poliakrilnitrilnih vlakana 19,4 mikrometra, dužina vlakana 118 mm, specifična masa poliakrilnitrilnih vlakana $1,19 \text{ g/cm}^3$, udeo mase poliakrilnitrilnih vlakana 77,3%. Razlika između izmerenog i izračunatog prosečnog broja poliakrilnitrilnih vlakana je oko 17%. To možemo uzeti kao zadovoljavajuću tačnost jer je bilo premalo merenja prilikom određivanja broja prekinutih poliakrilnitrilnih vlakana, zbog čega smo dobili manju prosečnu dužinu

nego što je bila u topsu (traci pre pređenja). Po istom postupku izračunali smo broj vunenih vlakana (pređa 25 tex, dužina vunenih vlakana 98 mm, promer vunenih vlakana 38,6 mikrometara, udeo mase vunenih vlakana 22,7 % i specifična masa vune 1,32 g/cm³) u poprečnom preseku pređe.

Tabela 11-1: Prosečna udaljenost vunenih vlakana od centralne ose pređe

Mesto merenja	Redni broj poprečnoga preseka	Broj vunenih vlakana u preseku	Prosečna udaljenost vunenih vlakana od ose pređe, μm
1	1	3	44
	2	0	0
	3	1	6
2	1	4	22
	2	4	60
	3	7	226
3	1	4	120
	2	1	46
	3	1	44
4	1	1	16
	2	2	93
	3	3	71
	4	4	175
	5	3	129
5	1	4	44
	2	5	127
	3	3	8
6	1	4	44
	2	5	175
	3	5	128
7	1	4	73
	2	3	77
	3	4	47
	4	5	21
	5	3	131
8	1	3	149
	2	6	115
	3	9	180

Tako izračunati broj vunenih vlakana je $4,4 \approx 4$. To se razlikuje od eksperimentalno ustanovljenog broja za 25 %. Pošto stvarni broj vunenih vlakana u presecima veoma varira (od 0 do 9), ta razlika je nastala uglavnom zbog premalog broja merenih poprečnih preseka i delimično zbog promene dužine vlakana u gotovoj pređi u odnosu na tops (traku).

Pogledajmo ekstremne primere rasporeda vunenih vlakana na poprečnom preseku pređe (slika 11-6). Na slici 11-6 su prikazani samo položaji vunenih vlakana. Ostala slobodna mesta u pređi su poliakrilnitrilna vlakna. Vunena vlakna su deblja i kraća. Zbog toga u procesu pređenja teže ka omotaču pređe. Na slici 11-7 je najverovatniji položaj vunenih vlakana, označen crtanim krugom, i sva četiri vlakna su nacrtana u tom krugu. Na slici 11-7a je slučaj idealnog međusobnog mešanja. U tom slučaju je prosečna udaljenost vunenih vlakana od centralne ose pređe, koja se poklapa sa koordinatnim ishodištem, jednaka nuli.

Tabela 11-2: Prosečne vrednosti udaljenosti vunениh vlakana od ose jednožične ili končane pređe

Mesto merenja	Broj poprečnih preseka	Prosečni broj vunениh vlakana u preseku	Ukupan broj vunениh vlakana	Prosečna udaljenost vunениh vlakana od centra jednožične ili končane pređe, μm
1	2	2,0	4	25
2	3	5,0	15	103
3	3	2,0	6	70
4	5	2,6	13	97
5	3	4,3	13	60
6	3	4,7	14	116
7	5	3,8	19	70
8	3	6,7	20	148

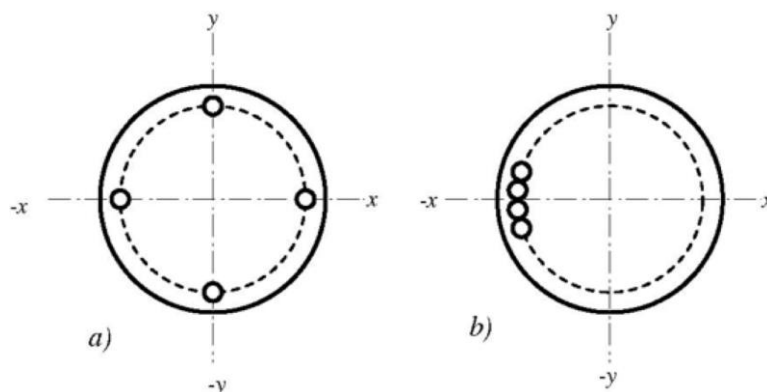
Eksperimentalni rezultati se odnose na određivanje položaja vunениh vlakana, na poprečnom preseku pređe, na koji je postavljen polarni koordinatni sistem (slika 11-7). Na osnovu velikog broja poprečnih preseka bio je određen položaj vunениh vlakana kao prosečna udaljenost od centralne ose pređe.

U tabelama 11-1 i 11-2 brojevi znače u prvoj koloni (mesto merenja) 1 - mereno na ravnoj površini tkanine (jednožična pređa – osnova); 2 - mereno na nagrbačenoj površini tkanine (jednožična pređa - osnova); 3 - mereno na ravnoj površini tkanine (jednožična pređa - potka); 4 - mereno na nagrbačenoj površini tkanine (jednožična pređa - potka); 5- mereno na ravnoj površini tkanine (končana pređa - osnova); 6 - mereno na nagrbačenoj površini tkanine (končana pređa - osnova); 7 - mereno na ravnoj površini tkanine (končana pređa potka); 8 - mereno na nagrbačenoj površini tkanine - potka (končana - pređa). Mereno na ravnoj ili nagrbačenoj površini tkanine, znači da je pređa za ispitivanje položaja vunениh vlakana uzeta sa ravne ili nagrbačene površine tkanine.

Ako pogledamo mesta merenja (tabele 11-1 i 11-2) koja se odnose na jednožičnu pređu, vidimo da su vunena vlakna u preseku zaista raspoređena više prema površini pređe. Prečnik pređe je manji od 0,3 mm dok je dužina vunениh vlakana oko 100 mm. To znači da je dužina vlakana oko 300 puta veća od prečnika pređe. Zbog toga je moguće da je deo vlakna na površini pređe, i da je drugi deo vlakna čak paralelan sa osom pređe.

Na slici 11-7b je prikazan slučaj kada se vlakna uopšte ne mešaju. Trake (topsovi) su bile postavljene jedna pored druge i tako su se dublirale, vlakna se praktično uopšte nisu pomešala. Iz slike 11-7b vidimo da se y komponente, ($r_i \cdot \sin \varphi_i$) međusobno potiru, a komponente ($r_i \cdot \cos \varphi_i$) sabiraju. Što je više vlakana, tim veća je vrednost prosečne udaljenosti vunениh vlakana od ose pređe, odnosno tim je veća verovatnoća nastanka grbačenja tkanine. Najveća vrednost prosečne udaljenosti vunениh vlakana je 70 mikrometara u pređi koja je bila utkana na ravnoj površini tkanine. Najmanja udaljenost vunениh vlakana od ose pređe, koju smo uzeli iz nagrbačenih delova površine, jeste 97 mikrometara. S obzirom na to i na pojedinačne rezultate u tabeli 11-2 (tkanine koje su upotrebljene za testiranje

metode), možemo postaviti orijentacijski kriterijum ocene kvaliteta pređe izrađene od 70 % poliakrilnitrilnih vlakana i 30 % vune. Orijentaciono kažemo, zato što bi za stalni kriterij morali snimiti veći broj poprečnih preseka i takođe poboljšati našu tehniku pripreme preparata. Ako je prosečna udaljenost vunениh vlakana od ose pređe 70 mikrometara, i ako pojedinačna merenja ne prelaze 100 mikrometara, postoji veoma mala verovatnoća da će se pojaviti grbine na tkanini proizvedenoj od takve pređe. Naravno, bilo bi obavezno kontrolisati kvalitet mešanja bar toliko vremena dokle proizvođač pređe ne bi dostigao zadovoljavajući kvalitet mešanja.



Slika 11-7: Ekstremni primeri položaja vunениh vlakana u poprečnom preseku analizirane pređe a) - idealno pomešana vunena i poliakrilnitrilna vlakna; b) - vunena i poliakrilnitrilna vlakna se ne pomešaju i tvore bikomponentnu pređu.

11.5.2. Otpornost na gužvanje

Ova osobina je veoma poželjna kod tkanina od kojih se izrađuju pre svega vanjski delovi odeće. Otpornost na gužvanje se meri pomoću ugla izravnavanja i vremena izravnavanja. Metoda je propisana sa ISO i drugim standardima. Prilikom projektovanja, moramo odrediti vrednost ugla izravnavanja ako je to potrebno. Za vrednost ugla izravnavanja moramo kod konstruisanja tkanina izabrati određenu vrstu vlakana, pošto ugao izravnavanja zavisi od vrste vlakana. Kod hemijskih vlakana zavisi takođe od tipa vlakana, odnosno nadmolekularne strukture, stepena kristaliničnosti i stepena orijentisanosti kristalita ili nadmolekularnih elemenata strukture vlakana. Pamuk i viskozna vlakna imaju relativno slabu otpornost prema gužvanju. To posebno važi za mokro stanje. Vuna je u suvom stanju vrlo otporna na gužvanje, u mokrom stanju se ta otpornost veoma smanjuje.

Prirodna vlakna i hemijska vlakna od regenerisane celuloze (viskozna vlakna) imaju osobine koje pozitivno utiču na dobar fiziološki osjećaj - ne nadražuju površinu kože, pre svega zbog dobre apsorpcije vode, i s tim u vezi manjega nakupljanja statičkog elektriciteta. Otpornost na gužvanje možemo poboljšati mešanjem sa hemijskim (sintetičkim) vlaknima. Ako vunenoj pređi dodamo samo 2 % elastana, veoma se povećava otpornost na gužvanje. Ranije su bile problematične fiziološke osobine proizvoda jer su hemijska (sintetička) vlakna iritirala kožu. Kod modernih hemijskih vlakana taj nedostatak je otklonjen. Pored mešanja sa hemijskim vlaknima, otpornost na gužvanje se može poboljšati još i konstrukcijom pređe ili tkanine. Češljane ili končane pređe imaju bolje osobine u pogledu gužvanja nego jednožične vlačene pređe, ali su one skuplje. Slično važi i za guste i teške tkanine, u poređenju sa lakim i retkim tkaninama.

Tkanine od prirodnih vlakana možemo oplemeniti i time povećati otpornost na gužvanje. Oplemenjivanje je postupak koji omogućava da se, pomoću različitih sintetičkih smola i sličnog, formira elastična mreža u tkanini koja bitno ne menja osobine u mokrom stanju. Pritom se, na primer, u pamučnom vlaknu blokiraju OH grupe i smanjuje bubrenje. Kod vunenog vlakna se, slično kao i kod pamučnog vlakna, onemogućava apsorpcija vode na mestima gde su vodonikovi mostovi i solne veze, tako da se bitno ne smanjuje otpornost na gužvanje u mokrom stanju. Takođe, kod ovakvog oplemenjivanja moramo uzeti u obzir da se mogu oslabiti takozvane fiziološke osobine tkanina, odnosno gotovog proizvoda. To znači da moramo i kod takvog oplemenjivanja težiti ka optimalnom rešenju isto kao kod mešavina.

11.5.3. Jačina pojedinih delova odeće

Pod izrazom jačina obuhvatićemo prekidnu jačinu, probojnu jačinu i otpornost na produženo trganje. Prilikom projektovanja reprodukcijiskih materijala (tkanine, pletenine, vlaknovine, dugmad, rajsferšlus, i tako dalje), za izradu pojedinih delova odeće moramo poznavati ulogu i položaj pojedinog reprodukcijiskog materijala u gotovom predmetu, te položaj i ulogu predmeta u odeći.

Na osnovu toga je moguće oceniti potrebnu jačinu pojedinog gotovog predmeta, odnosno pojedinih repromaterijala od kojih je izrađen gotov predmet.

Potrebnu jačinu određujemo na osnovu uslova upotrebe. Detaljnom analizom je moguće izračunati maksimalne sile koje nastupaju tokom upotrebe odeće. Pritom se ponekad pokaže kombinovani učinak sila koje deluju slično kao sila prilikom određivanja prekidne jačine, ili probojne jačine, ili sila produženog kidanja. Pri tome se ocenjuje dominantnost delovanja određene sile koja se uzima kao osnova prilikom konstruisanja reprodukcijiskog materijala. Vrednosti drugih dvaju navedenih parametara jačine su u određenom opsegu međuzavisne od izabrane vrednosti dominantnog parametra.

Ako predmet ima specifičnu namenu, kao na primer tkanine za izradu zaštitne odeće za sigurnosne organe ili vojsku, koje štite telo od projektila ispaljenih iz pištolja ili pušaka, onda svakako preovladava probojna jačina, koju ne možemo probati na običnim aparatima, nego pomoću kugla, koje imaju realnu masu i brzinu. Pri tome komad odeće, koji ispitujemo, mora biti pričvršćen ili obešen na podlogu koja se prilikom dinamičnog udara kugle ponaša slično kao čovečje telo. To je izuzetan slučaj, kada je samo jedan parametar kvaliteta odlučujući i tome je podređeno sve drugo. Za takvu odeću moramo upotrebiti hemijska vlakna koja se teško deformišu, a za deformaciju im je potrebna velika količina energije. Možemo da upotrebimo metodu merenja probojne jačine u laboratoriji, koja nam daje bar orijentacijsku vrednost.

11.6. Vrste i postojanosti boja

Boja je veoma značajan elemenat, pre svega vanjskih delova odeće. Stari Feničani su deo svoga dohotka ostvarivali na osnovu monopola nad ljubičasto-crvenom bojom, koja je bila veoma moderna u starom veku. Vrsta boje je prilagođena vrsti vlakna. Ovu problematiku ovde nećemo posebno obraditi jer spada u tehnologiju bojenja. Prilikom projektovanja, moramo uzeti u obzir vrstu i parametre boje (crvena, modra, zelena i slično; ton, čistoću, jačinu, harmoniju i drugo), zavisno od

trenutnih modnih zahteva. Za posebne namene (maskirnost u vidnom i infracrvenom spektru) posebno je, takođe, značajna refleksija boje, kao i udeo pojedinih boja na površini tkanine, odnosno odeće.

Pored toga, veoma je važna postojanost boja. Koje postojanosti (na svetlost, pranje, znojenje, trenje i sl), i kakve vrednosti postojanosti ćemo propisati u projektnim zahtevima, zavisi od uslova upotrebe. Ako odeća nije izložena pranju, onda je besmisleno zahtevati postojanost na pranje. Sa druge strane, ako deo odeće nije izložen dnevnoj svetlosti (donje rublje), onda je postojanost boje na svetlost beznačajna. U tom slučaju, postojanost na pranje mora biti veoma visoka.

Kao i kod drugih parametara, i kod boje težimo optimalnom rešenju. To znači da uzimamo u obzir modu, odnosno trenutne zahteve tržišta, cenu boje i potrebne postojanosti. Jedinственog pravila nema. Preporučljivo je da se kupcu sviđa boja ili kombinacija boja, i kvalitet - visoke vrednosti postojanosti boja, te da u dužem vremenskom periodu postignemo najveću moguću akumulaciju.

Literatura

1. Newburgh L. H. 1968. Physiology of heat regulation and the science of clothing. New York, London, Hafner Publishing Co.: 374–386.
2. Jakšić D. 1980. Tehnologija tkanja – II. del. Ljubljana, VTOZD Tekstilna tehnologija: 37–44.
3. Kawabata S., Niwa M., Kaeai H. 1973. The finite-deformation theory of plain-weave fabrics part I: the biaxial-deformation theory. The Journal of The Textile Institute 64 (1): 21–46.
4. Seyam A., El-Shiekh A. 1990. Mechanics of woven fabrics: Part II: Experimental study of weavability limit of yams with thickness variation. Textile Research Journal 60 (8): 457–463.
5. Herzog W. 1959. Schußspanner in Wollgeweben. Melliand Textilberichte 40: 1166–1170.
6. Vangheluwe L., Kiekens P. 1993. Einfluß von faser – und spinnparametern auf die relaxation von Baumwollgarnen. Melliand Textilberichte 74 (6), 496–501.
7. Vangheluwe L. , Kiekens P. 1995. Test method for cloth fell displacement caused by relaxation. Textile Research Journal 65 (9): 540–544.
8. Kovačević S., Hajdarović K., Grancarić A. M. 2000. Cause of deformation of textile products. Textile Research Journal 70 (7): 603–610.
9. Schindler W., Finnimore E. 2005. Chemical testing of textiles. Woodhead Publishing: 325 str.
10. Wang L. (ur.) 2016. Performance testing of textiles. Methods, technology and applications. Woodhead Publishing: 262 str.
11. Cifferi A. 1963. The α - β transformation in keratin transformation. Faraday Society 59: 562–569.
12. Brandbury J. H., Leeder D. J. 1970. Keratin Fibres IV. Structure of Cuticle. Australian journal of biological sciences Aust 23 (4): 843–854.
13. Nordon P., David G. H. 1967. Coupled diffusion of moisture and heat in hygroscopic textile materials. International Journal of Heat and Mass Transfer 10 (7): 853–866
14. Bradbur. J. H. 1960. The Amino Acid Analysis of Cuticle-Rich Material from Wool. Textile

Research Journal 30 (2): 128–135.

15. Jakšić D. 1978. Mehanizam transformacije dužine žice u vunenim vlaknima. *Tekstil: časopis za tekstilnu tehnologiju i konfekciju* 27 (10): 559–569.
16. Jakšić D., Jovanović R. 1985. Mechanism of occurrence of tense threads in woolen fabrics. *Proceedings of the 7th International Wool Textile Research Conference, Tokyo, August 28 September 3. Vol. III: 217–225.*
17. Jakšić D. 1979. Transformacija dolžine niti v volnenih tkaninah. Projekt: osvajanje novih tehnoloških postopkov proizvodnje tekstilnih in usnjarsko-čevljarskih materialov. Ljubljana, RSS: 49 str.
18. Jakšić D. 1980. Študij pojava pillinga na površini tkanin. I in II. faza. Ljubljana, RSS, 146 str.
19. Peirce F. T. 1947. Geometrical principles applicable to the design of functional fabrics. *Textile Research* 17 (3): 123–147.
20. Morton W. E. 1956. The arrangement of fibres in single yarns. *Textile Research Journal* 26 (5): 325–331.
21. Hamilton J. B. 1958. The radial Distribution of Fibres in Blended Yarns Part II-Factor Affecting the Preferential Migration of Components in Blends. *Journal of the Textile Institute Transactions* 49 (11): T687–T698.
22. Onions W. J., Toshniwal R. L., Townend P. P., Onios J. 1960. The mixing of fibres in worsted yarns: Part II-Fibre migration. *Journal of the Textile Institute Transactions* 51 (2): T73–T79.
23. Žurek W. 1975. The structure of yarn. Washington, United States. Department of Commerce. Office of Technical Services: 424 str.
24. Ford J. E. 1958. Segregation of component fibres in blended yarn. *Journal of the Textile Institute Transactions* 49 (11): T608–T620.
25. Nikolić M., Lesjak F., Štritof A. 2000. Bodočnost prstnskega predenja. *Tekstilec* 43 (5-6): 188–195.
26. Hechti R. 1996. Compact spinning systems – an opportunity for improving the ring spinning process. *Melliand International* 2(1):12–13.
27. Meredith R. 1945. The tensile behaviour of raw cotton and other textile fibres. *Journal of the Textile Institute Transactions* 36 (5): T107–T130.
28. Farrow B. 1956. Extensometric and elastic properties of textile fibres. *Journal of the Textile Institute Transactions* 47 (2): T58–T101.
29. Ford J. E. (ur.) 1968. Fibre data summaries: a handbook of data on 28 principal textile fibres. Manchester, Cotton, Silk & Man-Made Fibres Research Association: 128 str.

12. JAKŠIĆEVA TEORIJA FAZNE STRUKTURE VUNE [13]

12.1. Uvod

U procesu prerade vunениh vlakana u gotov tekstilni proizvod, kao što je pređa, pletenina, vlaknovina ili tkanina, najveći izazov je u tome kako pravilno razumeti, i ujedno rešiti, probleme koji se povremeno javljaju. Ponekad je bio veliki problem pojava napetih niti u vunениm tkaninama. Fabrike su imale šivaonice u kojima su radnice popravljale greške u skupim tkaninama, pre svega češljanim, koje su namenjene za skupa muška odela. U šivaonici je bilo mnogo više radnica nego u tkačnici.

Ukoliko malo znate o strukturi vunenog vlakna, ne možete odgovarajuće delovati da biste otklonili greške poput zategnutih niti u vunениm tkaninama. Astberijeva teorija alfa-beta transformacije, koju je razvio 1931. godine, kojom objašnjava ponašanje vunenog vlakna u procesu istežanja, ne stoji i nije upotrebljiva. Ona je razvijena mnogo pre nego su Krik i Votson otkrili alfa spiralu, odnosno DNK. Iz opisa razvoja teorije vidi se da je tu intuicija imala ogromnu ulogu. Sam istraživački rad na strukturi vunenog vlakna istovremeno ne znači konačan uspeh. Australijski istraživač Bendit [9] je u svojim 460 objava sa područja istraživanja strukture vunenog vlakna došao vrlo blizu njegove stvarne strukture. Čak je pomenuo **verovatnoću postojanja beta faze u vunenom vlaknu, što je veliki napredak. Inače ideja teorije fazne strukture vune počiva na fazama rasta vunenog vlakna i na strukturi fibroina prirodne svile, kao i na metodi određivanja stepena kristalizovanosti i orijentisanosti makromolekula u vunenom vlaknu** [12, 13].

12.2. Uticaj procesa rasta vunenoga vlakna na njegovu faznu strukturu

Uprkos činjenici da je prošlo dosta vremena, od kad je bio ustanovljen redosled faza rasta keratinskog vlakna (vune, čovečje dlake) [4], ta saznanja nisu bila dovoljno prisutna prilikom istraživanja fazne strukture vune. Istraživači se nisu mnogo obazirali na termodinamičke ravnoteže faza u procesu rasta vunenog vlakna. U gornjem delu zone A (slika 12-1) nastaju duge makromolekule iz ostataka aminokiselina, koje nastaju u folikuli (donji početak zona A). U zoni A je relativno visoka temperatura (oko 36 0C) i svakako velik nadpritisak (osmotski pritisak). Ovakvi uslovi ne omogućavaju slučajne konformacije molekula (slika 12-2) [5]. Takvo stanje ubrzava proces nastanka dužih molekula i njihovo slaganje u tvorevine, koje zauzimaju manju zapreminu. Proces je dinamičan. Iz papile, koja je usađena u folikulu kao stožasti klin (slika 12-1), neprestano nastaju nove kratke molekule, koje uslovno možemo nazvati „ostaci aminokiselina”, jer su oni produkti ostatka razgradnje molekula keratina. Iz takvih kratkih molekula se sintetizuju makromolekule.

Zbog osmotskog pritiska molekule se pomiču naviše po kanalu iz koga raste vuneno vlakno. Već u sledećoj fazi (zona B), molekule se udružuju u naborane (nagubane) beta ploče, a one u beta kristalite. Deo molekula verovatno čini takozvane beta snopove [4]. Kasnije ćemo detaljnije analizirati verovatnoću postojanja beta snopova. Kristaliti i snopovi su verovatno orijentisani uzduž ose budućeg vlakna. Eksperimentalno nije moguće ustanoviti stepen orijentacije u toj zoni rasta vunenog vlakna zbog toga, jer nije moguće pripremiti uzorke po principu snopa paralelizovanih vunениh vlakana, nego po principu praškastog uzorka. Rendgenogram takvog uzorka pokazuje

tipičnu sliku neorijentisanih beta kristalita [4]. Kao što smo već naveli neorijentisanost je posledica metode snimanje rendgenograma (praškasti uzorak). Uopšteno, u zoni B počinju nastajati elementi nadmolekularne strukture u vunenom vlaknu ili drugim rečima - počinje proces diferencijacije makromolekula u vunenom vlaknu.

Beta kristaliti, odnosno makromolekule, verovatno su orijentisane uzduž ose vlakna, bez obzira na stepen orijentacije. Možemo se zapitati zašto u zoni B ne dolazi do određenog stupena orijentacije makromolekula (koji ne čine beta fazu) nagubanih beta ploča, beta kristala i molekula, koje bi činile beta snopove. Činjenica je da je temperatura u zonama A i B mnogo niža od temperature prelaza, na primer fibroina iz beta u alfa fazu. Ipak ni u zoni B još uopšte nema uslova za fazni prelaz iz beta faze u alfa fazu. Jedva su u toj zoni ispunjeni termodinamički uslovi (ukupan međusobni uticaj temperature, pritiska i koncentracije makromolekula) za nastanak beta faze. Vratimo se na početak pređenog puta - na početak zone A. U toj, možemo reći „biološkoj supi”, plivaju nastajući delovi budućih makromolekula keratina.

Ako koncentracija molekula ne prelazi kritičnu vrednost prelaza u gradivne elemente beta keratina (molekule u beta fazi), te su molekule na međusobnoj udaljenosti koja ne omogućava trenutno međusobno udruživanje molekula, kako u makromolekule tako i u nadmolekularne elemente (hrapave - naborane beta ploče, beta kristalite i eventualno geometrijski nepravilne grupe molekula - beta snopove). Ipak, neprekidno nastaju nove molekule, a time raste koncentracija molekula u tom delu folikule. Razmak između molekula se smanjuje a povećava se verovatnoća međusobnog povezivanje molekula po dužini (sinteza makromolekula), kao i međusobna bočna povezivanja molekula - nastanak nadmolekularnih elemenata strukture vlakna. Fazni prelazi se obično događaju u uskom temperaturnom intervalu kod određene koncentracije i određenog pritiska. U takvom slučaju je prelaz diskontinuiran i skokovit. Vuneno vlakno raste sporo. Zbog toga ćemo, u prvoj aproksimativnosti, obrađivati fazne prelaze kao kontinuiran proces u određenom vremenskom periodu na makro nivou. Pošto je prečnik „reakcijske posude”- folikule - relativno velik, zidovi folikule ne mogu bitno uticati na orijentaciju molekula. Ova reakcijska posuda ima u sredini konusan uložak - papilu (slika 12-1). Između vanjske površine papile i unutrašnje površine folikule je približno samo jedna trećina vrednosti prečnika folikule. U tom slučaju zidovi folikule i papile usmeravaju molekule u smeru rasta vlakana. Molekule se orijentišu i stvaraju se uslovi za nastanak nadmolekularnih elemenata strukture vlakna. Kod čoveka je temperaturni gradijent približno $3^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ [6]. Ako je približno tako i kod ovce, neće biti bitnog pada temperature u prve dve zone – A i B. Papila doseže i u zonu B. Verovatno se u tim zonama ni pritisak bitno ne menja. Možemo zaključiti da se povećava koncentracija molekula. Naime, nove molekule dolaze u reakcijsku posudu – folikulu, dok je u gornjim zonama, možemo reći, zastoj saobraćaja. Zbog toga se povećava koncentracija prema kraju zone B tako da su ispunjeni uslovi za diferencijaciju molekula, odnosno gušće slaganje molekula. To je u stvarnosti prvi fazni prelaz u kome se pojedine molekule udružuju u nadmolekularne elemente strukture vunelog vlakna. Novom stanju je potrebno manje prostora zbog bolje uređenosti. Kada se određena molekula ugradi u, na primer, beta kristalite, odjednom u tom području padne pritisak i prekine se proces formiranja novih elemenata nadmolekularne strukture vune za toliko vremena dok se opet ne uspostave uslovi za ponovni proces udruživanja molekula u nadmolekularne agregate. Ipak, moramo biti svesni da ti uslovi ne omogućavaju fazni prelaz u alfa fazu, a da o slučajnoj konformaciji molekula i ne govorimo. Deo vlakna u kome su nastali beta kristaliti se pomera prema početku zone C.

Tokom procesa diferencijacije moramo uzeti u obzir činjenicu da oko 20 % materijala, koji pripada i cikličnim aminokiselinama i cistinu [7], ne može učestvovati u nastanku pravilnih beta kristalita, nego će praviti defekte u faznoj strukturi vune. U tom procesu se verovatno dostiže međusobna ravnoteža, pre nego se sve molekule udruže u beta kristalite. Ipak nije obavezno da se sve molekule, koje su integrisane u beta kristalite, transformišu u alfa oblik. Pored toga, možemo zaključiti da određeni deo molekula čine beta snopovi [9] ili su se povezali sa molekulama, koje imaju u svojim lancima ugrađene ostatke cikličnih aminokiselina i cistina. Ovaj zaključak je realniji od pretpostavke postojanja molekula, koji čine beta snopove. U zoni C se sužava kanal, u kojem raste vuneno vlakno. Zbog toga se smanjuje zapremina, koja je na raspolaganju makromolekulama i nastalim kristalitima beta faze. Takođe, temperatura i pritisak se postepeno smanjuju. To znači da se smanjuju amplitude variranja molekula, odnosno kristalita oko njihovog ravnotežnog položaja. Čini se da je veći uticaj smanjenja temperature i pritiska nego smanjenja zapremine. Počinje proces fibrilizacije. Na pojedinim lokacijama novo stanje okruženja omogućava postepeni fazni prelaz iz beta u alfa oblik. Ovaj prelaz počinje u sredini zone C. Takođe, ovaj proces teče od jednog do drugog ravnotežnog stanja. Pritom se povećava orijentacija u smeru ose vlakana. Molekule u alfa spiralnom obliku su naime krute i zauzimaju veću zapreminu, nego molekule u rastegnutom obliku. Kada se stvore uslovi za fazni prelaz iz beta u alfa fazu (sniženje temperature i pritiska), to se i dogodi, jer su molekule keratina sklone ka stvaranju zavojne strukture [11]. Mala je verovatnoća da proces transformacije teče na celom poprečnom preseku budućeg vunenog vlakna u određenom gornjem delu zone B, odnosno u bilo kom poprečnom preseku uzduž zone C. Posledica transformacije određenog beta kristalita ili delova molekula, koji mu pripadaju, jeste povećanje zapremine koju transformisani deo molekule zauzima u poređenju sa prethodnim stanjem. To prouzrokuje povećanje pritiska na toj lokaciji, što sprečava daljnje transformacije.

Neka posmatrani poprečni presek bude gornja ravan vrlo kratkog valjka, koji simboliše vrlo kratku dužinu cevi u kojoj raste vlakno. Ako se krećemo tim valjkom u procesu rasta prema površini kože ovce, i ako taj put razdelimo u nivoe, možemo posmatrati proces transformacije iz beta u alfa oblik u svakom nivou. Na sledećem nivou, koji je bliže površini kože, smanjuje se temperatura, i sa tim i pritisak, na vrednost koja omogućava daljnju transformaciju.

U gornjoj polovini zone C ima dovoljno materijala transformisanog iz beta u alfa oblik i počinje izrazitiji proces fibrilizacije. Transformisane molekule se udružuju u nadmolekularne elemente strukture (protofibrili, mikrofibrili). U zoni D je temperatura niža nego u zoni C pa se proces transformacije i fibrilizacije nastavlja. Istovremeno počinje proces keratinizacije - nastanka poprečnih cistinskih mostova. Proces keratinizacije teče polagano, približno kao i sam rast vunenog vlakna. U zoni D već dominira alfa faza. Difraktogram već pokazuje reflekse koji su karakteristični za alfa keratin. Ako zagrevamo materijal iz zone D, on se transformiše u beta oblik. U tom procesu je moguć raspad protofibrila, koji čine dve ili tri alfa spirale (u ovom tekstu pod alfa spiralom podrazumevamo kompletnu spiralu sa primarnim i sekundarnim zavojima) zbog toga što nisu poprečno povezane sa cistinskim mostovima, odnosno, premalo je tih poprečnih veza u toj fazi rasta

vunenog vlakna. Proces keratinizacije se nastavlja kao funkcija vremena i rasta vunenog vlakna. U sledećoj zoni (zona E) se završava proces keratinizacije.

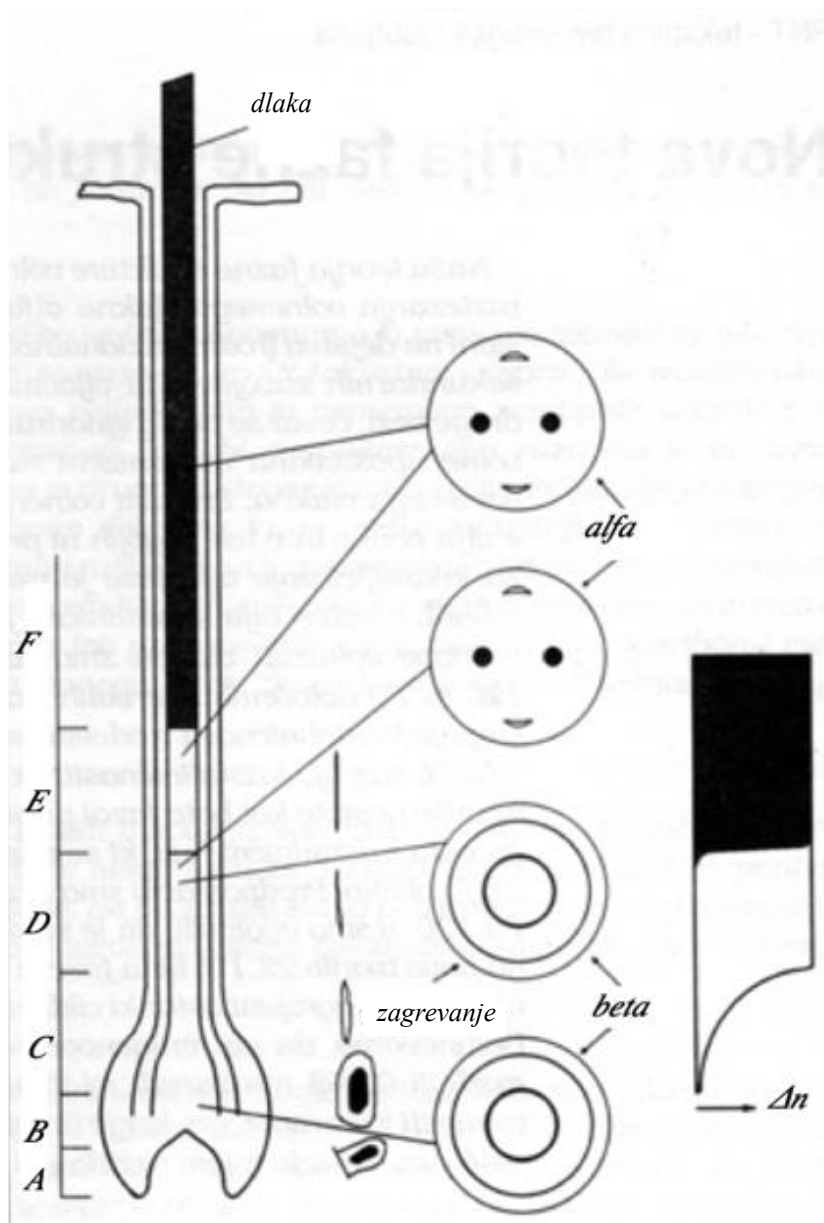
Možemo zaključiti da se proces transformacije nije završio. Kod hemijskih reakcija je to razumljivo. Rezultat nikad nije 100 %. Fazne prelaze ne možemo porediti sa hemijskom reakcijom jer su oni obično trenutni i teku potpuno iz jedne u drugu fazu. To je tako ukoliko nema nikakvih smetnji transformaciji. U našem slučaju nastaje trodimenzionalna struktura. Ako se nastanak te strukture (keratinizacija) završi pre nego se potpuno okonča transformacija, biće “zamrznut” preostali deo beta kristalita, i na osnovu toga bi ih morali identifikovati u vunenom vlaknu. Identifikacija je veoma teška.

Beta fazu možemo identifikovati samo na rendgenogramu. Ipak je veliki problem registrovati tipične reflekse za beta keratin, posebno, ako je malo materijala u obliku beta kristalita. Ekvatorijalni refleks na približno 0,98 nm ima i alfa keratin pa se oba pomešaju. Drugi karakterističan refleks za beta keratin u vunenom vlaknu je ekvatorijalni refleks na 0,465 nm. On je veoma jak na rendgenogramu ili difraktogramu rastegnutog snopa vunenih vlakana za 60% [10, 12]. U tom slučaju su nadmolekularni elementi strukture vlakna više orijentisani nego kod nerastegnutog vunenog vlakna. To znači da je ekvatorijalni refleks na 0,98 nm neupotrebljiv za identifikaciju prisutnosti beta faze u vunenom vlaknu. Ekvatorijalni refleks na 0,465 nm, ako je uopšte prisutan, nažalost je veoma zamaskiran difuznim prstenom na približno 0,46 nm. Možda bi ga bilo moguće izdvojiti metodom razdvajanja refleksa.

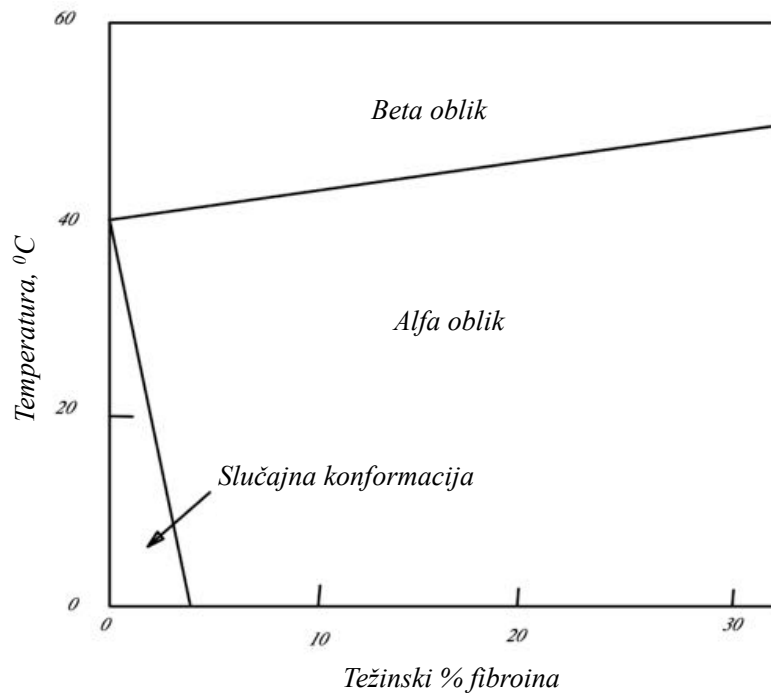
Možemo koristiti i drukčiji pristup identifikaciji i kvantifikaciji beta faze u vunenom vlaknu. Na osnovu analize rasta vunenog vlakna i identifikovanih faza u pojedinim stadijumima (zonama) rasta vunenog vlakna, možemo postaviti sledeće hipoteze, odnosno zaključke:

- veći deo molekule se transformisao iz beta u alfa oblik;
- jedan deo molekule se nije transformisao zbog termodinamičkih uslova i keratinizacije
- molekule, u koje su ugrađene ciklične aminokiseline, ne čine ni alfa ni beta fazu;
- snopovi beta molekula koji su se udružili sa molekulama, koje sadrže ostatke cikličnih aminokiselina, ne stvaraju beta kristalite niti hrapave beta ploče
- zaključak o beta snopovima [2], koji ne čine beta kristale ili hrapave beta ploče, nerealan je;
- u procesu razvlačenja snopa vunenih vlakana u vreloj vodi, nema uslova za alfa-beta transformaciju zbog poprečne stabilizacije protofibrila i makrofibrila pomoću cistinskih mostova, i zbog nemogućnosti odmotavanja sekundarnih zavoja molekula koji čine protofibrile;
- odmotavaju (otvaraju) se samo primarni zavoji alfa spirala.

Alfa spirala ima prečnik približno 0,51 nm, što omogućava razvlačenje alfa spirale za 120 %. Ako bi vuneno vlakno rastegli za 120 % odmotali bi (otvorili) sve primarne zavojnice alfa spirale. U vlaknu ne bi više bilo alfa faze. Moguće je ustanoviti stepen kristaliničnosti na bilo kom procentu rastezanja i na osnovu tih vrednosti zaključiti o delu alfa i beta faze u vunenom vlaknu. Ako uzmemo u obzir nabrojane zaključke i ako su ispravni, u vunenom vlaknu bi pored normalne alfa faze morali identifikovati još i beta fazu, kojoj bi se u procesu rastezanja pridružio deo molekula udruženih sa molekulama koje u svom lancu imaju ciklične aminokiseline i cistin. Kao posebna frakcija bi se još našle molekule sa cikličnim aminokiselinama. Ovaj zaključak ćemo testirati na osnovu rezultata promene stepena kristaliničnosti, koji je bio izmeren na ekvatorijalnom refleksu na 0,98 nm.



Slika 12-1: Promene konformacije makromolekula za vreme rasta čovečje dlake [4]



Slika 12-2: Uticaj temperature i koncentracije u fibroinskom filmu, na konformaciju fibroina prirodne svile

12.3. Eksperimentalna tehnika

12.3.1. Rendgenografska metoda određivanja stepena kristaliničnosti u vunenom vlaknu

Za određivanje stepena kristaliničnosti modifikovali smo tradicionalnu metodu [10] koja se često upotrebljava za vlakna. Optimalni prečnik snopa paralelnih vunениh vlakana je 2nm. Kao osnovu za određivanje stepena kristaliničnosti smo uzeli ekvatorijalni reflex na 0,98 nm. Ovaj reflex ima dve prednosti. Prva je ta da se nalazi između dva minimuma, koji su približno na 5, odnosno 14 stepeni Bragovog ugla 2θ i ne zavise od azimutnog ugla i procenta istezanja vunениh vlakana, izuzev što se malo približavaju jedan drugome kod vrlo velikih istezanja zbog smanjenja rasipanja refleksa, koje je posledica većeg stepena orijentacije strukture rastegnutih vunениh vlakana. Druga prednost je u tome što je taj reflex zajednički za alfa i beta kristaliničnu fazu. Navedene minimume je moguće povezati tangentom, te sa njom razdeliti relativne intenzitete amorfne i kristalinične faze (slika 12-3a).

Snimali smo difraktograme vune „Linkoln”, finoće približno 30 μm , uzduž Bragovog ugla između 4 i 45 stepeni i to: na ekvatoru, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 i 90 (meridian) stepeni po azimutu na rendgenu „Rigoku”. Prilikom obrade rezultata smo uzeli u obzir rasipanje zbog prisustva vazduha. Uticaj vode na 9 stepeni Bragovog ugla 2θ je zanemarljiv [9]. Izmerene vrednosti relativnih inteziteta na 0,98 nm razmaka među nivoima na difraktogramima u zavisnosti od ugla smo povezali krivuljom.

Pošto smo tangentom razdelili zajedničke integralne intenzitete (slika 12-3a), dobili smo dve krivulje (slika 12-3b). Površina ispod krivulje 1 je zajednički intenzitet kristaliničnih faza i amorfne faze, dok površina ispod krivulje 2 predstavlja deo amorfne faze. Površina ispod krivulje 3 (slika 12-3) predstavlja razlika među tim dvema površinama i deo je kristaliničnih faza. Na osnovu toga možemo napisati sledeću jednačinu:

$$I = I_a + I_c = 1 \quad (12.1)$$

gde su:

- I - ukupni integralni intenzitet odstupanja rendgenskih zraka od kristaliničnih i amorfne faze u vuni;
- I_a - integralni intenzitet amorfne faze;
- I_c - integralni intenzitet kristaliničnih faza.

Deo integralnog intenziteta I_c se odnosi na alfa i beta kristaliničnu fazu. Ne znamo tačno koliko ovom integralnom intenzitetu doprinosi jedna ili druga kristalinična faza i da li uopšte u nerastegnutom vunenom vlaknu postoji beta faza.

12.3.2. Eksperimentalna tehnika pripreme uzoraka za snimanje difraktograma

Osnova svakog eksperimentalnog rada je pravilna priprema snopa paralelnih vunениh vlakana. U snopu moraju biti vlakna potpuno paralelizovana, što znači izravnata. Paralelizam vlakana je teško postići kod fine kovrdžave vune. Zbog toga su primereniji grubi tipovi vlakana, bez kovrdža, ili ksa malo kovrdža kao što su vune „Linkoln” i „Kocvold”. Nosač snopa vlakana se postavlja u adapter koji je postavljen u rendgen. Snop vunениh vlakana 2 je učvršćen u nosač 1 (slika 12-4) pomoću zavrtnja 4, odnosno valjčića 3. Valjci pritiskaju snop vlakana u desno, zbog čega se može promeniti paralelnost vlakana u levoj polovici snopa. Osim toga vlakna su slobodna između dve tačke uklještenja; zbog toga snop teži ka obliku posude.

U literaturi možemo naći tvrdnje da je vuneno vlakno moguće rastegniti za oko 120 %, ali samo pod određenim uslovima [1]. Vlakno mora tokom procesa rastezanja biti potopljeno u vrelu vodu. Brzina rastezanja mora biti što manja. Na dinamometru vlastite konstrukcije smo postigli brzinu rastezanja oko 0,63 % na minutu. U odnosu na dužinu snopa vlakana to znači da smo za rastezanje snopa 100 % potrošili oko 2 sata i 39 minuta.

Mala brzina rastezanja vlakana je potrebna da bi se omogućila reorganizacija elemenata strukture u vlaknu. Tako smo dostigli najveće moguće istezanje. Već na 100 % rastezanju (pokušali smo rastegniti snop vlakana 120 %) smo ustanovili da je veliki broj vlakana bio prekinut. Prekinuta vlakna su kasnije bila izdvojena iz snopa vlakana i nisu bila ukleštena u snop vlakana koja smo upotrebili za snimanje difraktograma. Nakon rastezanja na unapred izabrani postotak rastezanja, ukleštena i rastegnuta vlakna smo osušili a potom izvadili iz klešta dinamometra (slika 12-4). Time je onemogućena eventualna relaksacija vlakana (skupljanje) zbog zaostalih unutrašnjih napona.

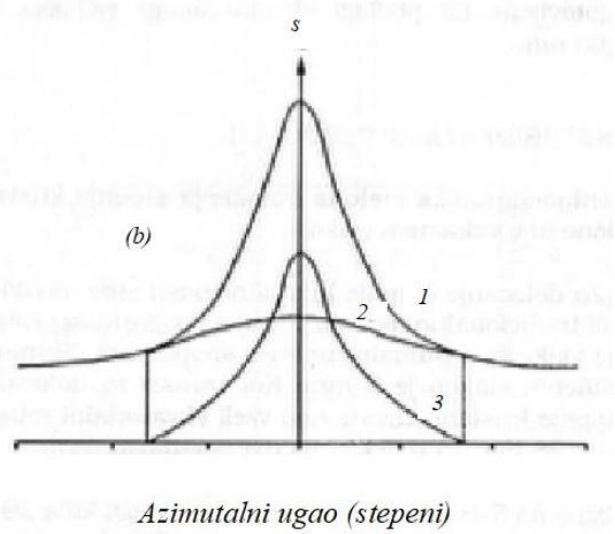
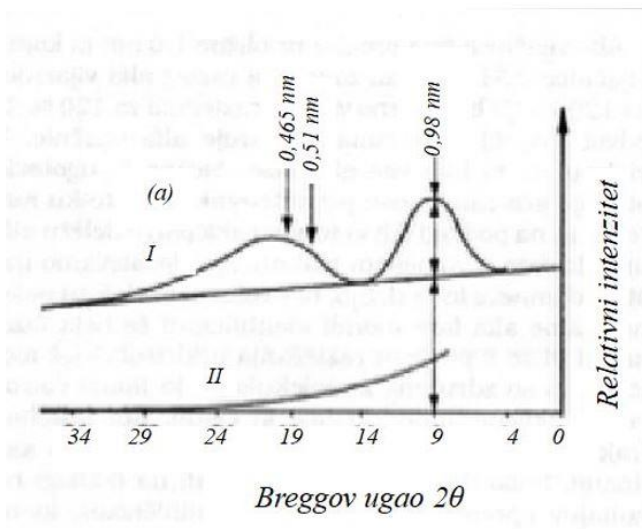
12.4. Eksperimentalni rezultati

Pripremili smo veći broj uzoraka koje smo rastezali na unapred izabrani procenat rastezanja. Pokušali smo rastezati vunena vlakna do 120 %, ali nam to nije potpuno uspelo. Više od 50% vlakana je bilo prekinuto. Zbog toga smo napravili snop vlakana za snimanje na rendgenu udruživanjem neprekinutih vlakana iz većeg broja rastegnutih snopova vlakana. Kako je već navedeno, svi pripremljeni uzorci su snimani na strukturnom rendgenu i prikazani na rendgenogramu sa tehnikom širokog ugla (WAXS).

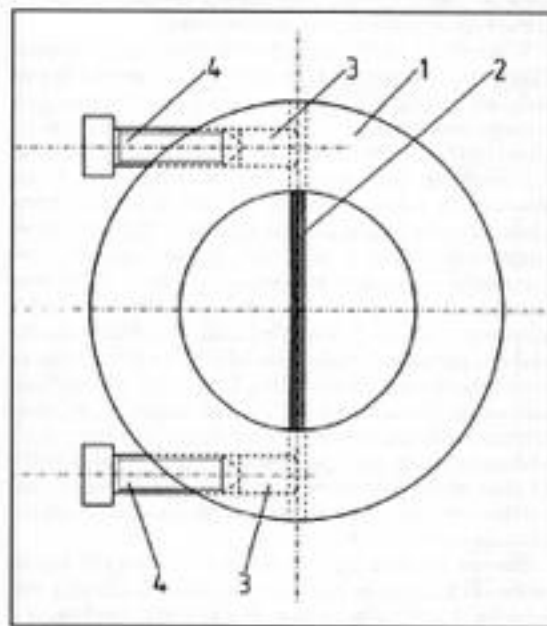
Na osnovu obrađenih difraktograma izračunali smo stepen kristaliničnosti vunenog vlakna. Ipak, to nije dovoljno. Problem je u interpretaciji izračunate vrednosti stepena kristaliničnosti u zavisnosti od procenta rastezanja. Pri tome moramo uzeti u obzir dosadašnja saznanja na području fazne strukture vune. Promena stepena kristaliničnosti u zavisnosti od procenta rastezanja, uz saznanje da je u nerastegnutoj vuni „Linkoln” deo alfa kristalinične faze 0,4 (ili 40 %) i deo beta kristalinične faze 0,172 (ili 17,2 %), prikazana je u tabeli 12-1.

Najraširenija je hipoteza (na osnovu fotografija poprečnog preseka vune, koje su snimane na elektronskom mikroskopu), da mikrofibril ima model „9 + 2” [2] i da je u jedinici toga modela (aranžmana) samo 40% (zapreminskih) delova alfa faze. Pošto alfa faza ima manju gustinu nego beta faza, maseni udeo je manji od 40%. Pritom možemo navesti da rendgenogram uskog ugla (SAXS) ne potvrđuje taj model. U ovoj raspravi se nećemo upuštati u pokušaj odgovora na to pitanje. To bi svakako zahtevalo mnogo posla u odnosu na naše eksperimentalne i materijalne mogućnosti. Problem je i teoretski veoma složen. Zbog toga ćemo uzeti u obzir model „9+2”, a da se kritički ne zapitamo o realnosti njegovog postojanja. Izračunati stepeni kristaliničnosti (tabela 12-1) se odnosi na maseni deo. U prvoj aproksimaciji ćemo pretpostaviti da je gustina vunenog vlakna uniformna bez obzira na kristaliničnu fazu. Vrednost stepena kristaliničnosti, koji je veći od 40 %, pripisaćemo beta kristaliničnoj fazi.

Na osnovu obrađenih difraktograma izračunali smo stepen kristaliničnosti vunenog vlakna. Ipak, to nije dovoljno. Problem je u interpretaciji izračunate vrednosti stepena kristaliničnosti u zavisnosti od procenta rastezanja. Pri tome moramo uzeti u obzir dosadašnja saznanja na području fazne strukture vune. Promena stepena kristaliničnosti u zavisnosti od procenta rastezanja, uz saznanje da je u nerastegnutoj vuni „Linkoln”.



Slika 12-3: Ilustracija metode za određivanje stepena kristaliničnosti u vunenom vlaknu
 a) Ekvatorijalni difraktogram; b) Raspodela relativnih intenziteta na međusobnoj udaljenosti ravnina 0,98 nm u zavisnosti od azimutnoga ugla



Slika 12-4: Nosač snopa paralelizovanih vunениh vlakana

12.5. Analiza rezultata

12.5.1. Nepotpunost eksperimentalne tehnike

Eksperimentalni rezultati u tabeli 12-1 su prikazani u stupcima 1 i 2. Stupac 3 zasnovan je na zaključku da su u vuni ostaci beta kristalita, koji se nisu transformisali u alfa fazu tokom procesa rasta i keratinizacije vunenog vlakna. Uprkos tome što su vlakna dobro paralelizovana pre nego što su postavljena u klešta dinamometra za rastezanje vunenih vlakana i što je za eksperiment upotrebljena vuna „Linkoln” (koja ima samo malo kovrdža), ona nisu idealno izjednačena među kleštima pre početka istežanja. To odstupanje utiče na rezultate i znači nešto niže realne vrednosti. Pored toga, i visukoelastične deformacije imaju uticaja. Iz rastegnutih vlakana se napravi snop koji se namesti u nosač snopa, a on se posle stavi u adapter za snimanje na rendgenu. Vlakna su stajala u nosaču i do 30 dana. Uprkos tome što su bila dobro ukleštena, ona su se nešto skupila jer ih nije bilo moguće potpuno izravnati prilikom ukleštenja u nosač. Prilikom prenosa iz klešta u nosač, vlakna su bila neko vreme slobodna (neukleštena) i moguće da je došlo do delimičnog skupljanja zbog delovanja unutrašnjih napetosti u vlaknu, ukoliko su one još prisutne (visukoelastična deformacija) Pomoću poboljšane eksperimentalne tehnike moguće je te uticaje smanjiti ispod 2% tako da bi istežanje, koje je naizgled iznosilo 120%, realno bilo između 117% i 119%.

U ranijoj objavi [13] smo se pozivali na 3 moguća uzroka i napomenuli da se greške mogu pojaviti prilikom snimanja difraktograma i grafičke obrade rezultata. Tačnije difraktograme bismo dobili ako bismo ih snimali u vakuumu. Vrednosti stepena kristaliničnosti bi bile tačnije ako bi automatizovali grafičku obradu difraktograma. Tačnost eksperimentalne tehnike je moguće poboljšati tako da minimiziramo odstupanje rezultata od realnih vrednosti. Pošto u našem primeru globalno ocenjujemo prihvatljivost saznanja o faznoj strukturi vune, eksperimentalni rezultati u tabeli 12-1 zadovoljavaju u prvoj aproksimativnosti

12.5.2. Fazna struktura vune

Izračunati stepen kristaliničnosti je 57,2%. Pošto je u ćeliji modela „9+2” samo oko 40 zapreminskih procenata materijala, koji je u alfa obliku, najmanje je 17,2 % preostalog dela u beta obliku. Model „9+2” smo uzeli jer trenutno nemamo boljeg rešenja. Ukoliko je model „9+2” ispravan, onda je u zoni B i početku zone C (rast vunenog vlakna) u vuni bilo 57,2 težinskih procenata materijala u beta obliku. Od tog materijala se veći deo transformisao u alfa oblik, ali ga je oko 30 % (ili 17,2 % računato na celu masu vlakna) ostalo netransformisanog. U vuni je oko 20 % cikličnih amino-kiselina [3]. Ove amino-kiseline ne mogu stvarati ni alfa ni beta kristalinične oblike. Ostaje još 22 do 23 % materijala koji nije identifikovan ni u alfa ni u beta kristaliničnom obliku. U procesu rasta taj materijal je morao biti u takvoj konfiguracijskoj vezi sa molekulama, koje u svom sastavu imaju ciklične amino-kiseline, da nije bilo uslova za konfiguraciju beta kristalita.

Proces razvlačenja deluje drugačije nego kompresija u procesu rasta. Omogućava „rasplet” konglomerata koje čine „obične” linearne makromolekule, i makromolekule koje u svom sastavu imaju određen deo amino-kiselinskih ostataka u cikličnom obliku. Verovatno tim konglomeratima možemo pripisati deo materijala koji u literaturi nazivamo beta snopovi [2]. Tokom procesa razvlačenja takvi konglomerati se razbijaju i smemo zaključiti da se linearne molekule iz tih konglomerata udružuju u beta kristalite. Ako je ovaj zaključak ispravan, na 120% razvlačenja dobili

bismo još oko 22 do 30 % beta kristalita. U našem eksperimentu (tabela 12-1, stupac 5) nanovo je nastalo 22,1 % beta faze.

Naš osnovni zaključak je da beta faza u procesu rastezanja ne nastaje iz alfa faze, nego iz dela konglomerata (beta snopova) u procesu prestrukturiranja i njihove razgradnje. Činjenica je da je moguća transformacija alfa-beta u zoni D u slučaju zagrevanja materijala. Ipak, u tom slučaju još nije završena keratinizacija i protofibrili imaju slobodno kretanje u prostoru, što znači da nisu poprečno spojeni sa cistinskim mostovima i nije favorizovana razgradnja protofibrila u sastavne delove - makromolekule. U procesu razgradnje vunenog vlakna prevelike su prostorne prepreke i nema uslova za odmotavanje sekundarnih zavoja alfa spirala. Odmotavaju se samo primarni zavoji. Ako tu činjenicu uzmemo u obzir, onda dodatni deo beta faze potiče iz ranije pomenutih konglomerata molekula. Na osnovu mehanizma rasta čovečje dlake [4], fazne transformacije makromolekula u filmu fibroina prirodne svile [5], amino-kiselinskog sastava vunenog vlakna [11] i naših eksperimentalnih rezultata, možemo ustanoviti sledeći približan fazni sastav vunenog vlakna izražen u procentima:

- alfa faza u nerastegnutom vunenom vlaknu: 40 % ili nešto manje;
- beta faza u nerastegnutom vunenom vlaknu: 17,2 % ili nešto više;
- potencijalni dodatni deo beta faze, koga je moguće identifikovati u procesu rastezanja, 22,1 %;
- količina materijala koji ne čini ni alfa ni beta kristaliničnu fazu: 20,7 %

12.6. Umesto zaključaka

Opisana teorija fazne strukture vune [14] se čini realnom i logičnom, ali ipak ima dve slabe tačke. Prva je „9+2” protofibrila u mikrofibrilu i pretpostavljena fazna kompenzacija toga mikrofibrila; druga slaba tačka se odnosi na rendgenogram nerastegnuto g vunenog vlakna, koji ne pokazuje prisutnost beta kristalinične faze; odnosno, ekvatorijalni maksimum na 0,465 nm razdaljine među nivoima je zamaskiran difuznim prstenom na približno 0,46 nm razmaka među nivoima. Detaljna analiza naših difraktograma pokazuje da je verovatno prisutan ovaj ekvatorijalni maksimum, koji je karakterističan za beta kristaliničnu fazu.

Tabela 12-1: Promene stepena kristaliničnosti vune u zavisnosti od % istezanja uz pretpostavku da je u ne-rastegnutoj vuni Linkoln deo alfa kristalinične faze 0,4 (ili 40 %) i deo beta kristalinične faze 0,172 (ili 17,2 %) [14]

Isteza-nje %	$\alpha + \beta$ faza %	% Nerastegnute α zavojnice (osnova 120%)	α faza, %	Količina β faze, %: ((2) - (4))	Smanje-nje α faze, % $\Delta\alpha$ % (40 - (4))	Razlika između $\Delta\alpha$ i $\Delta\alpha$ -17,2%: (6)-[(5)-17,2]
1	2	3	4	5	6	7
0	57,2	100,0	40,0	17,2	0,0	0,0
5	55,4	95,8	38,3	17,1	1,7	1,8
10	53,3	91,7	36,7	16,6	3,3	3,9
15	50,9	87,5	35,0	15,9	5,0	6,3
20	48,8	83,3	33,3	15,5	6,7	8,4
30	48,6	75,0	30,0	18,6	10,0	8,6
36	47,9	70,0	28,0	19,9	12,0	9,3
46	47,3	61,7	24,7	22,6	15,3	9,9
54	46,9	55,0	22,0	24,9	18,0	10,3
70	41,1	41,7	16,7	24,4	23,7	16,1
80	41,5	33,3	13,3	28,2	26,7	15,7
95	43,5	20,8	8,3	35,2	31,7	13,5
100	43,0	16,7	6,7	36,3	33,3	14,2
110	38,5	8,3	3,3	35,2	36,7	18,7
120	39,3	0,0	0,0	39,3	40,0	17,9

Literatura

1. Skertchly A. R. B. 1964. Structural rheological phases in wool keratin. Journal of the Textile Institute Transactions 55 (2): 154–161.
2. Chapman B. M. 1969. A mechanical model for wool and other keratin fibers. Textile Research Journal 39 (12): 1102–1109.
3. Crewther W. G., Dowling L. M., Inglis A. S., Sparrow L.G., Strike P. M., Woods E. F. 1985. Wool microfibrils and intermediate filaments have common structural features. Tokio, 7th International Wool Textile Research Conference Proceedings. Vol. 1: 85–94.
4. Mercer E. H. 1961. Keratin and Keratinization: an essay in molecular biology. Oxford, London, Pergamon Press: 210–282.
5. Crewther W. G., Dowling L. M., Inglis A. S., Sparrow L. G., Strike P. M., Woods E. F. 1985. Wool microfibrils and intermediate filaments have common structural features. Tokio, 7th International Wool Textile Research Conference Proceedings. Vol. 1: 329–353.
6. Burton, A. C., Edholm, O. G. 1955. Man in a cold environment. Physiological and pathological effects of exposure to low temperatures. London, Edward Arnold (Publishers) Ltd.: 273 str.
7. Crewther W. G., Fraser R. D. B., Lennox F. G., Lindley H. 1965. Advances in Protein Chemistry 20: 191–346.

8. Pauling L., Corey R. B. 1951. The pleated sheet, a new layer configuration of polypeptide chains. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA* 37(5): 251–256.
9. Deng Ch., Wang L., Wang X. 2007. Diameter variations of irregular fibers under different tensions. *Fibers and Polymers* volume 8: 642–648.
10. Jakšić D. 1995. New approach to wool phase structure. *Proceedings of the 9th International Wool Textile Research Conference*. Biela. Textile Research Institute: 12–18.
11. Marmur J., Doty P. 1961. Thermal renaturation of deoxyribonucleic acids. *Journal of Molecular Biology* 3 (5): 585–594.
12. Jakšić D., Jovanović R. 1976. Effect of pressure on morphology and molecular wool structure. *Proceedings. 5. Internationale Wolltextilforschungskonferenz Aachen*. AAVeranstalter Deursches Wollforschungsinstitut an der Technischen Hochschule Aachen, Deutsches Wollforschungsinstitut on der Technischen Hochschule Aachen Vol. II: 54–68.
13. Jakšić D. 1990. Analiza strukturnih sprememb v volnenem vlaknu med procesom raztezanja. *Tekstilec* 11: 383–388.
14. Jakšić D. 1993. Nova teorija fazne strukture volne. *Tekstilec št. 4–5*: 135 – 142.

13. PROJEKTOVANJE TEKSTILJA ZA OPREMANJE STANA I PROSTORA ZA BORAVAK

13.1. Opšte

Tekstilije za opremanje stanova i životnih prostora zauzimaju veoma široko područje (spektar), pre svega, tkanina i u nešto manjem obimu i područje vlaknovina i pletenina. Tu pre svega mislimo na tekstilije za tapaciranje nameštaja, za tapaciranje autobusa, vozova, aviona i drugih prevoznih sredstava, te dekorativne tkanine za zavese, zidne i podne obloge, tepihe itd.

13.2. Tekstilije za posteljinu i za tapaciranje nameštaja

Ove dve skupine tekstilija imaju različitu namenu. Zbog toga su pojedini parametri kvaliteta različito rangirani. Najpre ćemo pogledati tekstilije za posteljinu, a potom tekstilije za tapaciranje namještaja. Pritom ne mislimo samo na nameštaj u stanovima i javnim prostorima, nego i za tapaciranje unutrašnje opreme u saobraćajnim sredstvima (automobili, autobusi, vozovi, brodovi, avioni i ostalo).

13.2.1. Posteljina

Prilikom projektovanja posteljine moramo pre svega uzeti u obzir sledeće faktore: fiziološku podobnost, lako čišćenje, otpornost prema gorenju, termoizolacijsku vrednost, trajnost i sl.

13.2.1.1. Fiziološka podobnost

Posteljina, pre svega, ne sme nadraživati kožu. To važi najpre za posteljinu koja je neposredno u dodiru sa subjektom (posteljno rublje). Moguće iritiranje kože možemo u velikoj meri izbeći upotrebom odgovarajuće pidžame. Bez obzira na pidžamu, posteljno rublje mora biti dovoljno propusno za vazduh i vodu. U suprotnom, znoj bi se počeo kondenzovati, što bi svakako bilo nepovoljno za stvaranje osećaja ugodnosti, odnosno spavanje. Pored toga, vremenom bi se na površini kože nakupila prevelika količina ugljen-dioksida, koji povećava znojenje i nadražuje kožu.

Donji deo - ležište (uložak postelje) i čaršav moraju omogućiti ugodan položaj tela i normalno kruženje krvi. Pritom mnogo šta zavisi od položaja tela. Pošto većina ljudi spava na boku, taj položaj možemo uzeti kao osnovni, i na osnovu njega odrediti visinu uloška i pokrivača. Konstrukcija uloška mora biti takva da se ne deformiše čak ni tada kad je težina osobe 100 kg i više. Takve osobine imaju moderni ulošci „jogi“.

13.2.1.2. Pranje

U principu, posteljina se pere. Pritom je važno da se ona može lako oprati. Sa energetskog stanovišta je povoljno ako je dovoljno pranje na niskim temperaturama (40 do 60 °C). U pojedinačnim slučajevima to nije moguće (bolnice), pa je zbog dezinfekcije, krvi i drugih tvari potrebno prati na 95°C. U tim slučajevima je najpovoljnije ako je posteljina izrađena od pamuka. U drugim slučajevima se može upotrebiti mešavina pamuka i hemijskih vlakana (PES, PA i sl.). Pamučnih vlakana mora biti bar 30%.

13.2.1.3. Zapaljivost i gorenje

Tekstilni proizvodi dobro gore; izuzetak su proizvodi od vunениh vlakana. Dakle, možemo reći da su tekstilije zapaljive. To važi i za posteljину, posebno za posteljno rublje i prekrivače. Pošto u slučaju zapaljenja posteljine nisu u opasnosti samo materijalna dobra, nego i ljudski životi, neke države su propisale da u javnim objektima (hoteli, bolnice i sl.) posteljina mora biti nezapaljiva. Nezapaljivost se postiže impregnacijom tkanina različitim sredstvima koja smanjuju zapaljivost. Pritom se smanjuje fiziološka prihvatljivost takvog proizvoda. Osim toga, teško je postići permanentnu negorivost, posebno kod stvari koje se često peru, kao što je posteljno rublje. Zbog toga se moderna tehnološka rešenja oslanjaju na ugrađivanje komponenti koje usporavaju gorenje u rastopinu mase, iz koje se proizvode hemijska vlakna. Kod prirodnih vlakana se aktiviraju pojedine grupe na koje se, kovalentnim ili solnim vezama, vežu molekule impregnacionog sredstva koje usporava gorenje.

Prilikom projektovanja treba još uzeti u obzir činjenicu da je negorivost posteljine poželjna, ili čak propisana. Obično se kao najniža vrednost uzima indeks kiseonika 25 %, što znači da se proizvod ne može zapaliti ni goretі ako u atmosferi nema makar 25 % kiseonika.

13.2.1.4. Toplotna izolacija

Kao osnova za izračunavanje vrednosti toplotne izolacije posteljine uzima se toplota koju osoba proizvede tokom spavanja, odnosno $168 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{h}$. Drugi parametar je temperatura okruženja. Ona je u većini slučajeva 15 do $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Ukoliko se spava na otvorenom ili u šatoru, u vreći za spavanje, koja ima ulogu posteljine, temperatura može biti niža od $15 \text{ }^\circ\text{C}$.

Izgleda da je svakako prijatno ako su prekrivači višeslojni (na primer više tanjih deka). Prekrivači od perja se ne preporučuju jer se ne mogu prilagoditi većem variranju temperature okruženja. Kod proračuna potrebne vrednosti toplotne izolacije kompleta, i vrednosti toplotne izolacije pojedinih slojeva, neophodno je uzeti u obzir stvarne debljine pojedinih delova posteljine, koje se menjaju zbog pritiska koji prouzrokuje osoba. Ovo posebno važi za vreću za spavanje. Pored toga, prekrivači moraju biti savitljivi da bi se prilagođavali položaju tela. Dimenzije prekrivača moraju omogućiti dobro zaptivanje oko tela. U suprotnom slučaju se čitav dinamički proračun može pokazati kao nerealan zbog slobodnog kruženja okolnog vazduha između subjekta i pokrivača. U tom slučaju u okolinu ide više toplote nego što pokazuje proračun.

13.2.1.5. Trajnost

Ovaj parametar, u relativno bogatim društvima, nije dominantan. Kod nas ga još uvek ne možemo zanemariti. To nam pokazuje i reklama. Kod reklame za „jogi” oprugu garantuje se čak 20-godišnja trajnost. Kvalitetne deke traju mnogo manje, a posteljno rublje najmanje, jer je tokom spavanja izloženo najvećem trenju i habanju. U procesu pranja, pored toga, nastaju velika oštećenja koja se obično pokazuju kod učestalog pranja.

Kod projektovanja se nećemo uopšteno previše obazirati na trajnost ako se to eksplicitno ne zahteva. Ovaj zahtev je prisutan u vojsci, gde se mora propisati trajnost zbog količinskih normi i planiranja finansijskih sredstava za obnavljanje posteljine.

13.2.2. Tekstilije za tapaciranje nameštaja

Tekstil za tapaciranje nameštaja (pokućstva) i pojedinih delova unutrašnje opreme saobraćajnih sredstava možemo podeliti na dve osnovne grupe: vlaknovine i razne vrste pena za punjenje, te tkanine ili pletenine za presvlake.

13.2.2.1. Punila

U novije vreme se za punjenje koriste pre svega sintetičke pene, koje su veoma elastične i uprkos dugotrajnom opterećenju ne gube gotovo ništa od svoje elastičnosti. Sintetičke pene je moguće proizvoditi u raznim debljinama i dimenzijama. Zbog toga je veoma pojednostavljeno oblikovanje pojedinih delova pokućstva, pre svega obloženi stolica, fotelja, kauča i sl.

Sintetička pena ima mnogo praznih prostora ispunjenih vazduhom, čak i kada je sabijena. Zbog toga pena ima relativno dobre termoizolacijske osobine. Ona se praktično ne haba, pošto je „izolovana” prekrivnom tkaninom. Trajnost pene zavisi od brzine starenja. Sa starenjem je povezana i elastičnost, koja se sa vremenom smanjuje. Problem nastaje kada se pena nakvasi. Sušenje je veoma sporo i pritom može doći do oštećenja konstrukcije tapaciranog komada nameštaja bez obzira na to da li je od drveta ili metala.

13.2.2.2. Tekstilije za navlake

Za navlake upotrebljavamo pre svega tkanine koje moraju imati određene osobine. Među njih ubrajamo: stabilnost oblika, otpornost prema deformacijama, otpornost prema pilingu, otpornost na trenje, otpornost na prljanje, estetski izgled i dr. U novije vreme se upotrebljavaju i pletenine. One moraju biti elastične, odnosno veoma elastične. Ne smeju se pojaviti plastične deformacije. Stabilnost oblika i otpor prema deformacijama su veoma slični kriterijumi. Kada govorimo o stalnosti oblika, mislimo na to da se tkanina ne skuplja i ne rasteže pod vanjskim uticajima, odnosno da presvučeni predmet ne menja svoj izgled zbog promena dimenzija prekrivne tkanine (pletenine za tu namenu retko koristimo). Stvarne promene dimenzija su posledice trajnih deformacija. To znači da možemo dozvoliti elastične i delimično veoma elastične deformacije pod uticajem vanjskih sila, a nikako trajne deformacije. Kod projektovanja uzimamo u obzir samo sile koje se normalno pojavljuju u procesu upotrebe kućnog nameštaja, i to onako kako se u stvarnosti pojavljuju kao ciklična opterećenja.

Druga značajna osobina koju moramo uzeti obzir prilikom projektovanja tkanina za prekrivanje jeste pojava pilinga (čvorića). Ako je tkanina sklona nastanku čvorića, praktično je neupotrebljiva za prekrivanje pokućstva i drugih predmeta koje oblažemo.

Treća osobina, koju moramo uzeti u obzir kod tkanina namenjenih za prekrivanje pokućstva, jeste otpornost prema trenju. Za izradu ovih tkanina moramo izabrati takve sirovine i konstrukciju da postignemo što je moguće veću otpornost na trenje. To je zato što su delovi pokućstva veoma skupi, a čak ni zamena tkanine nije jeftina.

Četvrta osobina koju moramo uzeti u obzir prilikom projektovanja je otpor prema prljanju. Čišćenje prekrivne tkanine na tapaciranom pokućstvu je veoma teško. Zbog toga je preporučljivo izabrati takve sirovine i konstrukciju tkanine koja se sporo prlja. Svakako, ranije navedene osobine imaju prednost.

Još jedna značajna osobina je estetski izgled. On zavisi od konstrukcije tkanine koja se pokazuje u izgledu njene površine i harmonije boja tkanine. Često se koriste jednobojne tkanine. U tom slučaju

nije problem harmonija boja nego utisak boje na prosečnog kupca. On uopšteno zavisi od modnih tendencija, te od uklapanja boje sa celim okruženjem u kome će predmet pokućstva biti postavljen. Pitanju komponovanja boja je svakako potrebno posvetiti veliku pažnju.

13.3. Zavesa, zidne i podne obloge

Zavesa i zidne obloge možemo svrstati u jednu grupu tekstilija, podne obloge u drugu grupu. To pre svega zbog načina upotrebe, funkcije i delovanja okruženja na njih tokom upotrebe.

13.3.1. Zavesa i zidne obloge

13.3.1.1. Zavesa

Zavesa imaju estetsku i dekorativnu namenu. Pored toga, često se koriste za zatamnjene i ponekad za smanjenje buke. Ovakvo široko područje upotrebe ne može pokriti samo jedan tip proizvoda. Zbog toga se često koriste dvojne zavesa. Jedne lake i porozne, koje su obično prozirne, najčešće izrađene vezom sa različitim ornamentnim uzorcima. Ova vrsta zavesa mora zadovoljiti estetsku stranu, znači da dezen, odnosno izgled zavesa, mora biti ugodan oku posmatrača. Zavesa mora biti dovoljno teška da lepo pada, mora biti otporna na gužvanje i sunčevu svetlost, mora se lako prati i, ako je obojena, boje moraju biti postojane na sunčevu svetlost. U pogledu stepena prozirnosti zahtevi mogu biti različiti. Obično se zahteva da ta vrsta zavesa propušta u prostor dovoljno sunčeve svetlosti. U skladu sa tim, konstrukcija pletenine, tkanine ili veza mora biti namenjena za zavesa.

Druga vrsta zavesa (guste i teške zavesa), namenjena je sprečavanju dostupa vanjske svetlosti u prostor, ili služi kao pregradni zid u određenom prostoru; na primer, zavesa između pozornice i prostora za gledaoce u pozorištu. Ovakva zavesa mora imati sve ranije navedene osobine zavesa koje vešamo na prozore, osim prozirnosti. One moraju biti neprozirne. Ako takva zavesa nije izložena direktnoj sunčevoj svetlosti, nije obavezno da su boje postojane na svetlost. Ove zavesa su najčešće jednoboje i veoma retko bele.

13.3.1.2. Zidne obloge

Zidne obloge ili zidne tapete su najčešće papirne ili plastične. Izuzetno se upotrebljavaju i zidne obloge od tekstilnih vlakana. Ovakve obloge mogu biti tkane, pletene, taftovane ili od iglanih vlakovina. Najčešće se koriste za zvučnu izolaciju. Upotrebljavaju se takođe za dekoraciju panoa u galerijama i slično. Ako se koriste za dekorativne namene, zahtevane osobine mogu biti veoma različite i zavise od odluke naručioca. Zidne obloge, koje su namenjene smanjenju buke i odjeka, moraju biti veoma debele, guste i po mogućnosti imati hrapavu površinu. Ukratko, neka što efikasnije prigušuju buku i odjek. Pritom, zidne obloge deluju i kao termoizolacijski sloj i kao estetski element. Sa estetskog stanovišta je važna boja, dezen i izgled površine, što je preporučljivo uzeti u obzir prilikom konstrukcije zidne obloge. Da ne bi došlo do zapaljenja zidnih obloga, koje prekrivaju sve zidove, nužno je zidne obloge izraditi iz slabo zapaljivih ili nezapaljivih vlakana, ili ih možemo impregnirati protiv gorivosti. Posebno je opasno ako su u oblogi prisutna vlakna poliakrilnitrilnog porekla koja prilikom gorenja razvijaju otrovne gasove.

13.3.2. Podne obloge

Najveći deo podnih obloga otpada na obloge iz tekstlinih vlakana, kao što su tepisi, iglane vlaknovine, tafting obloge ili tekstilni ravni proizvodi, presvučeni plastičnom masom. Pošto se upotreba tekstilnih podnih obloga po obimu veoma brzo povećava, detaljnije ćemo obraditi osobine koje moramo uzeti u obzir prilikom konstrukcije podnih obloga, da bi one imale optimalan kvalitet s obzirom na uslove upotrebe.

13.3.2.1. Otpornost prema mehaničkim uticajima

Mehanički uticaji posebno dolaze do izražaja kod ovakvih obloga, jer se po njima stalno hoda. Sva površina podne obloge obično nije ravnomerno izložena mehaničkim uticajima. Ako vreme trajanja, odnosno veličinu pohabanosti merimo na osnovu debljine tepiha ili podne obloge, onda je moguće povući čitavu seriju izohipsa tako da visina podne obloge bude na svakoj od tih izohipsa jednaka. Na površinama po kojima se najviše hoda, po pravilu će podna obloga biti najtanja. Vreme trajanja tepiha ili podne obloge se, znači, određuje u odnosu na onaj deo površine, koji je najviše izložen mehaničkom uticaju. Ako se površina i debljina znatno promeni samo na određenom postotku ukupne površine, deo izrabljene površine je moguće zameniti, s tim da se vek trajanja ukupne površine poda, odnosno podne obloge, u proseku veoma produži. Debljina tepiha ili podne obloge se smanjuje zbog plastične deformacije koja nastaje jer na posmatranu površinu deluje pritisak; pored toga, debljina se smanjuje takođe zbog trenja. Između debljine tepiha (podne obloge) i broja prolaza (hodanja) postoji sledeća relacija [1]:

$$d = k - m(\log N) \quad (13.1)$$

gde su:

- d - debljina tepiha;
- N - broj prolaza (hodanja), čiji nam je logaritam potreban prilikom izračunavanja habanja flora tepiha (smanjenje) debljine d ;
- m - koeficijent smera regresijske krivulje;
- k - debljina tepiha pre upotrebe.

Jednačina važi za približno 10^3 do 10^5 prolaza u slučaju ograničenja ili kriterija da je tepih (podna obloga) upotrebljiv, dokle se njegova debljina ne smanji do početne debljine donjeg dela obloge kojoj dodamo 0,4 mm [2]. Uzimajući u obzir taj kriterij, moguće je na temelju praktičnog proučavanja na odgovarajućem aparatu ustanoviti broj prolaza tokom eksploatacije. Da bi broj hodanja bio što realniji, uslovi proučavanja moraju biti što bliži stvarnim. Kada dobijemo realan broj prolaza, nije teško izračunati realno vreme trajanja tepiha, s tim da se oceni prosečan broj prolaza u jednom danu. Broj prolaza tokom upotrebe će, znači, biti:

$$\log N_f = k - (d + 0,04) / m \quad (13.2)$$

gde su:

- k - debljina tepiha pre upotrebe (ili pre proučavanja);
- m - koeficijent smera regresijske krivulje;
- d - početna debljina donjeg sloja podne obloge ili tepiha;
- N_f - broj mogućih prolaza preko posmatrane površine tepiha (podne obloge) tokom upotrebe.

Ako uzmemo u obzir da je tokom upotrebe noseći sloj tepiha (donji sloj) bio plastično deformisan (to važi i za gornji sloj koji se tare), možemo zaključiti da je gornji kriterij veoma strog.

Koeficijent korelacije regresijske krivulje jednačine u gore navedenom intervalu je veći od 0,98, tako da je standardna greška izračunatog vremena upotrebe manja od 0,1 logaritamskih jedinica. To važi za vunene tepihe; za tepihe od mešavine sintetičkih vlakana sa vunom [2], izrađenih od 1/3 vune i 2/3 PAN vlakana, u odnosu na tepihe od čiste vune sa jednakim konstrukcijskim karakteristikama ovaj koeficijent je manji samo za oko 8 %, a kod drugih sintetičkih vlakana je razlika još manja.

13.3.2.2. Postojanost boja

Postojanost boja kod tepiha i podnih obloga na određeni način utiče na kvalitet. Kada biramo testove za postojanost boja, treba uzeti u obzir sve činjenice koje tokom upotrebe utiču na promenu boja. Ispitivanja [3] su pokazala da nije potrebno testirati postojanost boja na kiseline, ostatke alkalija, toplotu, redukcijske ragense i urin; treba ih testirati na kuhinjsku so, na čišćenje i vodu. Preporučuje se testiranje postojanosti boja na so, jer su neke boje osjetljive na kuhinjsku so, a ona se u zimskom vremenu može preneti sa đonova na podnu oblogu.

Metode za određivanje postojanosti boja na tekstilu su propisane standardima. U Sloveniji trenutno ne postoji standard za određivanje postojanosti boja. Preporučuje se postojanost boja na svetlost 6, prihvatljiva je postojanost 5, posebno u slučajevima kada podna obloga nije previše izložena sunčevoj svetlosti. Ostale postojanosti moraju se kretati najmanje u nivou 3 do 4.

13.3.2.3. Udobnost prilikom hodanja

Za tepihe i podne obloge uveden je takozvani koncept „indeksa upotrebljivosti” [4], koji obuhvata udobnost prilikom hodanja, akustičnu i termičku udobnost te sigurnost za slučajevne hodanja. Ove osobine su najvažnije, ali se kod sadašnje upotrebe tepiha i podnih obloga, te prilikom proučavanja njihovog kvaliteta retko misli na njih. Sloj, koji je izložen trenju, mora biti mekan da može prigušiti delovanje udaraca koji nastaju u toku hodanja; prilikom opterećenja mora imati veoma visok modul na pritisak da se spreče veće plastične deformacije. Uticaj hodanja je pažljivo bio analiziran i zaključeno je da se prilikom brzog hodanja, u trenutku kada noga udara o tlo, veći deo telesne težine prenosi na petu; time se povećava dinamičko opterećenje na podnu oblogu. Brzo hodanje moguće je uporediti sa teretom teškim 80 kg koji padne na podnu oblogu brzinom 0,5 m/s, polaganu šetnju sa 10 kg teškim teretom, koji dotakne tlo jednakom brzinom. Proučavanje je pokazalo da su iglane podne obloge primerenije za prostore gde dolazi do većih opterećenja, dok su tafting obloge sa rezanim vlasastim slojem (florom), koji je izložen trenju, primerenije za manja opterećenja, kakva su najčešće u prostorima za stanovanje.

Umesto da merimo udarce sile, mnogo prikladnije je meriti „efektivni rad prilikom trenja sloja”, koji je rezultat pritiska koga izaziva opterećenje na površini sloja trenja. Efektivni rad je količnik rada

prilikom kompresije (proizvod opterećenja i promene debljine podne obloge) i prosečnog pritiska. Proučavanje efektivnog rada na različitim pritiscima dokazuje da podne obloge sa florom na sloju za trenje imaju visok indeks udobnosti u lokacijama gde je opterećenje manje, kao što su, na primer, spavaonice; u lokacijama sa velikim opterećenjem, kao što su ulazni hodnici, dnevne sobe, najveći indeks udobnosti imaju podne obloge sa niskim gustim florom na sloju za trenje. U ovakvim slučajevima veoma su dobre iglane podne obloge kod kojih sa povećanjem opterećenja raste udobnost hodanja.

Istraženo je, takođe, kako indeks udobnosti utiče na noseći sloj podne obloge. Pomoću najjednostavnijih merenja je ustanovljeno da nam za jednaku deformaciju pene i ekstrudirane koprane na donjoj strani nosećeg sloja treba veći efektivni rad nego za podlogu od jute, i to na svim pritiscima.

13.3.2.4. Akustične osobine

Već je odavno poznato da tepisi (koji istovremeno nude i druge ugodnosti) veoma odgovaraju za ovu namenu. Tepisi i podne obloge smanjuju jačinu zvuka na tri različita načina. Oni izoluju zvučne talase koji nastaju prilikom udarca. Hodanje, na primer, u velikoj meri proizvodi zvuk visoke frekvencije. Tepih deluje tako da istu količinu energije transformiše u mnogo prihvatljivije niže frekvencije. Što je tepih deblji, tim bolje rezultate daje. Smanjuje jačinu zvuka koji se prenosi kroz vazduh. Zvuk bilo kog izvora dugo traje u prostorima koji imaju tvrde površine (bazeni za plivanje, crkve i sl.). Takođe je za sve prostore značajno da se zvuk više puta odbija, što u manjim prostorima ima za posledicu da on traje duže. Tepisi i drugi materijali mogu u takvim prostorima skratiti trajanje zvuka, na primer, od dve na pola sekunde.

Kontrolisanje buke na površini se razlikuje od izolacije zvuka koja nastaje kao posledica udarca, i to po tome što, na primer, vinilna površina, koja je sa donje strane presvučena penom, može isto kao tepih smanjiti zvučnost koja nastaje prilikom udarca, pored toga dopušta da se koraci čuju kao serija razdvojenih udaraca slabe jačine [5].

Načelo za proučavanje zvučne propusnosti na određenom materijalu je takvo da se najpre meri propusnost golih podova (ako se meri zvučna propusnost između spratova), zatim propusnost golih podova zajedno s materijalom koji proučavamo (tepih ili pod). Zvučna propusnost se meri u zavisnosti od frekvencije u rasponu od 100 do preko 3000 Hz, što zavisi od toga koji indeks koristimo. Standardima je obično propisana krivulja zvučne propusnosti u odnosu na frekvenciju i namenu materijala koji proučavamo. Zadovoljava onaj materijal koji ima, u propisanim uslovima eksperimenta na određenoj frekvenciji (poželjno je kod svih frekvencija), nižu propusnost zvuka, izraženu u decibelima, nego što je standardom propisana vrednost. Proučavanje zvučne propusnosti kod podne obloge, debele oko 2 cm, koja je u potpunosti izrađena od polipropilena [6] i izmerena po DIN 52210, dokazuju da je njena zvučna propusnost za 6 decibela manja nego što je gornja dozvoljena granica zvučne propusnosti kod 500 Hz po DIN 4109.

13.3.2.5. Termičke osobine

Jedna od najvažnijih termičkih osobina je zapaljivost. Tepisi i podne obloge moraju biti teško zapaljivi. Za teško zapaljiv smatramo onaj material koji se na propisanom alkoholnom plamenu (DIN 51960) ne zapali, i potom, nakon što se plamen ugasi, takođe ne gori i ne tinja, dok je alkohol potpuno izgorio

Požar u stambenim i javnim zgradama nastaje najčešće zbog neugašenih opušaka cigareta. Zbog toga su za proučavanje otpornosti na žar cigarete propisani posebni standardi (na primer DIN 51961). U poslednje vreme problem zapaljivosti istražuje se na veoma širokom području i kao rezultat istraživanja patentirana je vrsta postupaka za obradu tekstila protiv zapaljivosti.

Druga važna termička osobina podnih obloga je toplotna izolacija. Već je obuhvaćena u indeksu udobnosti kao toplotna udobnost. Stepen toplotne izolacije, koju daje podna obloga, dolazi pre svega do izražaja u onim prostorima gde se podovi ne zagrevaju ni posredno ni neposredno. Koeficijent toplotne provodnosti se kod podnih obloga kreće između 0,13 kJ/m.h.⁰C i 0,21 kJ/m.h.⁰C, najčešće oko 0,17 kJ/m.h.⁰C. Za ilustraciju, navešćemo da se kod razlike između unutrašnje i vanjske temperature, koja iznosi 30⁰C, kroz 10 cm debeo hrastov pod izgubi svaki sat 252 kJ/m².h, ukoliko se tlo prekrije 2 cm debelom PP oblogom, gubitak iznosi samo 126 kJ/m². h.

13.3.2.6. Prljanje i održavanje tepiha

Brzina prljanja i održavanje tepiha i podnih obloga ima najveći značaj. Tepisi i podne obloge koji su izrađeni od vune imaju, sa gledišta vizuelnog doživljaja promena, najmanju čbrzinu prljanja. Pritom brzina prljanja raste od PA preko PES, najviša je kod sintetičkih vlakana od PAN. Prljanje, odnosno stepen zaprljanosti, meri se po promeni izgleda površine podne obloge, odnosno njene boje kolorimetrijskim metodama i to u intervalima 2.10⁴ do 10⁵ prolaza. Kod vunениh tepiha je u istim uslovima izmerena približno pet puta manja promena nego kod PAN [7], kod tafting tepiha sa petljama je uprljanost za 10 % do 20 % veća nego kod tepiha sa flornom površinom.

Sa vunenog tepiha je moguće pranjem odstraniti čak do 70 % prljavštine, kod PA i njegovih mešavina samo 40 %, kod PES oko 30 %, kod PAN samo 20 % [7]. Za merenje stvarne količine prljavštine u tekstilnim proizvodima postoji više metoda; dobijene vrednosti nisu u skladu sa vizuelnom ocenom [8]. Ovaj nesklad je posledica zavisnosti stepena upaljenosti od optičkih osobina vlakana [9, 10, 11], od konstrukcije pređe [9, 11, 12] te od boje posmatranog tekstilnog proizvoda [13]. Mnogo bolje skladnost sa vizuelnim viđenjem, koeficijent korelacije je čak iznad 0,86 [7], dobijemo merenjem refleksije na aparatu *Elruefo*, na kojem se koeficijenti refleksije X, Y, Z određuju odgovarajućim filterima. Na osnovu promene tih koeficijenata, promena boje se izračunava po jednačini:

$$\Delta C = \left[(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2 + (\Delta Z)^2 \right]^{0,5} \quad (13.3)$$

gde su: ΔX , ΔY i ΔZ . refleksije (boje), to je razlika vrednosti pre prljanja i nakon njega.

Stepen zaprljanosti se izračunava tako što se promena obojenja (boje) deli sa promenom boje uzorka iz serije ispitanih uzoraka, čija se boja najmanje promenila, a onda se dobijeni rezultat pomnoži sa

100 da dobijemo promenu u procentima. Ovaj postupak upotrebljavamo u slučaju kada upoređujemo podne obloge i tepihe koji se međusobno razlikuju po sirovinskom sastavu i (ili) po konstrukcijskim karakteristikama. Uzorak, kod koga se boja najmanje promenila, znači, imaće po dogovoru 100% uprljanost, kod drugih će stepen uprljanosti biti iznad 100% (jednačina (13.4).

Stepen zaprljanosti u %:

$$C(\%) = (dC_x / dC) 100 \quad (13.4)$$

gde su:

- dC - najmanja promena boje na jednom od posmatranih uzoraka (služi kao etalon za ocenu relativne promene boje);
- dC_x - promena boje na jednom od posmatranih uzoraka (sa izuzetkom uzorka koji služi kao etalon); x - 1,2,3, ... $n - 1$ (u slučaju, da ispitujemo ukupno n uzoraka).

Analogno sa jednačinom (13.4) može se takođe meriti procenat pranjem odstranjene prljavštine, i izračunati ga po jednačini (13.5). Količina pranjem odstranjene prljavštine K u %:

$$K(\%) = (dC_r / dC_p) 100 \quad (13.5)$$

gde su:

- $K(\%)$ - % tokom pranja odstranjene prljavštine;
- dC_r - promena boje nakon pranja;
- dC_p - promena boje pre pranja.

Promene se odnose na neki određeni etalon, koji može biti i nov uzorak, ako posmatramo promenu boje jednog samog artikla u zavisnosti od vremena i uslova upotrebe. Kako će se zaprljati mešavine, moguće je dobro predvideti, uzimajući u obzir kako se prljaju njihove komponente. Različito prljanje raznih vrsta vlakana je verovatno zavisno od fizičkih i morfoloških osobina te hemijske strukture. Stepem upaljenosti povećavaju: hidrofobnost vlakana, elektrostatički naboj, udubine, brazde, raspukline, rupe (praznine) i grudvice (piling) na površini vlakana kao i hrapavost površine vlakana uopšte.

Sa druge strane, sklonost ka prljanju smanjuju: hidrofilna priroda vlakana i povećanje sadržaja vlage, glatka površina vlakana te okrugli oblik poprečnog preseka vlakana. Stepem uprljanosti je očito manji ako vlakna imaju visok koeficijent svetlosne refleksije. Znači da stepen uprljanosti vlakana zavisi od prevladavajućeg uticaja pojedinih činilaca koji utiču na povećanje ili smanjenje uprljanosti. Relativno malo prljanje vunenih vlakana u odnosu na sintetička vlakna je moguće objasniti hidrofilnim značajem- većom količinom vlage u odnosu na druga vlakna i krljuštima, koje mogu prekriti prljavštinu. Boje tepiha mogu prekriti prljavštinu ili je naglasiti. Beli i svetlo ofarbani tepisi se brzo prljaju. Takođe, atmosferski uslovi mogu uticati na brzinu prljanja, odnosno na stepen uprljanosti. Ako je temperatura poda (tepiha) niža od temperature vazduha, što se događa u neposrednoj blizini radijatora i pod njima, prljavština će padati na tepih zbog veće energije molekula u vazduhu [13].

Ako je na vlaknima veća količina ulja, prljavština će se „lepiti” na vlakna. Ukoliko se tepisi ili podne obloge obrade bilo kojim sredstvom koje odbija vodu (silikoni, parafin, vosak i drugo), stepen uprljanosti će se povećati [13, 14]. Sa druge strane, prekrivanjem neravnomernih - hrapavih mesta na površini vlakana pomoću glatkog tvrdog filma, može se sprečiti da se prljavština nakuplja na tim mestima, a povećava se i koeficijent refleksije površine vlakana [13]. Sredstva za pranje moraju imati takav sastav (odnosno hidrofilne i hidrofobne delove) koji nakon pranja neće povećati sklonost ka prljanju tepiha ili podnih obloga u odnosu na sklonost ka prljanju pre pranja.

13.3.2.7. Elektrostatičke osobine

Često se čini, posebno kod odeće, da su prljavština i statički elektricitet tesno povezani, jer postoji mišljenje da se deo prljavštine na odeći veže preko statičkog elektriciteta. Ipak, nema pravog dokaza da bi statički elektricitet imao veliki značaj prilikom prljanja tepiha. Problem neodgovarajućih elektrostatičkih osobina je verovatno u tome što će se osoba koja ide preko tepiha naelektrisati i prilikom pražnjenja kroz provodnik osetiti neugodan udarac.

Naboj nastaje kada se prilikom hodanja đon odvaja od tepiha - podne obloge. Ovaj naboj se indukcijom prenosi na telo osobe koja hoda po tepisima. Količina naboja zavisi od relativnog položaja đonova u odnosu na materijal kojim je prekriveno tlo, od električnih osobina osobe koja hoda, od brzine hodanja, od razmaka između osobe i zida, te od brzine kojom se naboj odvodi. Ljudi su različito osetljivi na električne udarce; najmanji napon kod koga se oseti udarac se kreće između 2 kV do 3 kV.

Izgleda, da se kod svih vlakana sa izuzetkom viskoze pojavljuje problem statičkog elektriciteta ako je relativna vlaga manja od 40 %. Iako povećanje relativne vlage povećava lični osećaj ugodnosti, u pogledu pojave statičkog elektriciteta jeftinije je upotrebiti antistatičko sredstvo, nego instalirati skupe klimatske naprave.

Prilikom merenja elektrostatičkih osobina tepiha i podnih obloga postoje određeni problemi. Izmereni napon na telu proučavane osobe treba pažljivo interpretirati, jer različiti materijali za đonove daju različite rezultate. Sa druge strane, vrednosti otpora na površini tepiha i normalno na površinu tepiha, koje možemo meriti, nisu u korelaciji sa naponom na telu osobe, koja hoda po tepihu - podnoj oblozi. Rezultati koje dobijamo sa frikcijskim aparatima [15], koji snimaju trenje materijala đonova o tepih, pokazuju da sirovinski sastav tepiha i materijal od koga su napravljeni đonovi utiču na količinu nastalog statičkog elektriciteta. Konstrukcija tepiha je u tom slučaju od manjeg značaja. Elektrostatičke osobine tepiha možemo popraviti time što u sloj koji je izložen trenju ugradimo metalna ili metalizirana vlakna, tako da se na donju stranu nosećeg sloja nanese provodljivi lateks.

Očigledno je da nije dovoljno ako naboj odvedemo sa površine sloja trenja, nego se on mora izgubiti u horizontalnoj ravnini (u podu). Za poboljšanje elektrostatičkih osobina tepiha - podnih obloga može se upotrebiti mešavina kod koje jedna komponenta ima pozitivan a druga negativan naboj, i tako dobijemo tepih bez elektrostatičkog naboja. U novijem vremenu su razvijeni postupci [16] za smanjenje elektrostatičkog naboja. Mnoga antistatička sredstva i postupci su opisani u reklamnim publikacijama proizvođača [17].

Tabela 13-1 pokazuje rezultate ispitivanja elektrostatičkog naboja kod osobe koja nosi različite đonove i hoda po različitim tepisima - podnim oblogama [18]. Osobu najpre razelektrišu, ona potom napravi po tepihu 16 koraka, i onda dotakne mesto na elektrometru koji meri naboj. To se ponovi tri puta (vidi tabelu 13-1) na 35 % relativne vlage i 27 °C.

13.3.2.8. Dimenzijska stabilnost

Tepisi - podne obloge se mogu deformisati zbog sila koje deluju tokom hodanja. Ove deformacije su obično u velikoj meri reverzibilne. Dimenzije se menjaju takođe zbog porasta relativne vlage, ali su te promene gotovo u celosti reverzibilne. Kod nekih vrsta tepiha -podnih obloga se može pojaviti reverzibilno skupljanje, i to u slučaju ako se nakvase vodom; to je posebno izraženo kod tepiha - podnih obloga koji sadrže vunu.

Tkani tepisi - podne obloge imaju obično zadovoljavajuću dimenzijsku stabilnost. Tafting i igleni tepisi - podne obloge imaju nešto slabiju dimenzijsku stabilnost; ipak tehnologija proizvodnje tepiha - podnih obloga omogućava da se postigne dimenzijska stabilnost, koja u najvećoj meri odgovara praktičnim potrebama i propisanim standardima.

13.3.2.9. Promena strukture i površinskog izgleda

Promena strukture i površine izgleda može veoma negativno uticati na estetski izgled tepiha - podne obloge. Pre svega, to dolazi do izražaja kod tepiha - podnih obloga sa florom (dlakavim slojem) koji je izložen trenju, posebno ako je flor visok. Trajne deformacije na tom sloju nastanu zbog prevelikog opterećenja i drugih fizičkih i hemijskih uticaja (visoke temperature, mehanička oštećenja, smanjenje visine flora na pojedinim mestima, posipanje raznih supstanci koje utiču na degradaciju vlakana, promena nijanse ili tona boje itd.). Takođe, čvorići mogu negativno uticati na izgled i estetski utisak površine tepiha - podne obloge. Zbog svega toga proizvođač mora prilikom izrade tepiha - podnih obloga, računati sa uslovima upotrebe i shodno tome naći najbolje rešenje u pogledu izbora odgovarajuće sirovine i konstrukcije tepiha - podnih obloga.

Tabela 13-1: Naboj, koji nastane kod osobe prilikom njenog hodanja po tepihu [18]

Vrsta obuće	Naboj, koji je nastao na osobi, 10^{-7} kulona					
	Vuna	PP	Najlon	Najlon sa antistatikom	Najlon sa antistatikom i gumenastom podlogom	PAN
Kožni đon i pete, šivene i potkovane	-4,0 SS	+1,0	-1,6	-0,1	-1,7	+0,1
	-3,3 S	+1,0	-1,3	-0,1	-1,2	+0,2
	-3,2 S	+0,8	1,0	-0,1	-1,1	+0,3
Đon i pete od rebraste gume, gumene čizme za pustinje	-3,0 S	+0,8	-2,6 S	+0,1	-2,1	-2,0
	3,8 S	+0,8	-2,1	+0,1	-2,6	-1,2
	-3,0 S	+0,8	-1,8	0,0	2,0	-1,8
Đon i pete od penaste gume	-4,2 S	+1,5	-5,0 SS	-0,2	-3,0	+1,0
	-3,8 S	+0,9	-3,5 S	0,0	-1,8	+0,5
Kožni omotač i pete, lepljene i šivene	-4,0 SS	+1,0	-2,5 S	-0,1	-1,4	0,0
	4,5 SS	+1,0	-2,1	-0,1	-1,1	0,0
	4,8 SS	1,2	-1,8	0,0	-0,8	+1,0
Đon i pete od kromirane kože	-3,7	+1,9	-1,6	-0,1	-1,2	+0,3
	3,6 S	+1,8	-2,1	0,1	-1,4	+0,4

Literatura

1. Cusick G.E., Dawber S. R. K. 1964. Loss of thickness of carpets in floor trials. *Journal of the Textile Institute Transactions* 55 (10): T531-T536.
2. Simpson W. S., Bratt R. L., Noonan K. K. 1973. The wear performance of carpets made from wool containing polymers. *The Journal of The Textile Institute* 64 (8): 449-453.
3. Asquith R. S., Brooke R. S. 1968. Yellowing of Wool Keratin on Exposure to Ultraviolet Radiation. *Journal of the Society of Dyers and Colourists* 84 (3): 159-165.
4. Herzog W. 1971. The role of wool carpets in controlling indoor air. *The Textile Institute and Industry*: 9, 126-129, 153-157.
5. Holy F., Kavček Z., Teodoris V. 2012. Review of the early miocene mastixioid flora of the Kristina mine at Hrádek nad Nisou in North Bohemia (the Czech republic). *Acta Musei Nationalis Pragae. Series B – Historia Naturalis* 68 (3–4): 53–118.
6. Nicolai N., Schulze V. 2007. Floor covering having a strong noise-reducing properties. US Patent No.: US 7,279,214 B2.
7. Benisek L. 1972. Service soiling of wool, man-made fibers, and blendet carpets. *Textile Research Journal* 42 (8): 490-496.
8. Hemmendinger H., Lambert J. M. 1953. The importance of chromaticity in the evaluation of whiteness. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 30 (4): 163-168.
9. East G. C., Ferguson J. P. 1969. The optical properties of fabrics and their relation to soiling. *The Journal of The Textile Institute* 60 (10): 441-442.
10. Judd D. B. 1967. *Color in business, science and industry*. New York, Wiley: 510 str.
11. Weatherburn A. S., Bayley C. H. 1955 "The Soiling Characteristics of Textile Fibers. *Textile Research Journal* 25 (6): 549-558.
12. Mann M. B., Morton T. H. 1959. Optical studies: I–relation of colour to the apparent soilability of textile materials. *Journal of the Society of Dyers and Colourists* 75 (11): 522-533.
13. R. Hochreiter R. 1966. Schmutzabweisende ausrüstung von textilien I. *Fette-Seifen-Anstrichmittel*, 68 (1): 31-41.
14. Florio P. A., Mersereau E. P. 1955. Control of appearance changes due to soiling: the mechanism, measurement, and reduction of soiling changes in carpet during use. *Textile Research Journal* 25 (7): 641-649.
15. Geoghegan M. C., Rivet E., Malone C. P. 1976. Static control needs for carpets. *Textile Research Journal* 46 (5): 367-371.
16. From L., Klein W. G., Fowler S. L. 1997. Procedures for the design, analysis and auditing of static control flooring/footwear systems. *Proceedings Electrical Overstress/Electrostatic Discharge Symposium*: 33-48.
17. K Lindner K. 1963. Die ursachen und die verhütung des anschmutzens von textilien. *Fette, Seifen, Anstrichmittel* 65 (2): 96-103.
18. Wilson N. 1972. Static behavior of carpets. *The Textile Institute and Industry*, August: 32-3

14. PROJEKTOVANJE TEKSTILIJ ZA TEHNIČKE UPOTREBE

14.1. Opšte

Zbog bolje preglednosti posebno ćemo obrađivati različita tehnička područja upotrebe, kao što su: suva i mokra filtracija [1], razni objekti (šatori, skladišta sa platnenim krovom, cerade (ponjave) za kamione ili zaštitu, transportne trake, tekstilije za zaštitu od balističkih projektila, padobrani, itd.). Pet nabrojanih područja tehničke upotrebe tekstilija obuhvata najveći deo tekstilija koje upotrebljavamo u tehničke namene. U to područje možemo još uvrstiti vatrogasnu odeću, odeću za zaštitu od otrovnih gasova, vatrogasna creva, geotekstilije itd. Pošto su ta područja veoma opširna, neka od njih navešćemo samo informativno. Detaljnije ćemo obraditi novi pristup teoriji filtracije mikroba i virusa u medicinskoj maski.

14.2. Tekstilije za filtraciju

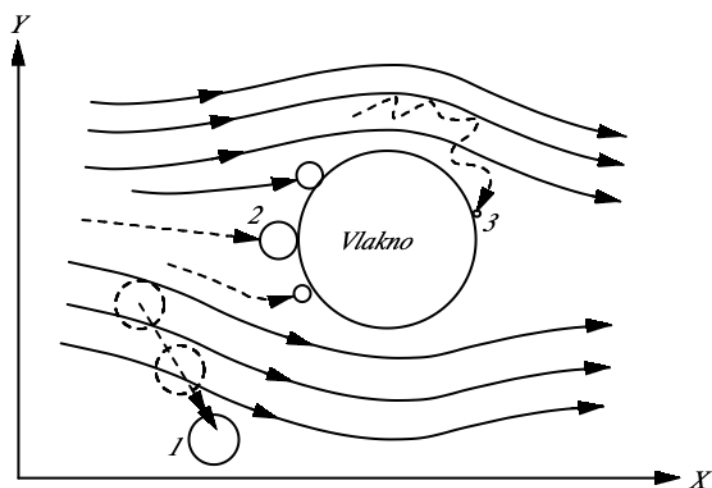
Područje filtracije je veoma raznovrsno. Možemo ga podeliti na dve osnovne vrste: suva i mokra filtracija. Obe su veoma važne, i to iz dva razloga: ekološke zaštite okoline i upotrebe u pojedinim fazama različitih tehnoloških postupaka. Obradićemo najpre filtracije kod kojih je ravan tekstilni proizvod filterski medij, odnosno propusni sloj, koji ima tu osobinu da odvaja pojedine delove određene veličine od drugih delova u posmatranoj smesi, ili da odvaja čvrstu fazu od tekuće faze, odnosno gasne faze. Ako želimo projektovati, konstruisati i proizvesti ravni tekstilni proizvod, namenjen za filtraciju u određenim okolnostima, potrebno je poznavati makar osnove teorije filtracije, kao i uslove kojima je izložen tekstilni filterski medij u upotrebi. Najpre ćemo se detaljnije upoznati sa suvom filtracijom, a onda i sa mokrom filtracijom. Filtraciju mikroba i virusa, kao i čvrstih delova koji se nalaze u smogu, obradićemo na kraju poglavlja.

14.3. Suva filtracija

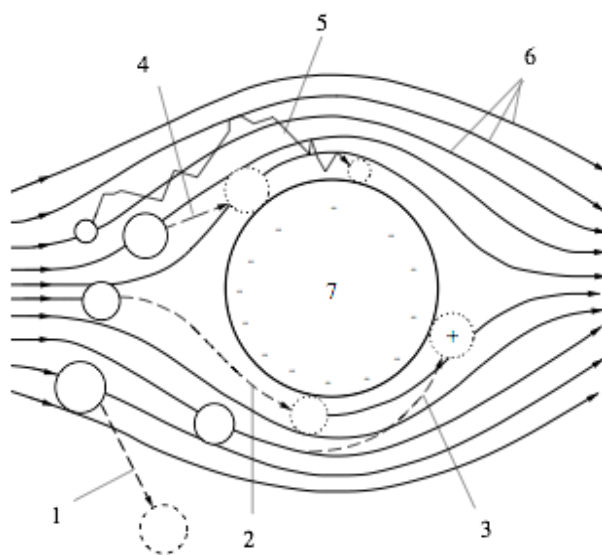
14.3.1. Teorija suve filtracije

Teorija filtracije se zasniva na saznanjima o ponašanju vazdušne struje, koja nosi čvrste čestice prilikom prolaska kroz tekstilni filter medij. Proces je praktično veoma teško matematički obraditi ako ne pretpostavimo određene idealizacije u pogledu položaja vlakana u filteru.

Jedna od teorija se zasniva na efektu filtracije koji daje izolovano vlakno, kao što je prikazano na slici 14-1 i 14-1a. Pritom pretpostavljamo da su druga vlakna dovoljno udaljena od posmatranog vlakna, odnosno da je razmak među vlaknima mnogo veći nego što je promer čvrstih čestica koje želimo filtrirati. Zbog toga se ne uzima u obzir uticaj susednih vlakana na oblik strujnica vazduha i izdvajanje čestica.



Slika 14-1: Mehanizam filtracije na izolovanom vlaknu u filterskom mediju [2]
 1 - izdvajanje zbog inercije čestica, 2 - izdvajanje u strujnici zbog adhezije među česticama i površinom vlakna, 3 - izdvajanje zbog difuzije čestica u strujnici



Slika 14-1a: Dopunjena verzija klasične teorije filtracije čestica na jednom vlaknu u slučaju laminarnoga protoka vazduha [1, 2, 3]
 1 - filtracija čestica zbog uticaja gravitacije (važi za teške čestice); 2 - filtracija manjih čestica na površinu vlakna, kada one promene svoj položaj od centralne ose strujnice ka virtuelnoj površini strujnice, koja nastaje neposredno uz površinu vlakna; 3 - elektro filtracija čestica, koje su pozitivno naelektrisane; 4 - filtracija čestica zbog njihove inercije, koja ne omogućava promenu smera; 5 - filtracija vrlo malih čestica zbog difuzije; 6 - silnice vazdušne strujnice; 7 - vlakno

14.3.2. Teorija filtracije na jednom vlaknu

Detaljnije ćemo pogledati samo dve teorije. Jedna je Kuvabarajeva teorija protočnoga polja, slika 14-2. Bez obzira na veoma detaljno razvijen i prikazan matematički model, ova teorija ne objašnjava dovoljno racionalno dešavanja prilikom filtracije čestica. Sve skupa je previše idealizovano i ne prati stvarna događanja u procesu filtracije. Druga je teorija filtracije na jednom vlaknu, koja je prikazana na slici 14-1, i dopunjena teorija slika 14-1a [1, 2, 3], kod koje je negativno naelektrisano vlakno stavljeno u laminarnu strujnicu. Na slici 14-1a prikazana je i filtracija čestica sa pozitivnim naelektrisanjem. Opisani su mehanizmi filtracije i putanje kretanja delova. Nabrojani su na sledećoj listi:

- Filtracija zbog gravitacije koristi se za najveće i najteže čestice. Ovaj mehanizam filtracije je moguće posmatrati u vanjskom sloju maske i nije upotrebljiv za filtraciju mikroba i virusa.
- Taloženje delova na površinu vlakna, koje je posledica udara čestica o površinu vlakna, koje ima ulogu dela zida kanala; upotrebljivo je za manje-više sve veličine čestica. Nažalost, što je manja čestica, tim veća je verovatnoća da vazдушna strujnica ponese česticu mimo površine kanala, što je posledica laminarnog protoka vazdušne strujnice kroz kanal. U tom slučaju je zanimljiva inercija u poređenju sa uticajem sila strujnica na česticu.
- Elektrofiltracija je upotrebljiv koncept. Ipak nije upotrebljiva na medicinskoj maski, u varijanti koju ovde obrađujemo.
- Inercija čestice može imati za posledicu, da čestica napusti strujnicu, koja se kreće u blizini površine vlakna i tako se izfiltrira iz strujnice. Pretpostavljeno je da se male čestice (manje od 1,6 μm) kreću po zakonitosti difuzije, isto kao što se kreću u nepokretnom vazduhu (Braunovo kretanje) u dominantnom smeru, koji ima smer vazdušne strujnice.

Na slici 14-1a, na kojoj je predstavljena dopunjena teorija filtracije na jednom vlaknu, postoji niz nedostataka, ako je poredimo sa vrednostima parametara poroznosti, koje smo dobili Jakšićevom metodom određivanja broja, veličine i rasporeda pora u ravnim tekstilijama. Ako posmatramo strujnicu pre razdvajanja i nakon udruživanja, u smeru strelica, zaključićemo da je brzina kretanja silnica u strujnicama izjednačena. Zbog cepanja, najveća je dužina silnica, koje su najudaljenije od centra vlakna 7. Ove silnice su ujedno najbliže zidu kanala, koji tu nije prikazan. Ako uzmemo u obzir dužinu silnica, najduže su one, koje su najbliže zidovima kanala. To je nepromenljivo. Silnice su najbrže na centralnoj osi kanala i brzina silnica se smanjuje prema zidovima kanala. Kretanje vazduha se smanjuje na nulu u neposrednoj blizini zida kanala. To verovatno važi i za površinu vlakna 7 na slici 14-1a.

Prikaz kretanja male čestice po trajektoriji 5 je nerealan. Takva trajektorija bi bila prihvatljiva u mirnom vazduhu (difuzijsko kretanje po Braunovom zakonu). No, tu se pojavljuje nemogućnost određivanja brzina kretanja strujnice. Pre nego se strujnica rascepi, zbog prisutnosti vlakna 7 u kanalu, ona ima najveću brzinu na osi kanala. Silnice, koje su pre bile na centralnoj osi strujnice gube brzinu kada se približavaju površini vlakna 7. Sve čestice rotiraju. Ovde to nije prikazano. Ta rotacija, kao što ćemo kasnije videti, prouzrokuje poseban efekat. Rotacija prouzrokuje promenu brzine strujnice u radialnom smeru. Bez obzira na broj citiranja, ova teorija ne može izdržati ozbiljniju naučnu analizu.

14.3.3. Nedostaci teorije filtracije na jednom vlaknu

Fluid (strujnica) protiče kroz kanal, pa i oko vlakna, koje je postavljeno pravougaono na smer kanala i seče ga na dva dela. Na slici zidovi kanala nisu prikazani jer se sila trenja bazira na jednom samom vlaknu. Teorija je ilustrovana na slici 14-1. Strujnicu deli vlakno kao i silnice, koje se kreću direktno oko površine. Nakon prolaza područja u kome se nalazi vlakno, opet se udružuju, pošto su vlakno ostavile iza sebe.

Opisanu situaciju, koja se odnosi i na filtraciju na jednom vlaknu, stvarno imamo prilikom filtracije mikroba i virusa u medicinskoj maski. Ipak u vlaknovini su pore veoma slabo definisane. U njoj ne možemo direktno pratiti tok kanala kroz koji prolazi zračna strujnica. Takođe je pitanje upotrebe diferencijalnih jednačina, koje se odnose na protok vazduha kroz dobro definisane pore (vidi jednačine (14.2), (14.3) i (14.4)).

Kratak pogled teorija filtracije možemo dati kao što sledi:

- Vlakna imaju ulogu granica pora kod vlaknovina. Postoje prazni prostori između vlakana, gde se vazduh ne kreće. Virtuelna površina se formira među praznim prostorom i strujnicom kada se strujnica kreće. Otvori (kaverne) izvan granica kanala (pora) u kojima nikad nema značajnog protoka, nisu prikazani u teoriji filtracije na jednom vlaknu.
- Teorija filtracije pokazuje Braunovo kretanje malih čestica sa jednim dominantnim smerom, za čestice koji su manje od $0,15\mu\text{m}$. Pretpostavlja se da se izdvajaju na vlakno zbog toga što ih iz strujnice pokreće mehanizam difuzije. Zbog sudara sa većom česticom u strujnici ili zbog uticaja silnica strujnice, može se ubrzati kretanje i promeniti smer kretanja. Sudar sa većom česticom je vidljiv. Suprotno tome, model mehanike kontinuuma ne podržava mehanizam filtracije, koji je baziran na Braunovom kretanju malih čestica u strujnici. Braunovo kretanje malih čestica igra važnu ulogu u šupljinama (kavernama), gde je dominantan nepokretan vazduh.
- Teorija filtracije na jednom vlaknu uzima prečnik vlakna kao jedinu karakteristiku linearnog merenja prilikom računanja Rejnoldsovog broja. Prikazano je da je, kad se uzme u obzir maksimalan hidraulični prečnik pore, Rejnoldsov broj veći za jedan veličinski broj. Rejnoldsov broj za tok strujnica oko objekta je mnogo manji, ali i je granica gde počinje turbulentno kretanje vazduha u strujnici takođe mnogo manja nego kod protoka strujnice kroz cev, odnosno kanal.

Na slici 14-1 je ilustrovana teorija filtracije na jednom vlaknu. Na slici 14-1a dopunjena je teorija filtracije, pri čemu je uzeta u obzir filtracija čestica koje su pozitivno naelektrisane. Vlakno ima negativno naelektrisanje. Teorija filtracije na jednom vlaknu ima veoma mnogo nedostataka. O njima ćemo nešto više reći kasnije, kada budemo obrađivali „Jakšićevu metodu filtracije virusa i mikroba u medicinskoj maski”. Prilikom filtracije čestica iz otpadnih gasova, možemo ustanoviti nekoliko sledećih činjenica:

- Teorija filtracije na jednom vlaknu je zasnovana na pretpostavci da su sva vlakna jednaka i da se na svima događaju jednake pojave.
- Delovi prašine se ponašaju jednako, ponašanje se razlikuje samo u pogledu veličine, i sa tim mase čestica, koje želimo filtrirati.
- U stvarnosti se opisane pojave kada je vlakno u pravougaonom položaju u odnosu na smer strujnice i pore, pa strujnicu takođe razdeli na dva dela.
- Šta se događa na drugim lokacijama u pori, teorija ne navodi ništa.

- Delići koji su manji od $0,5 \mu\text{m}$ su izloženi Braunovom difuzijskom kretanju.
- Teorija ne uzima u obzir činjenicu da se strujnica kreće linearno u jednom smeru.
- U odnosu na kretanje strujnice, nacrtano kretanje male čestice 3 nije realno.
- Čestica se ne može kretati pravougaono na smer kretanja strujnice, ili pogotovo unazad.
- Strujnica nema ravnomernu brzinu po čitavoj dužini pore. To važi i za prečnik strujnice.

Moderni koncept teorije filtracije počiva na Kuvabarajevom (strujnom) polju [2]. Pretpostavlja se da su vlakna u koaksijalnom cilindru, kao što je prikazano na slici 14-2. Ako je presek vanjskog cilindra pravilni jednakostranični šestougao, onda ti cilindri čine mrežu sličnu saću. Prostor između unutrašnjeg cilindra (vlakna) i vanjskog cilindra (zamišljena granica između zona uticaja susednih vlakana na strujnicu) jeste polje, u kojem vlakno utiče na promenu smera strujnice u neposrednoj blizini. Sa tim takođe utiče na put tvrdih čestica u strujnici.

Na osnovu pretpostavljenog rasporeda vlakana i stalnog polja strujnica vazduha oko vlakana (slika 14-3) izvedene su jednačine funkcije polja strujnica i jednačine za radijalnu i tangencijalnu brzinu strujnica u odnosu na vlakno. U ovim jednačinama je uzeta u obzir brzina strujnica vazduha, poluprečnik preseka vlakana i poluprečnik tvrdih čestica prašine kao i deo filterskih medija, koji je zauzet vlaknima.

Na osnovu jednačine funkcije polja strujnica, može se pod određenim pretpostavkama izvesti jednačina za izdvajanje čestica zbog uticaja gravitacije (veće čestice), za izdvajanje čestica u strujnicama (inercijalni efekat) na površinu vlakna zbog adhezijskih sila (čestica u strujnici putuje relativno blizu površine vlakna - manje čestice), i jednačina za izdvajanje veoma malih čestica pomoću mehanizma difuzije. Pri tome se operiše sa parcijalnim diferencijalnim jednačinama prvog i drugog stepena, koje su veoma kompleksne i nisu primerene za nivo na kojem ovde obrađujemo filtraciju. Zbog toga ćemo se ograničiti samo na teoriju mehanizma filtracije, posmatranog na jednom vlaknu, (slika 14-1 in 14-1a).

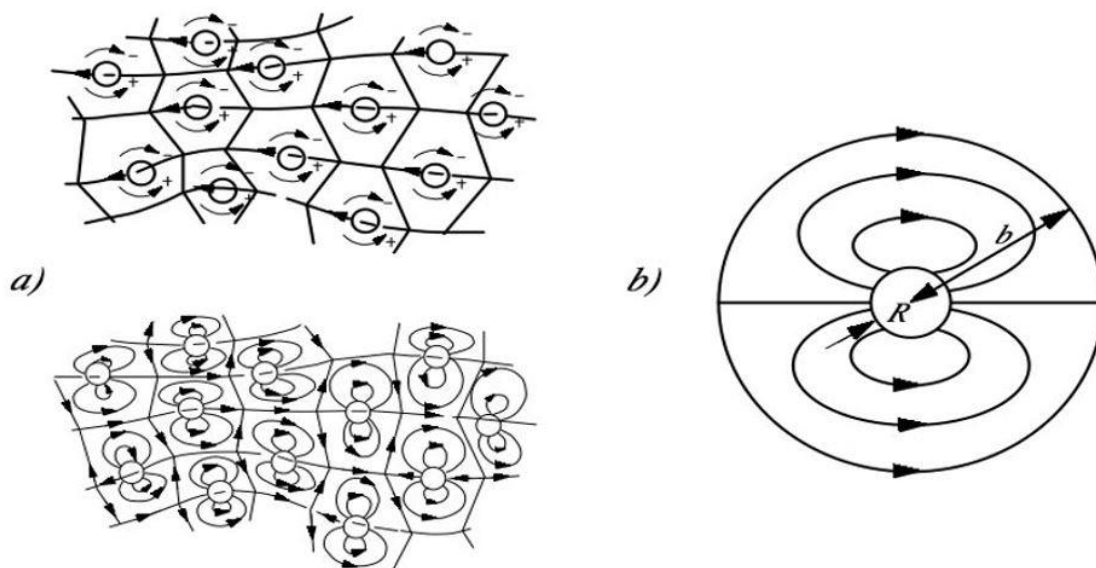
14.3.4. Efekat gravitacije

Ako je čestica koju želimo izdvojiti relativno velika, na primer prečnik je veći od $3 \mu\text{m}$, imaće veću masu nego što je može nositi vazдушna strujnica, posebno ako je brzina strujnice mala. Takva čestica će se izdvojiti iz strujnice pre nego što dosegne filterski medij. Koliko velike čestice će se izdvajati zbog gravitacijskog efekta, zavisi pre svega od brzine strujnice vazduha, od oblika polja strujnice i od prevladavajućeg smera strujnice (vodoravno, vertikalno nadole ili nagore). Uopšte uzeto, brzina strujnica je mala, posebno ako se želi postići visok efekat filtracije. U tom slučaju gravitacijski efekat izdvajanja čestica može biti veoma izražen.

14.3.5. Inercijalni efekat

Kao što vidimo sa slike 14-1, vazдушna strujnica se cepa ispred vlakna. Ona pritom menja smer kretanja. Deo strujnice ide oko donje, a deo oko gornje površine vlakna. Strujnica nosi sa sobom brojne čvrste čestice. Što je veća masa čestica, one zbog inercije teže prate promene smera strujnice.

Kod posmatranih uslova filtracije u strujnicama svi delovi su čvrste tvari, koje se nisu izdvojile iz strujnica zbog gravitacijskog efekta. Ukoliko je relativna brzina između vazdušne strujnice i čestica mala, onda kretanje u tački (x, y) možemo opisati pomoću Stokesovog zakona:



Slika 14-2: Osnova Kuvabarajeve teorije protočnog polja

a) – razdvajanje strujnice i stvaranje vrtložnog polja, b) - vrtložno polje oko pojedinog vlakna

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = 6\pi\eta r_p \left(\mu - \frac{dx}{dt} \right) \quad (14.1)$$

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = 6\pi\eta r_p \left(y - \frac{dy}{dt} \right) \quad (14.2)$$

gde su:

- m - masa čestice;
- t - vreme posmatranja;
- η - koeficijent viskoznosti vazduha;
- μ i v - komponente relativnih brzina među česticama i strujnicom;
- r_p - prečnik čestice.

Jednačine (14.1) i (14.2) nam pokazuju kako se menjaju komponente sila inercije čestice (leva strana jednačine) u zavisnosti od promene relativne brzine u tački (x, y) , koja leži na ravnini (X, Y) . Pošto je jednostavnije opisati sa bezdimenzijskim parametrima, možemo jednačine (14.1) i (14.2) transformisati u bezdimenzijski oblik, s tim da uzmemo u obzir sledeće transformacije: $u_1 = u/U$; $v_1 = v/U$; $x_1 = x/r_f$; $Y_1 = y/r_f$ ter $t_1 = tU/r_f$. Pri tome je U brzina vazdušne strujnice daleko od posmatranog valjka odnosno vlakna, koji je sastavni deo tekstilnog filtera medija i r_f poluprečnik posmatranog vlakna. Ako uzmemo u obzir te transformacije, dobićemo:

$$K \frac{d^2 x_1}{dt_1^2} + \frac{dx_1}{dt_1} = u_1 \quad (14.3)$$

$$K \frac{d^2 y_1}{dt_1^2} + \frac{dy_1}{dt_1} = v_1 \quad (14.4)$$

$$K = \frac{2\rho r_p^2 U}{9\eta r_f} \quad (14.5)$$

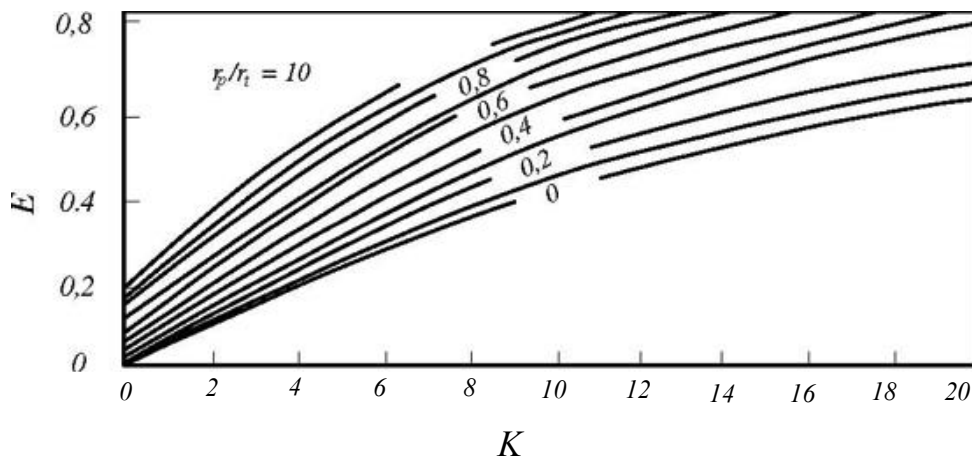
Rešenje jednačina 14.3 i 14.4 možemo izraziti u sledećem obliku (uzet je u obzir veliki broj pojednostavljenja): (x_1, y_1) nam pokazuje položaj čestice u vremenu t_1 ; x_0, y_0 u početku posmatranja $t = 0$

$$(x_1, y_1) = f \left[\frac{x_0, y_0, t_1, mU}{6\pi\eta r_p r_f} \right] \quad (14.6)$$

Parametar inercije K je odnos između udaljenosti čestice i početne brzine U . Čestica će se kretati dok se ne nataloži na površinu vlakna. Ova udaljenost iznosi $x = 1,230r_p^2 r U$, na temperaturi vazduha 20 °C. Pre svega je zanimljivo odrediti uticaj pojedinih parametara na efekat filtracije E . Opštu jednačinu efekta filtracije možemo napisati u sledećem obliku:

$$E = f \left[K, Re, \frac{r_p}{r_f} \right] \quad (14.7)$$

Iz jednačine (14.7) se vidi da efekat filtracije raste sa povećanjem veličine čestica i sa povećanjem vrednosti parametra K , koji je srazmeran brzini U i obrnuto srazmeran prečniku vlakna. Znači da se sa povećanjem prečnika vlakna smanjuje vrednost parametra K i efekat filtracije E . Na slici (14.4) je prikazan efekat filtracije u zavisnosti od K i r_p/r_f uz $Re = 0,2$.



Slika 14-3: Efekat filtracije u zavisnosti od K i r_p/r_f za $Re = 0,2$

Iz jednačine (14.7) se vidi da efekat filtracije raste sa povećanjem veličine čestica i sa povećanjem vrednosti parametra K , koji je srazmeran brzini U i obratno srazmeran prečniku vlakna. Na slici (14-4) je prikazan efekat filtracije u zavisnosti od od K in r_p/r_f uz $Re = 0,2$.

14.3.6. Filtracija u strujnici

Manje čestice, koje prate strujnicu, mogu se izdvojiti na površini vlakana samo ako su u onom delu strujnice, koja ide neposredno po površini vlakna. U tom slučaju se čestica izdvaja na površinu zbog delovanja adhezijskih sila. Pored toga, brzina strujnice se smanjuje ako idemo od glavne ose strujnice prema površini vlakna, i neposredno na površini vlakna brzina strujnice je jednaka nuli. Površina prirodnih vlakana je obično veoma hrapava. Zbog toga se mogu pojaviti vrtložna strujanja u blizini površine vlakana. Brzina strujnice je mala, i na osnovu Rejnoldsovog broja možemo zaključiti da je protok vazduha oko posmatranog vlakna laminaran. Ukratko, ako površina vlakana, od kojih je

izrađen tekstilni filter, nije idealno glatka, nego hrapava, povećaće se učinak filtracije iz strujnica u poređenju sa teoretskim izračunavanjima. Kod kojih je pretpostavljeno da je površina vlakna glatka. Ako je $R = r_p/r_f$, efekat filtracije čestica iz strujnice možemo približno opisati sledećom jednačinom [3]:

$$E = \frac{1}{2(2 - \ln Re)} 2(1 + R)\ln(1 + R) + \frac{1}{1 + R} - (1 + R) \quad (14.8)$$

Iz jednačine 14.8 vidimo da efekat filtracije čestica iz strujnice raste sa povećanjem R i Re . Ta zavisnost je ilustrovana na slici 14-4.

14.3.7. Efekat difuzije

Veoma male čestice, manje od 0,15 mikrometara, kreću se po Braunovom zakonu. Difuziju čestica u vazdušnoj strujnici cilindričnog oblika sa promenljivom lokalnom koncentracijom jednako velikih čestica, možemo opisati pomoću diferencijalne parcijalne jednačine drugog reda u cilindričnim

koordinatama. U realnom sistemu čestice nisu uniformne i strujnice nisu cilindrične, jer otvori u tekstilnom filter mediju imaju različit oblik i veličinu poprečnih preseka, zbog čega ni brzina strujnice na tom putu nije stalna. Zato ćemo upotrebiti jednačinu (14.9), koja daje približan efekat filtracije najmanjih čestica, pomoću efekta difuzije [5]:

$$E = 1,36 \frac{1}{[2(2 - \ln Re)]^{\frac{1}{3}}} \left(\frac{D}{v_0 r_f} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (14.9)$$

gde su:

- v_0 - brzina vazduha u strujnici, koji prolazi pored posmatranog vlakna;
- D - koeficijent difuzije.

Iz jednačine (14.9) vidimo da je efekat izlučivanja čestica pomoću efekta difuzije srazmeran sa $v_0^{-2/3}$. To znači, što je veća brzina strujnice, tim manje delova će se izdvojiti iz strujnice na površinu posmatranog vlakna. U realnom sistemu je teško međusobno razdvojiti pojedine mehanizme filtracije. Sa praktičnog stanovišta važan je ukupni efekat filtracije svih navedenih mehanizama. On se da meriti. Iz jednačina (14.1) do (14.9) vidimo da efekat filtracije pre svega zavisi od Re , brzine strujnice, te odnosa između poluprečnika čestice i poluprečnika vlakna, na koje se izdvajaju čestice iz strujnice.

14.3.8. Projektovanje tekstilije za suhu filtraciju

Jedan od bitnih parametara, koji moramo uzeti u obzir prilikom projektovanja tekstilnih filterskih medija, jeste poroznost tih medija. Ona zavisi od konstrukcije i vrste ravnog tekstilnog proizvoda. Uopšteno, vlaknovine prouzrokuju manji otpor protoku vazduha nego tkanine sa jednakom gustinom, odnosno masom na jedinicu površine. Otpor protoku vazduha možemo izraziti osnovnom Darsijevom jednačinom:

$$p = \frac{k\eta b Q}{A} \quad (14.10)$$

gde su:

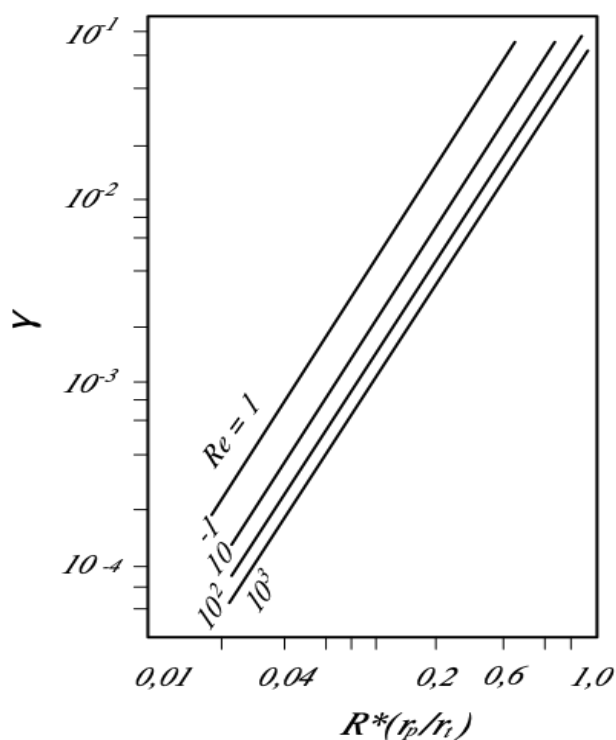
- p - razlika pritisaka, koja je potrebna da kroz površinu A filtera proteče u jedinici vremena zapreminska količina vazduha Q ;
- k - konstanta;
- η - koeficijent viskoznosti vazduha;
- b - debljina filtera.

Prilikom merenja poroznosti često upotrebljavamo sledeću jednačinu:

$$V = Ap^b \quad (14.11)$$

gde su:

- V - zapreminska brzina protoka vazduha pri razlici pritisaka p ;
- A i b - konstante za posmatrani filter ($1 \geq b \geq 0,5$)
- p - razlika pritisaka.



Slika 14-4: Efekat filtracije čestica iz strujnica na površini izolovanog vlakna [4]

Pre nego počnemo projektovati i konstruisati filterski medij, moramo poznavati sve uslove za upotrebu filterskog medija, kao što su: količina gasova, koja protiče kroz filter u jedinici vremena; temperatura gasova, agresivnost gasova prema tekstilnom filteru, koncentraciju čestica u gasu; raspored veličina čestica, veličinu prostora koji je namenjen za tekstilni filter, pritisak gasova, zahtevani efekat filtracije, količinu vodene pare u gasovima, moguću pojavu koagulacije čestica zbog kohezijskih sila i vlage; adhezija čestica na površinu filtera i unutrašnjost pora filtera, vek trajanja filtera i slično. Bez obzira na vrednost parametara filtracije, koje smo nabrojali, uopšteno kod projektovanja filtera treba uzeti u obzir sledeće parametre: poroznost, zapreminu, otpor prema deformacijama, cenu filtera i njegove specifične osobine.

14.3.9. Poroznost

Filter mora imati što veću poroznost. Na taj način može biti upotrebljena manja površina filtera, uz isti protok gasa, nego u slučaju ako je poroznost filtera manja. Pri tome moramo uzeti u obzir propisani efekat filtracije. To znači da količina čestica koja prolazi kroz filter ne sme biti veća nego što je propisano. Iz toga sledi da poroznost ne smemo dostići na osnovu pora velikog prečnika nego pomoću većeg broja pora manjeg prečnika, jer se efekat filtracije povećava sa povećanjem vrednosti odnosa između poluprečnika delića i poluprečnika vlakana, od kojih je proizveden filter.

Čak i kada je navedeni odnos dobar, to još nije sigurno, da ćemo postići propisani efekat filtracije, jer je možda prečnik pora između vlakana vrlo veliki u odnosu na prečnik čestica koje želimo filtrirati. Ranije navedeni mehanizmi opisuju događanja u neposrednoj blizini površine samo jednog vlakna. Ova pretpostavka implicitno uzima u obzir činjenicu da je prečnik posmatrane strujnice ograničen, odnosno da su u neposrednoj blizini posmatranog vlakna takođe i druga koja ograničavaju prečnik strujnice. S obzirom na ranije navedene mehanizme filtracije, efekat filtracije će se povećati ako se strujnica više puta razdeli i tako više puta promeni smer, pre nego dođe na suprotnu površinu filtera. Takav oblik pora imaju vlaknovine i tkanine (iz štapelne pređe), koje su dlakave i imaju zamrežene pore vlaknima koja strše iz zidova pore, odnosno pređe. Ipak tkanine imaju manju poroznost nego vlaknovine jednake gustine. To znači da vlaknovine bolje odgovaraju za suhu filtraciju nego tkanine, osim u slučaju kada je filter izložen većim pritiscima, što nije tako često.

14.3.10. Zapremina

Tekstilni deo filtera neka zauzima što manju zapreminu. To je potrebno pre svega zbog dimenzija filterske naprave, koja mora zauzeti što manji prostor i biti što jeftinija. Tekstilni filter će zauzeti najmanju moguću zapreminu onda, kada ima optimalne vrednosti parametara kvaliteta, među koje spadaju i gustoća i poroznost.

14.3.11. Otpor prema deformacijama

Filter mora biti otporan prema deformacijama. Ako se filter zbog delovanja pritiska deformiše - rastegne, onda mu se promeni struktura. Poveća se prosečan prečnik pora, i sa tim takođe poroznost. Posledica toga može biti smanjenje efekta filtracije. Tkanine se manje deformišu nego vlaknovine i u pogledu deformacije bolje odgovaraju ovoj nameni. Ipak, kod vlaknovina su druge osobine bolje, kao na primer, poroznost i efekat filtracije. Moguće je izbeći relativno slabu otpornost vlaknovina prema deformacijama tako što se određena količina vlakana položi na retku tkaninu sa jedne ili sa obe strane. Na taj način se proizvodu sačuva visoka poroznost i efekat filtracije, a ujedno mu se poveća otpornost prema deformacijama. Tkanina ima, iako je veoma retka, ulogu armature, odnosno stabilizatora, pogotovo ukoliko je tetraaksijalna ili petaksijalna.

14.3.12. Cena filtera

Filtracija nije jeftina. Investicije u filtersku napravu kao celinu su relativno velike, a ni tekstilni deo filtera nije jeftin. Osim toga, za proces filtracije je takođe potrebna određena količina energije za pogon ventilatora koji stvaraju potrebnu razliku pritisaka. U svemu tome, samo je tekstilni deo filtera potrošni materijal. Zbog toga cena tekstilnog filtera ima veliki uticaj na cenu filtracije. Zbog

zagađenja okoline, ne možemo izbeći upotrebu filtracije. Da bismo pojeftinili filtraciju, izabraćemo odgovarajući tip filterske naprave, koja je što jeftinija. Osnovnu investiciju u filtersku napravu (ili

stanicu) i prostor obično ne možemo bitno smanjiti. To nam opterećuje amortizaciju. Možemo izbeći velike troškove rada filterskog uređaja i to pre svega optimalnim projektovanjem tekstilnog filtera. To znači da tekstilni filter mora imati takve proizvodne karakteristike da su mu proizvodni troškovi u dužem vremenskom periodu minimalni. To stvarno ne znači samo najniže cene m² filtera, nego pre svega kvalitet, a to je sporo menjanje početnih vrednosti važnijih parametara kvaliteta filtera. Znači, proizvodni troškovi se najlakše smanjuju produžavanjem životnog veka filtera.

Produženje životnog veka filtera postižemo na više načina. Filterska naprava mora omogućiti čišćenje filtera, to jest odstranjivanje prašine koja je nataložena na površini filtera i, po mogućnosti, bar dela prašine koja je nataložena na površinu vlakana u porama, ili je čak delimično zatvorila određeni broj pora. To postižemo tresenjem dela filterske naprave, na koji je montiran tekstilni filter, koji je najčešće u obliku vreća ili saća.

Tresenjem se odstranjuje pre svega sloj prašine koji se nataložio na površini filtera. Tresenje vrlo malo utiče na prašinu koja je deponovana u unutrašnjosti filtera. Korisniji je protivpritisni postupak. U određenim vremenskim razmacima se uduvava vazduh sa suprotne strane filtera. Ovaj pritisak je veći od normalno delujućeg pritiska i deluje samo kratko vreme. Pritom izduvava prašinu iz pora filtera i istovremeno odstranjuje prašinu koja se nakupila na suprotnoj strani filtera. To je moguće samo onda kada adhezijske sile nisu prevelike, odnosno ako čestice prašine nisu jače prionule na površinu vlakana filtera. Prašina se jače nalepi na površinu vlakana filtera ako je on vlažan ili ako delovi prašine imaju električni naboj sa suprotnim predznakom, nego što ga ima filter. Adhezijske sile između delova prašine i površine vlakana filtera možemo smanjiti ugrađivanjem metalnih vlakana, koja odvede statički elektricitet ili ako površinu filtera impregniramo sintetičkom smolom. Ona se obično nanosi pomoću vakuumske tehnike, tako da je moguće regulisati dubinu do koje u unutrašnjost filtera prodire sintetička smola. Nanos smole je najčešće u obliku pene. Smola je porozna pa se poroznost filtera, zbog impenetracije smolom, bitno ne menja. Ako je vlakno presvučeno filmom smole, smanjuju se adhezijske sile između vlakana i delova prašine, odnosno

adhezijska sila između čestica i površine filma je mnogo manja nego između površine vlakana i čestica praha. Zbog toga je u tom slučaju efikasnije čišćenje filtera protupritiskom i čak tresenjem. Posledica toga je produžen životni vek filtera, odnosno pojeftinjenje delovanja filterske naprave.

Studije uticaja konstrukcije filtera, uslova filtracije i rasporeda veličine čestica prašine mogu dovesti do značajnog produženja trajanja filtera. Vek trajanja obično određujemo pomoću unapred izabrane razlike pritiska, koju ne smemo prekoračiti, sa tim da je zapreminska brzina protoka stalna. To je zbog dva osnovna razloga. Snaga motora, koji pokreće ventilator, ograničena je i zato motor ne može dalje povećavati razliku pritiska. Kod daljeg povećavanja začepjenosti filtera se smanjuje protok. To može značiti smanjenje efekta proizvodnje u fazama gde nastaju otpadni gasovi, odnosno čestice prašine. Sa druge strane, prekomerno povećanje razlike pritiska može oštetiti filter. Vek trajanja filtera možemo izračunati pomoću sledeće jednačine:

$$t = A^{0.5} \frac{\ln \frac{P}{P_0}}{KMQ^{0.5}} \quad (14.12)$$

gde su:

- t - vreme u kojem se poveća razlika pritisaka sa P_0 na P ;
- A - površina filtera;
- M - koncentracija prašine;
- Q - zapreminska brzina protoka gasova;
- K – koeficijent, koji odražava konstrukciju filtera, kao i veličinu i raspored čestica.

Vrednost koeficijenta K moramo ustanoviti eksperimentalno.

14.3.13. Specifične osobine

U pogledu upotrebe ponekad je neophodno da filter ima specifične osobine kao što su: negorivost, otpornost prema hemikalijama, određenu jačinu u mokrom stanju i sl. Ponekad je temperatura izlaznih gasova 300 °C i više. U takvim slučajevima moramo za izradu filtera upotrebiti staklena i azbestna vlakna (ona su zabranjena), ili vlakna na osnovu aromatskih poliamida, koja podnose temperature do 400 °C.

Ako su gasovi agresivni - kiseli ili bazni, moramo za izradu filtera upotrebiti tekstilna vlakna koja su otporna na kiseline i baze. Ako su gasovi vlažni, nije preporučljiva upotreba vlakana, koja menjaju pojedine osobine u mokrom stanju. To su pre svega viskozna i vunena vlakna, kao i delimično pamučna vlakna.

14.4. Mokra filtracija

14.4.1. Područje mokre filtracije

Mokra filtracija je veoma raširena. Filterski medij može biti sloj čestica različite veličine, kao što je na primer sloj peska, sastavljen iz više slojeva čestica različite veličine. Koristimo ga za filtraciju vode. Ovaj filterski medij ima zadatak da iz vode izdvoji sve čvrste čestice koje prljaju vodu. Pošto mokra filtracija obuhvata veoma široko područje, u koje je uključeno i razdvajanje dvije tekuće faze, za nešto tačniji opis bi trebalo više prostora i obuhvatilo bi više knjiga. Zato ćemo se ograničiti samo na izdvajanje čvrstih čestica iz tekuće faze, i to samo na one slučajeve gde se kao filterski medij upotrebljava ravni tekstilni proizvod. Takve slučajeve imamo u uljarama, u fabrikama šećera, keramičkoj industriji, industriji papira i sl. Ovoj grupi bi mogli pribrojiti još geotekstilije, jer i one imaju ulogu filterskog medija. U slučaju kada želimo izdvojiti iz tekućine veoma male čestice, za koje je tekstilni medij neodgovarajući (ima prevelike pore odnosu na veličinu čestica), tekstilija može biti armatura na koju se nataloži sloj posebnog materijala, koji služi kao veoma fin filterski medij.

14.4.2. Teorija mokre filtracije

Za razliku od suve filtracije, kojom želimo izdvojiti čvrste čestice iz gasne faze, kod mokre filtracije izdvajamo čvrste čestice iz tekuće faze. Uslovi filtracije mogu biti veoma različiti. Filtracija može proticati veoma sporo ili relativno brzo. Može se, takođe, vremenom menjati brzina. U početku može teći brzo, a prema kraju veoma polako. Takav slučaj može biti učvršćivanje močvarnog zemljišta za ceste. Postupak učvršćivanja močvarnog tla je zanimljiv sa stanovišta upotrebe iglane vlaknovine kao filterskog medija.

Deonica auto-puta A1 Dolgi most - Vrhnika ide po ljubljanskoj močvari. Tokom njegove izgradnje [9], otkriven je sloj svetlosive gline sa mnogo puževih kučica (povžarica odnosno puževka) koja ima oko 400 % vode. Ovaj sloj je deo i do 20 m. On se pri opterećenju ponaša kao živo blato. Cesta položena na taj sloj bi prosto utonula, jer bi opterećujući sloj istisnuo sloj sive gline sa mnogo puževih kučica. Da se to ne bi dogodilo, upotreбили su tehniku gradnje kod koje odlučujuću ulogu ima vlaknovina kao filterski medij. Buduće cestište su prekrili sa vlaknovinom, krajeve su sašili ili zavarili skupa. To je zbog toga da bi dobili sloj vlaknovine kao celinu. Na taj način je bilo onemogućeno razdvajanje pojedinih traka vlaknovine. Kad bi se to dogodilo, kroz takve raspore bi se izlilo blato iz donjih slojeva. Ako blato dođe u podlogu cestišta (glina, delovi kučica puževa i slojevi peska različite veličine) smanjiće se koeficijent trenja među česticama peska, koje čine podlogu ceste. Zbog toga bi se veoma smanjila nosivost podloge cestišta, pošto prilikom opterećenja čestice lakše klize jedna pored druge nego kada između njih nema blata, koje se ponaša kao mazivo. U ovom slučaju sloj vlaknovine služi kao filterski medij koji propušta vodu iz donjih slojeva, a ne propušta blato.

Da bi povećali nosivost sloja sive gline sa mnogo puževih kučica upotreбили su vertikalne filtere. Ovi filteri su u stvarnosti duge perforirane cevi, koje su iznutra obložene vlaknovinom, pritisnutom o zidove cevi. Cevi su do određene dubine ubodene u taj sloj po čitavoj cesti. Razmak između cevi je bio 1 m do 2 m, zavisno od karakteristika sloja na određenoj lokaciji. Potom su cestište opteretili slojem šljunka debelim 1,5 do 2 m. Ovaj sloj je pritiskao na „puževku”. Međusloj vlaknovine je sprečio tonjenje sloja opterećenja u „puževku”. Istovremeno je, zbog pritiska, voda iz „puževke” počela oticati kroz vertikalne filtere na površinu. Pritom se smanjila količina vode u „puževki”. Zbog pritiska je novoj vodi iz okoline onemogućeno da dođe u „puževku”. Tako se povećala njena nosivost. Ovaj proces filtracije je trajao 2 do 3 godine. Cestište se sleže nekoliko godina, a to

sleganje je ravnomerno i dosadašnji rezultati (vožnja po cesti veoma teških kamiona) pokazuju da je navedeni postupak bio uspešan. Naravno moramo za to izraditi vlaknovinu iz tekstilnih vlakana koja su otporna na degradaciju u navedenim uslovima. Polipropilenska vlakna ispunjavaju taj uslov.

Geotekstilije se upotrebljavaju i za oblaganje nasipa, jezera, obala i sl. Iskustva su pokazala da su vlaknovine nezamenjive. Ako se između obale i tekuće vode postavi sloj vlaknovine i optereti pločama, koje tekuća voda ne može odneti sa obale, ona će onemogućiti odnošenje zemlje ili peska, jer deluje kao filter. Uopšteno, možemo brzinu filtracije izračunati poznatom Darsijevom jednačinom:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{KA\Delta P}{\mu L} \quad (14.13)$$

gde su:

- V - zapremina tekućine, koja prolazi u jedinici vremena t kroz filterski medij;
- ΔP - razlika pritisaka među suprotnim površinama filterskog medija;
- A - površina filterskog medija, kroz koju filtriramo smesu tvrde i tekuće faze (suspenciju);
- L - debljina filterskog medija;
- μ - viskoznost tekuće faze;

- K - izjednačavajuća konstanta za dati filterski medij.

U jednačini (14.13) možemo izmeriti sve parametre i izračunati vrednost izjednačujuće konstante K . Stvarno bi moralo biti moguće na osnovu vrednosti parametara na desnoj strani jednačine (14.13) unapred konstruisati filterski medij, u našem slučaju ravan tekstilni proizvod, koji bi omogućio željenu brzinu i efekat filtracije. To nije moguće jer ne znamo vrednosti izjednačujuće konstantne K . Izjednačujuća konstanta obuhvata poroznost filterskog medija, uticaj veličine i rasporeda hidrauličnih prečnika pora, geometriju pora, veličinu čestica i zidova pora, kvalitet površine vlakana, gustinu filterskog medija i raspodelu, te uticaj gustine na brzinu filtracije, koju opisuje leva strana jednačine (14.13). Jednačina (14.13) nam, dakle, označava vrlo jednostavan opis brzina filtracije. Za detaljniji opis procesa filtracije treba nam kompleksnija jednačina nego što je ova (14.13). To znači da nam nije poznat uticaj pojedinih parametara i da možemo oceniti samo ukupan uticaj. Jednačina (14.13) nam ništa ne govori o mehanizmu filtracije, odnosno o promeni poroznosti filterskog medija zbog taloženja tvrdih čestica na njegovu površinu i na površinu zidova pora u unutrašnjosti filterskog medija.

Uopšteno, mehanizam filtracije zavisi od uslova filtracije; to jest brzine strujnica kroz filterski medij, promene smera strujnica, veličine čvrstih čestica u smesi koju filtriramo isl. Čvrste čestice možemo isfiltrirati iz tekućine pomoću filterskog medija u strujnici, usled inercije čestica, usled difuzije, gravitacije ili hidrodinamičkih uticaja. Na slici 14-15 su ilustrovani navedeni mehanizmi filtracije čvrstih čestica iz tekuće faze.

14.4.2.1. Filtracija u strujnici

Ako nisu prisutne druge sile, na primer uticaj susedne čvrste čestice u strujnici i sl., strujnica će nositi česticu kroz filterski medij. U tom slučaju pretpostavljamo da je čestica mnogo manja od prečnika pore, kroz koju prolazi strujnica, i da je strujnica laminarna. Ako je, na primer, u pori filterskog medija vlakno oko koga se razdvaja strujnica, ili vlakno samo toliko strši iz zida pore da je sužava i time koči strujnicu tako da ona unekoliko menja smer kada prolazi mimo, čestica će pratiti promenjeni smer strujnice.

Ako je položaj čestice u strujnici takav da je razdaljina od njegovog središta do središta (ili ose) vlakna, u bilo kojoj tački puta prolaza mimo vlakno, manja od prečnika sudara, na primer $(d_p + d_m)/2$, gde je d_p – Stoksov prečnik čestice i d_m - prečnik posmatranoga vlakna, onda će čestica udariti na površinu posmatranog vlakna i izdvojiće se iz strujnice - znači da će ostati na površini vlakna. Pritom pretpostavljamo da ja adehezijska sila, koja drži česticu na površini posmatranog vlakna, veća od sile koju prouzrokuje strujnica koja prolazi mimo površine posmatranog vlakna, na kome se iz strujnice izdvojila posmatrana čestica.

14.4.2.2. Filtracija zbog inercije čestica

Ako je čestica srazmerno velika i ima veću gustinu nego tekućina u kojoj je suspenzovana, ona neće pratiti strujnicu prilikom promene njenog smera u blizini navedenog vlakna (vidi sliku 14-5), nego će zbog sila inercije nastaviti kretanje u prijašnjem smeru strujnice. Dokazano je [5] da postoji međuzavisnost između bezdimenzijskog Stokesovog broja St i učinka inercije.

$$St = \frac{(\rho_s - \rho_f) d_p^2 \bar{\mu}}{18 \mu d_m} \quad (14.14)$$

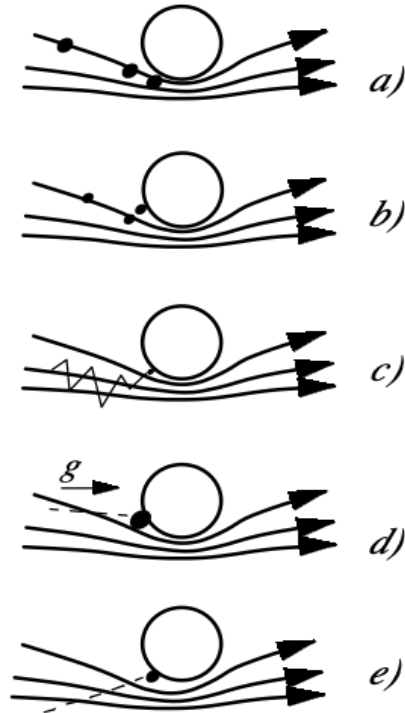
gde su:

- St - Stoksov broj;
- ρ_s - gustina čvrstih čestica;
- ρ_f - gustina tekućine;
- d_p - prečnik čvrstih čestica;
- μ - viskoznost tekućine;
- d_m - prečnik čestice filtereskog medija (u našem slučaju prečnik vlakna),
- $\bar{\mu}$ - prosečna brzina suspenzije kroz pore filtereskog medija.

Što je veći Stokesov broj, tim veći je uticaj inercije na čvrstu česticu. Na osnovu teoretskih i eksperimentalnih radova u vezi sa filtriranjem čestica i gasova uz pomoć tekstilnih filtera, došlo se da saznanja da efekat filtracije zavisi od St i d_p/d_m [6].

14.4.2.3. Filtracija čestica zbog difuzije

Veoma male čestice se, zbog sudara sa drugim česticama, kreću slučajno po principu Braunovog difuzijskog kretanja. Difuzijski koeficijent možemo definisati sledećom jednačinom:



Slika 14-5: Modeli mehanizama filtracije čvrstih čestica iz tekuće faze u unutrašnjosti medija
 a) - presretanje, b) - inercija, c) - difuzija, d) - gravitacija, e) - hidrodinamični uticaji

$$D = \frac{kT}{3\pi\mu d_p} \quad (14.15)$$

gde su:

- k - Bolcmanova konstanta;
- T - apsolutna temperatura;
- μ - viskoznost tekuće faze;
- d_p - prečnik čvrste čestice.

Na sobnoj temperaturi, po Braunovom zakonu se kreću čestice, koje imaju manji promer od 1 mikrometra. Rezultat kretanja tih čestica je, svakako, u smeru strujnice. Kada se čestice kreću u delu strujnice koja ide mimo vlakna filterskog medija, mogu pri tome doći u deo strujnice koji je u neposrednom dodiru sa površinom vlakna. Brzina ovog sloja strujnice je manja od prosečne brzine strujnice, odnosno je nula neposredno kod dodira sa površinom vlakna. Na samoj površini nema strujnice jer je tu njena brzina jednaka nuli. Zbog toga strujnica sporije nosi čestice napred pored vlakna. Sa tim se povećava verovatnoća da difuzijski male čestice udare u površinu vlakna i zbog adhezijskih sila ostanu na površini vlakna, odnosno da se izdvoje iz strujnice.

14.4.2.4. Filtracija čestice, koja nastaje sedimentacijom (gravitacija)

Ustanovljeno je [7] da na brzinu filtracije utiče gravitacijska sedimentacija čestica, koje imaju prečnik 2 μm do 10 μm. Ovaj uticaj možemo izraziti pomoću bezdimenzijjskog parametra, koji je u vezi sa Stokesovom brzinom sedimentacije i približava se brzini čestica.

$$S = \frac{(\rho_s - \rho_p) d_p^2 g}{18 \mu \bar{u}} \quad (14.16)$$

gde su:

- S - koeficijent sedimentacije;
- g - gravitacijsko ubrzanje.

Drugi parametri imaju ranije navedeni značaj. Što veću vrednost ima koeficijent sedimentacije, tim veća je brzina izdvajanja čestica zbog sedimentacijskog efekta. Kako vidimo iz jednačine (14.16), vrednost koeficijenta sedimentacije je srazmerna kvadratu promera čestica, što znači da je brzina izdvajanja takođe srazmerna kvadratu prečnika čestica.

14.4.2.5. Hidrodinamički uticaj na brzinu filtracije

Kretanje čestica u tekućini, koja protiče kroz cilindrične pore, nije potpuno razjašnjeno, pre svega zbog interakcije različitih uticaja. Ako su čestice suspendovane u tekućini u kojoj postoji gradijent smicanja, mogu nastati sile koje izbacuju čestice van smera strujnice ili čak približno pravougaono na smer strujnice. Prilikom tog kretanja mogu pogoditi u zid pore i tako se izdvojiti iz strujnice, odnosno suspenzije.

Sa povećanjem veličine čestica povećava se efekat filtracije zbog inercije, sedimentacije i hidrodinamičkih uticaja. Ako se smanjuje veličina čestica, povećava se učinak filtracije. Možemo očekivati da će učinak filtracije biti minimalan ako je veličina čestica takva, da dostiže minimalan učinak svih navedenih mehanizama filtracije. Prilikom filtracije čestica plastike iz gasne faze (suva filtracija) postićemo manji efekat filtracije onda kada je prečnik čestica 1 μm [7].

Sa povećanjem brzine filtracije (brzina protoka) uopšteno uzevši smanjuje se efekat filtracije. Možemo zaključiti da je difuzija preovladavajući mehanizam kod efekta filtracije, jer je brzina

izdvajanja delova pomoću mehanizma difuzije srazmerna vremenu protoka kroz filterski medij. To znači da su drugi mehanizmi relativno beznačajni. Ukoliko bi više uticali na efekat filtracije, efekat se sa povećanjem brzine protoka suspenzije kroz filterski medij ne bi bitno smanjio. Sa povećanjem brzine protoka se, naime, povećava efekat izdvajanja iz strujnice, jer se povećava uticaj inercije, i time verovatnoća da će se čestice sabrati u onom delu strujnice, koji prolazi neposredno uz površinu vlakna. U tim okolnostima više deluje inercija čestica, sedimentacija i hidrodinamički uticaj. Ujedno se smanjuje izdvajanje pomoću difuzije jer čestice brže prolaze mimo vlakna, odnosno pore, i zbog toga se smanjuje verovatnoća sudara čestica koje prolaze sa strujnicom uz površinu zida pore. Odnos između brzine izdvajanja čestica pomoću mehanizma difuzije i vremena protoka suspenzije kroz filterski medij možemo izraziti pomoću Pecletovog broja:

$$P = \frac{d_p \bar{u}}{D} \quad (14.17)$$

Ako se čestica zadrži na površini filterskog medija, odnosno na površini vlakana iz kojih je filterski medij, obično postoje dovoljno jake adhezijske sile da čestica ostane na površini vlakna i onda kada je protok suspenzije kroz filterski medij relativno brz.

Filterski medij ima određeni kapacitet izdvajanja čestica iz suspenzije. Kod određenog povećanja mase filterskog medija, brzina filtracije se smanjuje. Zbog toga brzina filtracije postaje premala za dati kapacitet i koči proizvodnju ili postaje neekonomična. Filterski medij u takvom stanju nije više upotrebljiv. Kriterije za zamenu filtera (brzina filtracije, pritisak, efekat filtracije i sl.) ustanovljavamo na osnovu iskustva. Obično je, uprkos začepljenju, filterski medij još uvijek upotrebljiv ako ga „regenerišemo”. Regeneracija znači ispiranje svih čestica iz filterskog medija, koje su bile izdvojene iz suspenzije tokom filtracije. Prilikom ispiranja moramo upotrebiti takvu tekućinu koja će smanjiti sile, koje vežu čestice na površinu vlakana. Samo tako je moguće potpuno očistiti filter i ponovo ga upotrebiti. Filterski medij je moguće posle svakog čišćenja više puta uspešno upotrebiti. Kod mokre filtracije, filterski mediji - obično vlaknovine, traju i do jedne godine (u industriji papira).

14.4.3. Kvalitet filterskog medija

Filterski medij mora biti vrlo kvalitetno izrađen. Vlaknovina mora biti veoma ravnomerna u pogledu gustine, poroznosti i debljine. Ovakvu ravnomernost je jako teško postići. Kod najnovije tehnike izrade vlaknovina, koje su namenjene za filterski medij (za izradu papira i sl.), prije nekoliko decenija su koristili radioaktivni stroncij 90 za merenje debljine i gustine vlaknovine u toku njene proizvodnje. U modernim rešenjima, koja omogućava mikroelektronika, radioaktivni elementi se više ne koriste.

Prilikom filtracije gline, koju upotrebljavamo u keramičkoj industriji, ponekad se koristi filtracija kroz vrlo jake i guste sintetičke filamentne tkanine. Kod takvih tkanina, koje služe za filterski medij, prosečan srednji hidraulični prečnik pora manji od 20 μm [8]. Filtracija se vrši pod pritiskom oko 1,2 MPa. Ako bi pore bile veće, bio bi i gubitak sirovine veći, odnosno smanjio bi se efekat filtracije. Ukoliko u tkanini postoje greške, koje prouzrokuju preveliki hidraulični prečnik pora u tkanini (rupe, prekinute niti i sl.), komad filterskog medija, na kome je takva greška, neupotrebljiv je za izradu filtera.

Za projektovanje filtera za mokru filtraciju ne možemo unapred dati konačna rešenja. Mehanizam filtracije je veoma kompleksan [8]. Osobine suspenzije mogu biti veoma različite tako da je neophodno uzeti u obzir vrstu suspenzije odnosno područje upotrebe datog filterskog medija. Kao što smo videli, efikasnost filtracije ne zavisi samo od konstrukcijskih osobina filterskog medija, nego i od brzine filtracije, veličine čestica, koeficijenta viskoznosti tekućine itd.

Među parametrima kvaliteta filterskog medija, svakako je značajna njegova poroznost, odnosno broj, veličina i raspodela pora, dužina pora, oblik poprečnog preseka pora uzduž pore i osobine zidova pora. U jednačini (14.13) je u obzir uzeta debljina filterskog medija. Ova veličina će odgovarati dužini svake pore, ukoliko su one na najkraćem putu od jedne do druge površine filterskog medija. Takav slučaj su, pre svega, tkani filterski mediji. Kod vlaknovina je veličina pora duža od debljine tkanine.

Ova razlika bi se u jednačini (14.13) pokazala u smanjenju vrednosti izjednačujuće konstante K i sa tim brzine filtracije pod uslovom da su drugi parametri na desnoj strani jednačine (14.13) jednaki. Iz tog primera vidimo da je veoma teško konstruisati filterski medij, za koga bi znali kako će se ponašati tokom filtracije. Zbog toga, kod projektovanja i konstruisanja filtera iskustvo igra veoma značajnu ulogu. Pritom, mislimo na iskustva koja dobijamo pomoću povratnih informacija iz neposredne upotrebe filtera. Te informacije koristimo za poboljšanje kvaliteta filterskog medija. Po tom sistemu poboljšanja kvaliteta, životni vek nekih vrsta filterskih medija se produžava za više od 10 puta.

Literatura

1. Sharma A. 2000. Penetration, pressure drop, and wicking characteristics of NIOSH Certified P-100 and P-95 Filters under heavy DOP holding. Master's thesis. College of Engineering and Mineral Resources at West Virginia University.
2. Brown R. C. 1993. Air filtration: an integrated approach to the theory and applications of fibrous filters. Oxford, New York, Pergamon Press: 272 str.
3. Hutten I. M. 2007. Handbook of non-woven filter media. Oxford, Elsevier Ltd.: 473 str.
4. Jakšić D., Jakšić N. 2007. Assessment of porosity of flat textile fabrics. Textile Research Journal 77 (2): 105–110.
5. Jakšić D., Jakšić N. 2010: Porosity of the flat textiles. V: Dobnik-Dubrovski P. (ur.). Woven fabric engineering. Rijeka, InTech: 255–272.
6. Zuurbier M., Hoek G., van den Hazel P., Brunekreef B. 2009. Minute ventilation of cyclists, car and bus passengers: an experimental study. Environmental Health 8:48: 1–10.
7. Parashar U. D., Bresee J. S., Gentsch J. R., Glass R. I. 1998. Rotavirus. Emerging Infectious Diseases 4(4): 561–570.
8. Widden M. 1966. Fluid Mechanics. New York, Macmillan Press: 359–360.
9. Isaković S. 1977. Kako gradimo avtocesto Dolgi most–Vrhnika čez Barje. Gradbeni vestnik 26 (4–5): 72–75.

15. JAKŠIĆEVA TEORIJA FILTRACIJE NANOČESTICA

15.1. Uvod

Teorija filtriranja nanočestica je razvijena na osnovu proučavanja filtracije mikroba i virusa u postojećoj medicinskoj maski, koja je izrađena iz više slojeva vlaknovine i mora da pruža efikasnost filtracije 100 %. Mehanizam filtracije u vlaknovini je veoma složen proces [1, 2, 3, 4, 5, 6, 8]. Da bismo ga razumeli, potrebno je definisati parametre poroznosti, prirodu protoka vazduha kroz otvore (pore) u vlaknovini, geometriju pora i ponašanje nanočestica, koje se u strujnicama vazduha kreću kroz masku iz okruženja prema ustima (u slučaju medicinske maske) i obrnuto.

Izrađena od veoma finih tekstilnih vlakana, medicinska maska za lice je lagana, jednostavna za upotrebu, relativno jeftina i veoma efikasna u zaštiti od infekcije tokom udisanja vazduha. Maska mora biti dizajnirana tako da dobro naleže na lice nosioca ili da dozvoljava da udahnuti vazduh prođe kroz telo maske, a ne kroz bilo koji otvor na ivicama maske. To znači da čestice prašine, kao i mikrobi i virusi, prolaze samo kroz masku, a ne između ivice maske i površine lica korisnika. Maska je samo za jednokratnu upotrebu, da bismo izbegli eventualno izdvojene čestice, koje su filtrirane u maski. Takođe se može koristiti u prašnjavom okruženju dok se maska ne zasiti česticama prašine.

Sastav maske mora biti savršeno prilagođen uslovima upotrebe. Filterski sloj mora biti zaštićen sa vanjske strane, kao i sa strane lica nosioca. Protočni kanal (pora) kroz spoljni sloj ne sme da prolazi kroz unutrašnji sloj filtera i dalje kroz unutrašnji zaštitni sloj bez promene smera. Filterski sloj mora imati veoma male prečnike kanala radi izlučivanja i najmanjih virusa. Otvorena površina za protok vazduha kroz masku (koja je suma broja površina ovih kanala), mora biti dovoljna da omogući normalno disanje [4, 5].

15.2. Medicinska maska

15.2.1. Početno stanje medicinske maske pre upotrebe

Da bismo ilustrovali mogućnost korišćenja Jakšićeve metode za određivanje broja, veličine i raspodele pora u vlaknovinama [3, 4], odabrali smo medicinsku masku, koja je izrađena iz tri sloja vlaknovine. Srednji sloj je izrađen od mikro vlakana, prečnika samo 2 μm , i 100 % zadržava sve mikrobe i viruse. Omogućava korisniku da normalno diše, bez rizika da mikrobi i virusi prodru kroz masku u pluća korisnika, iako su prečnici pora mnogo veći od prečnika virusa.

Pre nego što počnemo da analiziramo poroznost maske, moramo imati neke informacije o stanju maske. Pretpostavimo da maska još nije bila u upotrebi. Navešćemo osam obaveznih osnovnih informacija:

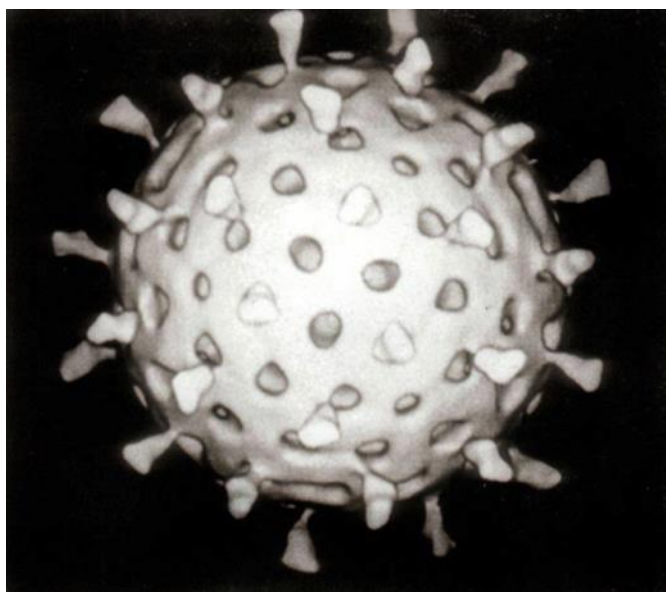
- maska je nova, u originalnom pakovanju;
- maska je postavljena na lice korisnika tako da vazduh, prilikom disanja, prolazi samo kroz masku;
- maska zadržava 100 % mikroba i virusa za vreme upotrebe, koje je naravno ograničeno;
- protok vazduha kroz masku je laminaran;

- korisnik maske disanjem stvara prosečni protok vazduha od 40-60 l/min;
- brzina disanja je 12-20 udisaja u minuti;
- debljina maske je 285 μm , a specifična masa 57,5 g/m^2
- u maski nema vlakana, koja su postavljena okomito ili približno okomito, između spoljne i unutrašnje površine maske.

15.2.2. Virus

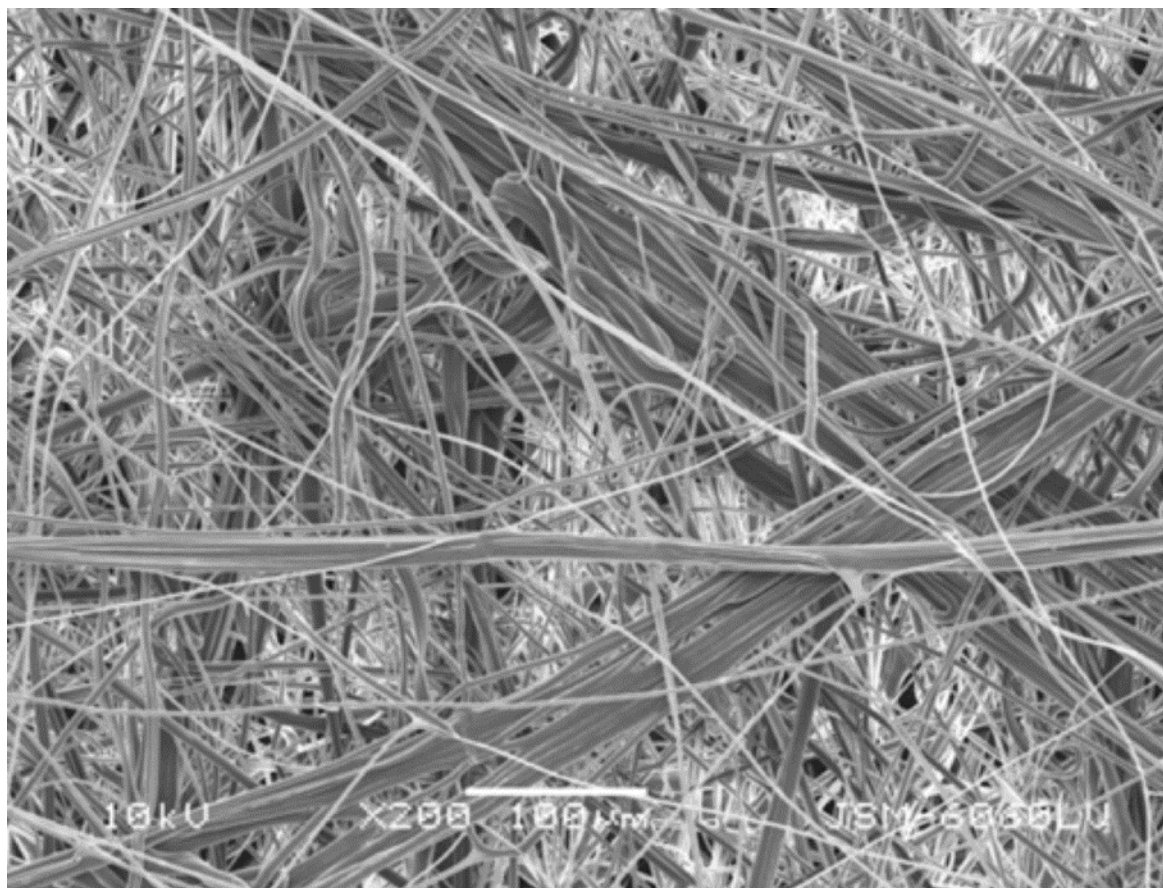
Virusi su manji od veoma sitnih čestica prašine i teško ih je filtrirati. Javljaju se u različitim oblicima, kao što su sferni, spiralni, izohoderni i slično, u rasponu od 10 nm do 300 nm. Prosečna gustina virusa $\rho_v = 1200 \text{ kg}/\text{m}^3$. Mi ćemo se zasad zadržati samo na sfernom ili približno sfernom virusu.

15.2.3. Poroznost medicinskih maski



Slika 15-1: Kompjuterska rekonstrukcija rota-virusa, koja je bazirana na većem broju elektronskih mikrografova [7]

Za merenje vrednosti parametara poroznosti korištena je Jakšićeva metoda za određivanje broja, veličine i raspodele pora u ravnim tekstilijama [3, 4]. Zidove pora (kanala) formiraju vlakna. Za razliku od tkanina u kojima zidove pora čine vlakna koja su upredena u pređu; u vlaknovini se vlakna slobodno postavljaju u xyz prostoru, osim kod iglane vlaknovine. U tkanini su pore (kanali) usmerene približno okomito na xy ravan, što takođe važi za pore u iglanoj vlaknovini koje nastaju usled kretanja igala u vlaknovini.



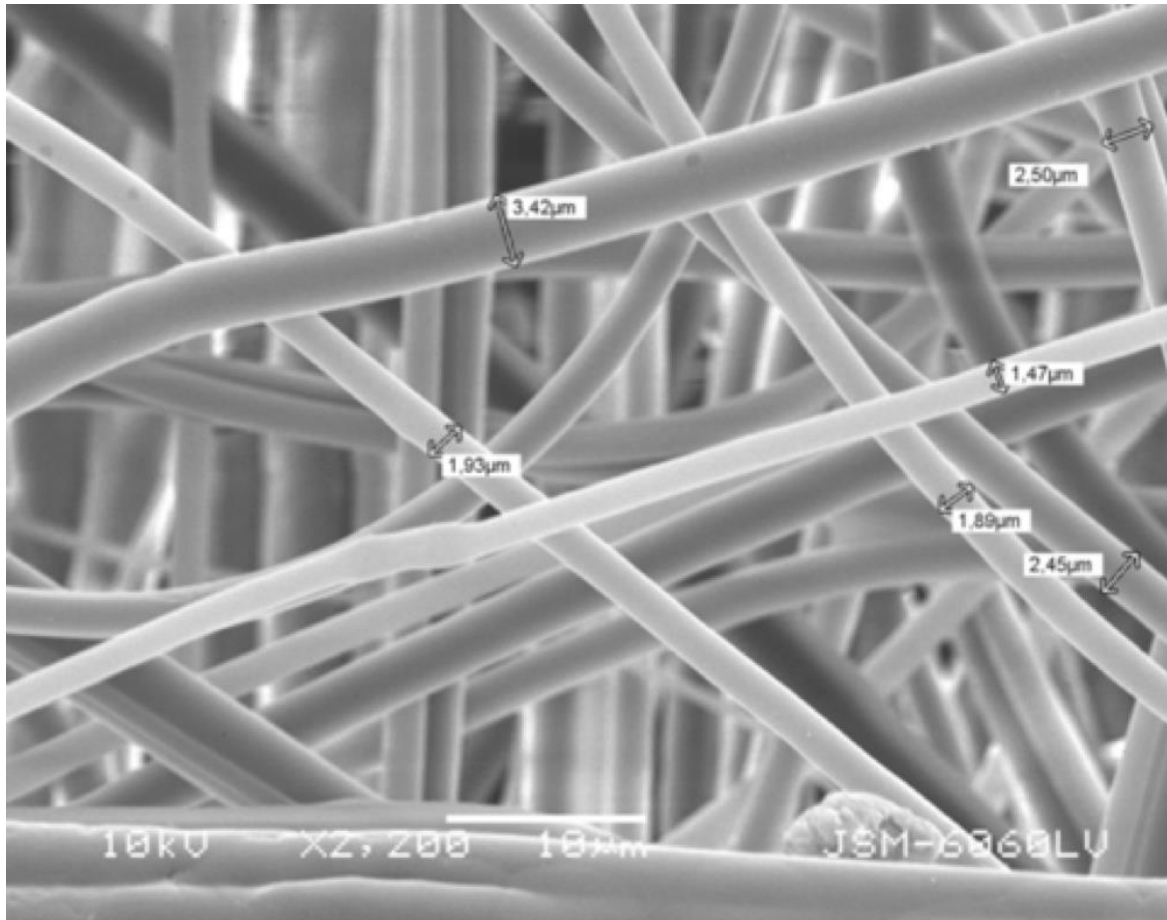
Slika 15-2: Srednji sloj vlaknovine u maski povećan 200 puta

Sva tri sloja vlaknovine su izrađena od polipropilenskih vlakana. Površina maske, kroz koju je moguć protok vazduha, iznosi oko 160 cm², (tabela 15-3). Aktivna površina spoljnog sloja manja je od aktivne površine srednjeg sloja. Oba spoljna sloja su stabilizovana tačkastim površinama, na kojima su vlakna stopljena i te površine su nepropusne za vazduh. Na tim delovima vlaknovina se transformiše u foliju. Većina površine dva spoljna sloja je propusna za vazduh (tabela 15-1). Srednji sloj nije sabijen i nema stopljene površine. Iz ovog razloga je protok vazduha moguć i kroz deo površine, koja se nalazi ispod stopljenog dela gornjeg (spoljnog) sloja ili iznad donjeg vanjskog sloja, koji se ne oslanja čvrsto na površinu lica korisnika. S obzirom na to, 100 % aktivne površine srednjeg sloja je stvarno aktivno za protok vazduha (tabela 15-1). Izuzetak je deo površine, koji je tačkasto fiksiran na oba spoljna sloja taljenjem, i površina srednjeg sloja, koji se nalazi između taljenih delova dva vanjska sloja, ne sudeluje u propustivosti vazduha. To onemogućavaju staljeni delovi na dva vanjska sloja.

Slika 15-2 uvećana je 200 puta. Vidna je vrlo loša orijentacija i raspored čak i u dubini sloja vlakana u srednjem sloju vlaknovine. Nije uočeno da je neko vlakno ležalo okomito na *xy* ravninu, odnosno na površinu srednjeg sloja.

Na slici 15-3, uvećanje je više od 10 puta veće nego na slici 15-2 i iznosi 2.200 puta. Međusobni položaj vlakana je ovde vidljiviji. Uzimajući u obzir činjenicu da je međusloj debeo samo 74 μm, što je vrlo malo, u idealnoj raspodeli vlakana to znači debljinu samo 37 vlakana. S obzirom na sve to, razumljivo je da na slici 15-3 možemo videti 5 do 7 vlakana po dubini. Kanalu se stalno menja prečnik i smer. Jakšićevom metodom merenja parametara poroznosti uzimamo u obzir samo najmanji prečnik

u kanalu. Nazvali smo ga hidrauličnim prečnikom pore. On igra dominantnu ulogu u protoku vazduha. Od toga dela kanala (pore) zavisi količina protoka vazduha kroz kanal.

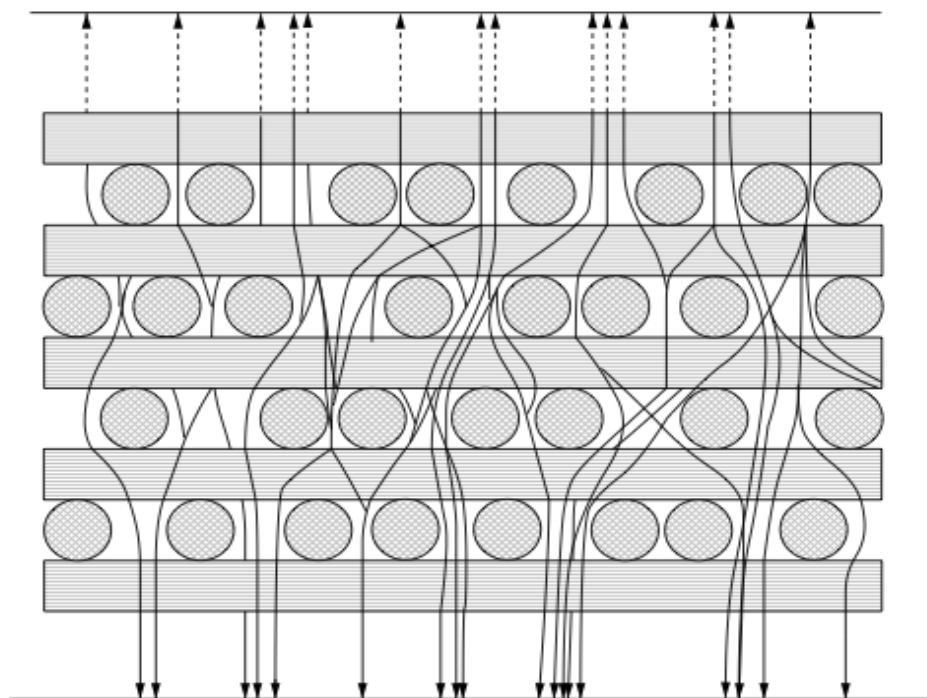


Slika 15-3: Srednji sloj medicinske maske uvećan 2.200 puta

U tabeli 15-2 su prikazani parametri filtracije. Broj pora na 1 cm^2 je 45.294. Maksimalni hidraulični prečnik pora je 30 μm . Otvorena površina (slobodna za protok vazduha) je 7,26 %. Koeficijent a (regresijska jednačina (8.4) - protok vazduha kroz suvi uzorak) je 0,0921. EkspONENT b (regresijska jednačina (8.4) - protok vazduha kroz suvi uzorak) je 0,7521. Prosječni hidraulički prečnik pora je $13,91 \text{ μm}$.

Tabela 15-1: Poređenje izabranih fizičkih parametara vlakana, koja su upotrebljena za slojeve vlaknovina iz kojih je proizvedena medicinska maska

Sloj vlaknovine	Masa [g/m ²]	Debljina [μm]	Broj slojeva vlakana u pojedinom sloju vlaknovine	Promer vlakana [μm]	Aktivna površina koja nije blokirana smolom [%]	Ukupna površina vlaknovine [cm ²]
Vanjski sloj	17,6	92	5	18	87	160
Srednji sloj	20,4	74	37	2	100	160
Vanjski sloj na licu korisnika	19,1	120	7	18	75	160



Slika 15-4: Model protoka strujnica vazduha kroz vlaknovinu u procesu udisanja i izdisanja vazduha

Tabela 15-2: Parametri poroznosti za sva tri pojedinačna sloja i maske kao celine (mereni Jakšićevom metodom određivanja poroznosti tekstilija); površina uzoraka je u cm²; tekućina u porama je n-butanol

Parametri poroznosti	Vanjski sloj	Srednji sloj	Vanjski sloj na licu korisnika	Maska (sva tri sloja vlaknovine)
Najveća pora [μm]	305	38	211	30
d_{max} [μm]	275	28	195	26
d_{min} [μm]	15	8	15	9
d_p [μm]	83,2	12,46	76,3	13,91
B	0,6183	0,7313	0,6143	0,7521
A	0,249	0,0889	0,2925	0,0921
P [%]	27,71	8,43	25,32	8,42
Širina veličinskih razreda [μm]	13	2	18	2
Broj veličinskih razreda	13	10	10	10
Broj pora/cm ²	3.745	68.414	4.506	45.294

Parametri u tabeli 15-2 označavaju:

- d_{max} - prosečni hidraulični prečnik pora u prvom intervalu veličine (najveće pore);
- d_{min} - prosečni prečnik pora u poslednjem intervalu veličine (najmanje pore);
- d_n - prosečni hidraulični prečnik pora u uzorku;
- P - Prosečna hidraulička otvorena površina za protok vazduha.

Tabela 15-3: Parametri poroznosti maske, za sve tri vlaknovine zajedno, (mereni Jakšićevom metodom određivanja broja pora u veličinskim intervalima)

Granice veličinskih razreda [μm]	Hidraulični prečnik pora [μm]	Pritisak [Pa]	Volumenski protok [m^3/s]* 10^{-6}	Broj pora	Udeo pora [%]
25-27	26	3.815	5,556	230	0,51
23-25	24	4.133	13,100	329	0,73
21-23	22	4.509	16,704	139	0,31
19-21	20	4.959	66,931	2.814	6,21
17-19	18	5.510	12,306	3.135	6,92
15-17	16	6.199	233,431	6.979	15,41
13-15	14	7.089	323,569	6.880	15,15
11-13	12	8.266	516,463	16.637	36,73
9-11	10	9.919	652,269	8.171	18,04

15.2.4. Uticaj višeslojne strukture maske na filtraciju

Opisaćemo neke razlike u ponašanju slojeva maske tokom procesa upotrebe i procesa merenja parametara poroznosti. Kao što je ranije rečeno, oba spoljna sloja imaju manju aktivnu površinu zbog svojih dodatnih funkcija, koje omogućavaju mehaničku podršku unutrašnjem (srednjem) sloju.

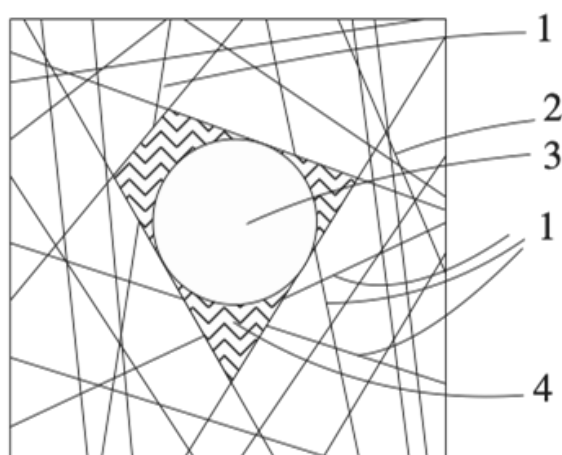
Uzorci, korišteni za testiranje poroznosti maske, isečeni su iz maske i postavljeni u glavu uređaja za merenje parametara poroznosti, u istim položajima koje su imali u maski. Površina otvorenog dela glave aparature, u koji se postavlja uzorak, iznosi 1cm^2 . Slojevi uzorka su na ivicama stegnuti zajedno tokom merenja protoka vazduha kroz uzorak pod određenim pritiscima. Prilikom merenja, vazduh prolazi kroz kanale (pore) u uzorku i ne prolazi pored tih kanala. Pritisak tokom merenja poroznosti deluje na sva tri sloja zajedno. Ovo je razlika između testiranja maske u odnosu na njenu upotrebu na licu. Kada koristimo masku, sva tri sloja su slabo međusobno povezana, osim na ivicama maske, gde su međusobno čvrsto povezani. Kada se koristi maska, pritisak na nju izaziva protok vazduha, koji nastaje udisanjem i izdisanjem vazduha. Taj vazduh može proći kroz donji sloj samo kroz pore na aktivnim delovima sloja. Pošto je brzina vazduha pri disanju samo oko 1 m/s , pritisak koji stvara protok vazduha je relativno nizak (20 Pa) i ne utiče na kompresiju slojeva.

Količine vazduha - proizvod otvorene površine za protok vazduha i brzine protoka, prikazane su u jednačini (8.4), a pritisak (razlika pritiska na obe strane maske) i protok vazduha prikazani su u jednačini (8.5). Iz ovih jednačina vidi se da je moguće postići isti protok vazduha u stvarnosti i u eksperimentu. Veći pritisak prouzrokuje veću brzinu, omogućavajući dobijanje realnih rezultata pod bilo kojim pritiskom, koji dozvoljava laboratorijska aparatura za merenje brzine protoka vazduha kroz suv i mokr uzorak u zavisnosti od pritiska. U laboratorijskim ispitivanjima dobijamo manju vrednost otvorene površine za protok vazduha, nego što je stvarna otvorena površina prilikom korištenja maske. To je zato što su u laboratorijskim merenjima slojevi stisnuti jedan uz drugi. Prilikom udaha i izdaha, pritisak je mnogo manji i ne priljubljuje slojeve jedan uz drugi. Pored toga, prisutna je i donja granica hidrauličnih prečnika, koji su još otvoreni u odnosu na gornju granicu korištenog pritiska.

Izmerili smo da je otvorena površina $7,26\%$ od ukupne aktivne površine na kojoj se nalaze pore. Takođe treba naglasiti da se otvorena površina za protok vazduha odnosi na zbir svih hidrauličkih pora, odnosno na najuže delove pora ili kanala, koje smo definisali kao hidraulične prečnike pora (slika 15-5). Hidraulički prečnici pora do $8\text{ }\mu\text{m}$ mogu se meriti na aparatu. To omogućava maksimalni pritisak koji se može postići na aparatu i kapacitet protoka vazduha. Iz raspodele veličine pora, koja je prikazana u tabeli 15-3, vidljivo je da su u uzorku verovatno prisutne i pore čiji je hidraulični prečnik manji od $8\text{ }\mu\text{m}$, što je donja granica mogućnosti aparata. Ove manje pore takođe igraju važnu ulogu u filtraciji mikroba i virusa. Oni su mnogo manji od hidrauličnih prečnika ovih pora.

Naravno, moguće je proizvesti aparaturu koja omogućava upotrebu većeg pritiska i veće brzine protoka vazduha kroz uzorak, nego što to dozvoljava postojeća aparatura, na kojoj smo merili rezultate u tabeli 15-2. Vazduh normalno teče kroz ove veoma male pore. Uzimajući sve ovo u obzir, možemo zaključiti da je otvorena površina mnogo veća od one koju smo izmerili tokom eksperimenta. Može se pretpostaviti da je prečnik kruga, prikazanog na slici 15-5, minimalni izmereni hidraulični prečnik $8\text{ }\mu\text{m}$. Ostale pore imaju manji prečnik od $8\text{ }\mu\text{m}$. Prikazana vlakna su van mernog područja. Ona bi spadala u nanopodručje. Bez obzira na činjenicu da su sve pore među vlaknima manje od pore

ograničene krugom, zbog bolje preglednosti prikazan je ostatak tekućine samo u najbližim porama, koje su oko pore 3 na slici 15-5.



Slika 15-5: Pore (bez tekućine) i hidraulična pora iz koje je istisnuta tekućina, osim u uglovima 1 - vlakno, koje je na jednom od donjih nivoa dela pore iz koje je istisnuta tekućina, 2 - mikro vlakno, 3 - hidraulična pora, 4 - deo pore iz kojeg nije istisnuta tekućina u eksperimentu određivanja broja, veličine i rasporeda pora po Jakšičevi metodi.

15.3. Novi pristup teoriji filtracije

Pretpostavljamo da je protok fluida usmeren kroz kanale (pore) između vlakana. Oblik ovih kanala u vlaknovini je slučajan i nema nikakvog pravilnog geometrijskog oblika. Često se njihova veličina (prečnik) i smer menjaju. Za filtraciju je bitan srednji sloj maske, koji je proizveden od mikrovlakana. Oblik ovih kanala je nemoguće utvrditi, s obzirom na to da je prečnik mikrovlakana samo 2 μm. Međutim, od značaja je samo najmanji prečnik kanala, koji se može odrediti Jakšičevom metodom, koja omogućava merenje broja, veličine i raspodele pora u ravnim tekstilijama [3, 4].

15.3.1. Mehanizam protoka vazduha kroz medicinsku masku

Mehanizam protoka vazduha (laminarni ili turbulentni) određujemo izračunavanjem vrednosti Reynoldsovog broja, jednačina (15.1):

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \quad (15.1)$$

Parametri označavaju:

- ρ- gustina vazduha;
- v - prosečna brzina objekta (čestice) u poređenju sa strujnicom ili obratno;
- d - karakteristična linearna dimenzija (hidraulični prečnik pore ili prečnik čestice ili prečnik vlakna);
- μ - dinamična viskoznost vazduha ili uopšte fluida

Gustina vazduha $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ i dinamička viskoznost $\mu = 18 \text{ Pa}\cdot\text{s}$. Karakteristične linearne dimenzije su korištene u odnosu na vrednosti parametara na koje se odnose. Kada ispituujemo protok kroz pore, uzimamo minimalni hidraulički prečnik kanala, odnosno pora. Sa druge strane, ako je u pitanju protok oko stacionarne čestice, dimenzija je njegov prečnik.

Brzina vazduha kroz medicinsku masku se može odrediti pomoću parametara poroznosti maske i fiziologije čoveka. Brzina vazduha prilikom udisaja i izdisaja zavisi od intenziteta disanja. To zavisi od vrste i intenziteta aktivnosti nosioca medicinske maske. Udahnuti vazduh ima normalnu gustinu. Izdahnuti vazduh ima povećanu vlažnost, a samim tim i gustinu. Pretpostavimo da korisnik udiše 12 litara vazduha u minuti, pri normalnom pritisku i lakoj aktivnosti, a 60 litara u minutu tokom aktivnosti srednjeg intenziteta. Pretpostavimo dalje da osoba udiše 12 puta u jednoj minuti. Veličina aktivne površine srednjeg sloja maske neka bude 160 cm^2 a otvorena površina za protok vazduha $8,42 \%$ (glava 8, tabela 8-2). To znači da je površina za protok $11,6 \text{ cm}^2$. Brzina protoka vazduha kroz srednji sloj je približno $0,17 \text{ m/s}$ tokom lakše aktivnosti i $0,86 \text{ m/s}$ kod aktivnosti srednjeg intenziteta [5]. Za izračunavanje Rejnoldsovog broja Re upotrebljena je brzina od 1 m/s .

Maksimalan prečnik hidrauličkih pora je $30 \text{ }\mu\text{m}$, (glava 8, tabela 8-2). Rejnoldsov broj za protok vazduha kroz najveće pore je $Re = 2$, što je $\ll 2.300$, kolika je gornja granica za laminarni protok vazduha kroz srednji sloj maske.

Maska je oblikovana tako da filtrira sve veličine virusa od prečnika 10 nm do 300 nm . Kada počnemo vazduh udisati ili izdisati, virusi ne prate u potpunosti tok fluida. U trenutku kada je virus stacionaran (izvan spoljne površine maske, blizu ulaza u poru) i fluid počne da se kreće, Rejnoldsov broj izračunavamo na maksimalnoj brzini toka fluida. Čak i kada je virus zahvaćen u toku fluida, način njegovog kretanja na kratkom rastojanju se bitno ne menja. U tom slučaju je $Re=0,02 \ll 0,1$, granica za laminarni protok vazduha oko objekta i mnogo je veći nego kod protoka kroz kanal između vlakana u srednjem sloju vlaknovine u medicinskoj maski. Može se zaključiti da se filtracija u međusloju maske dešava tokom laminarnog kretanja vazdušne mase.

15.3.2. Analiza fizičnog stanja parametara koji utiču na filtraciju

Proces filtracije, koji se odvija u medicinskoj maski, nalazi se u rasponu mikro i nanopodručja veličina. Veličina pora u međusloju maske je u mikrometarskom rasponu. Veličina virusa je u nanometarskom području. Kundsensov broj (Kn) se koristi da se utvrdi da li se mogu primeniti jednačine klasične mehanike kontinuuma ili ne. Kundsensov broj je definisan sledećom jednačinom:

$$Kn = \frac{k_B T}{\sqrt{2\pi\sigma^2} pL} \quad (15.2)$$

gde su:

- k_B - Bolcmanova konstanta;
- T - termodinamična temperatura;
- σ - prečnik čestice;
- p - ukupni pritisak;

- L - reprezentativna fizička dužina u datom području.

Vrednost Kn za maksimalni prečnik pore i veličinu virusa je $Kn \approx 10^{-9}$, što je mnogo manje od 1. To znači da možemo primeniti teoriju klasične mehanike kontinuuma.

15.4. Numeričko modeliranje i ponašanja virusa u ravnoj cevi (pori)

Pore u srednjem sloju maske su oblikovane u kanal ili cev. Međusloj vlaknovine je formiran na vrlo komplikovan način - formiran je od kompozita, koji ima 37 unutrašnjih podslojeva. Svaki od ovih unutrašnjih podslojeva se sastoji od vlakana, koja su međusobno nasumično raspoređena, zbog čega pore (kanali) imaju nepravilan geometrijski oblik. Iz tog razloga, oblik kanala je takođe geometrijski neodređen, što je slučaj i sa oblikom protoka fluida (slika 15-4). Možemo pretpostaviti da:

- Pora može promeniti svoj smer 35 puta, dok ne napusti srednji sloj i uđe u sloj koji formira površinu maske, koja je priljubljena uz lice korisnika.
- Promena smera je slučajna.
- Prilikom promene smera pora se može rascepiti. Bez obzira na to, tokom eksperimenta za određivanje poroznosti, mi zapravo uzimamo u obzir novoformirane pore. Jakšićeva metoda uzima u obzir samo hidraulički prečnik pora, odnosno onaj deo kanala koji ima najmanji hidraulični prečnik. Ovaj deo je važniji od dužine pora, odnosno kanala.
- Dužina pore je najmanje dvostruko veća od debljine srednjeg sloja, što znači da je dužina pora najmanje 570 μm , a s obzirom na debljinu oba spoljna sloja, ukupna dužina pora je još veća. Debljina maske je zbir debljina sva tri sloja.
- Eksperimentalno određeni prečnik pore se odnosi na najmanji prečnik pore, duž cele njene dužine, odnosno debljine maske. Cela pora je u obliku cevi nepravilnog oblika.
- Čestica može da se filtrira zbog prepreka, ili u praznim prostorima između vlakana, kada se ne izdvoji iz toka fluida na površinu prepreke, ili se izdvoji na površinu vlakana, koja imaju ulogu zida cevi.

Uzimajući u obzir pretpostavke o obliku pore, konstruisan je jednostavan numerički model da bi se prikazale različite mogućnosti filtracije. Oblik virusa je idealizovan. Upotrebljen je sferni kružni oblik. (Slika 15-6 do 15-8).

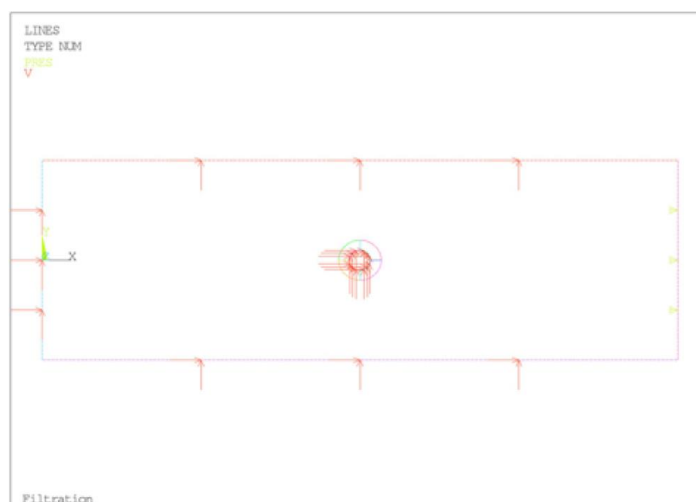
Koristili smo jednostavan 2D računarski program za izračunavanje dinamike fluida (CFD), odnosno simulacije, sa ciljem određivanja ponašanja virusa u nivou cevi kroz koju fluid teče - u našem slučaju vazduh. To je, naravno, aproksimacija stvarne situacije. Virus, predstavljen u obliku kruga, smešten je u pravougaonik koji predstavlja 2D model cevi (slike 15-6 do 15-8).

Gornji i donji zidovi su definisani kao zidovi po čijoj površini molekule vazduha ne mogu klizati. To znači da je brzina strujanja vazduha na površini vlakana, koja čine zid cevi, jednaka nuli. To takođe znači, da je hrapavost površine vlakana dovoljno velika da usporava kretanje molekula vazduha. Površina virusa je definisana, grubo uzeto, na isti način. Radijalna brzina fluida na površini virusa je takođe nula [pretpostavlja se da tečnost ne prodire (ulazi) u virus kroz njegovu površinu, a brzina fluida na granicama virusa je određena (dogovorena) tako da omogućava simulaciju rotacije virusa]. Početna (ulazna) brzina sa jednoličnim profilom određena je na ulazu u cev (leva granica cevi), a spoljni pritisak se uzima u obzir na izlazu [(desna granica cevi), slika 15-8]. Mi koristimo termin cev

za idealizovani oblik pore. Rezultati laminarnog modela dobijeni su pomoću našeg ciljanog rešenja (ANSIS-FLUENT), gde smo poredili i rezultate turbulentnog modela sa rezultatima laminarnog modela dobijenog sa 3D u ANSIS-CFKS. Rezultati rešenja u raznim modelima se vrlo dobro podudaraju pa smo nastavili sa 2D laminarnim modeliranjem u ANSIS-FLUENT .

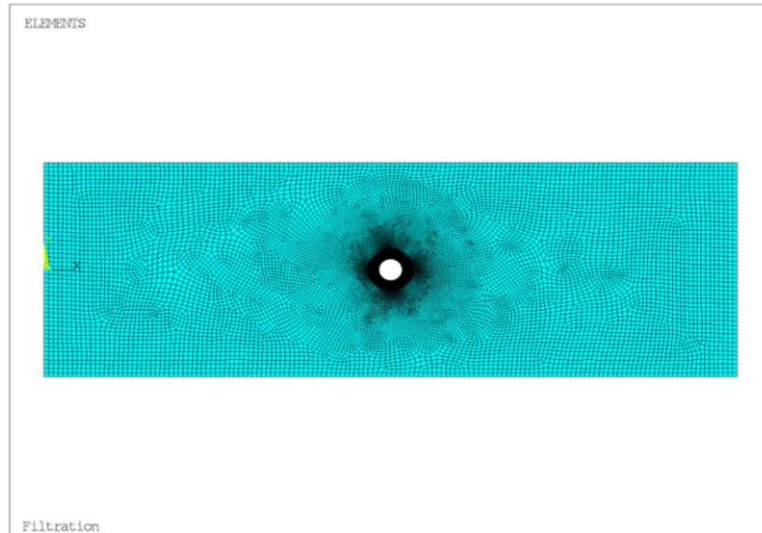
Svrha numeričkog modeliranja je dobijanje kvalitativne slike mehaničkog sistema kretanja čestice kroz medicinsku masku. Na osnovu toga je mreža modela relativno jednostavna, slika 15-8. Granični sloj na granicama cevi nije u fokusu ove analize pa je jednostavna mreža primenjena na celokupno područje. Okolina virusa je umrežena sa strukturisanom mrežom sa najmanjim elementima na površini virusa.

Prečnik cevi je $30\ \mu\text{m}$, što se istovremeno odnosi na maksimalni hidraulički prečnik pore. Dužina cevi je $120\ \mu\text{m}$, što je dovoljno da se formira profil laminarne brzine pre nego što virus napusti polovinu dužine cevi, slika 15-8. Profil laminarne brzine, jednačina (15.3), određen je približno na udaljenosti od jednog prečnika od ulaza do cevi.

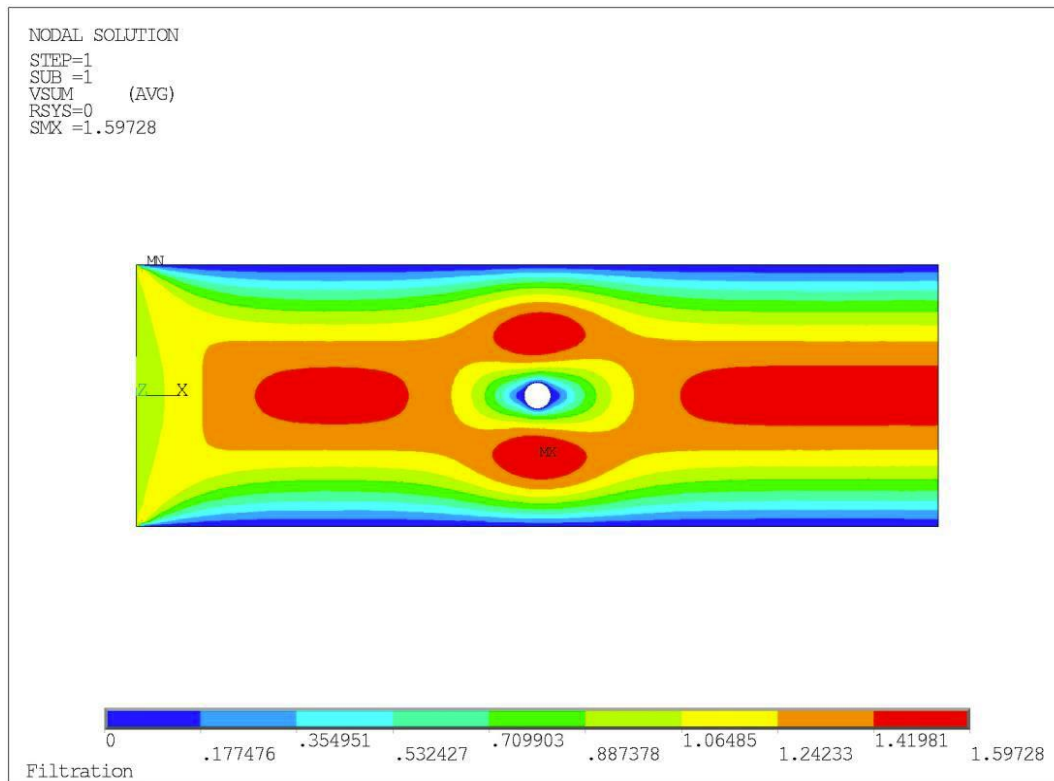


Slika 15-6: 2D model virusa u pori

Površina najvećeg virusa na toj slici povećana je 10 puta radi ilustracije.



Slika 15-7: CFD mreža. Površina najvećeg virusa je na toj slici povećana 10 puta radi ilustracije



Slika 15-8: Konture brzine. Površina najvećeg virusa je na toj slici povećana 10 puta radi ilustracije

$$v(r) = \frac{3}{2}v_o \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right) \quad (15.3)$$

gde znače:

- v_0 - početna brzina pred ulazom čestice u kanal;
- r - poluprečnik strujnice;
- R - poluprečnik cevi [8].

Maksimalna brzina je $v_m = 1,5 v_0$.

15.4.1. Uticaj kretanja fluida na kretanje čestice u aksijalnom pravcu

Veličina sile, kojom tok fluida deluje na stacionarni virus smešten u centru cevi, odnosno u središtu poprečnog preseka cevi ($r = 0 \mu\text{m}$) za različite početne brzine, može se izraziti kao funkcija maksimalne brzine fluida. Granični uslov na površini virusa predstavlja nulta brzina. Takođe, nema rotacije virusa. Ustanovljeno je da je sila F_a , koju prouzrokuje tok fluida, u linearnom odnosu sa maksimalnom brzinom fluida v_m .

$$F_a = C v_m \quad (15.4)$$

gde su:

- F_a - sila, koju stvara tok fluida;
- C - konstanta, koja zavisi od veličine virusa;
- v_m - maksimalna brzina fluida.

$C_{300} = 4,8 \cdot 10^{-12} \text{Ns/m}$ za maksimalnu veličinu virusa 300 nm, slika 15-8, i

$C_{10} = 32,5 \cdot 10^{-15} \text{Ns/m}$ za minimalnu veličinu virusa 10 nm. Očigledno je da je sila koja deluje na virus izuzetno mala, čak i kada virus miruje.

Ako virus ne miruje, brzina v_m u jednačini (15.4) predstavlja početnu razliku brzina između fluida i virusa. Za izračunavanje brzine virusa u aksijalnom pravcu koristi se drugi Njutnov zakon.

$$C(v_m - v) = m \frac{dv}{dt} \quad (15.5)$$

Ovdje se v odnosi na brzinu virusa, koji ima masu m . Masa virusa, koji ima maksimalnu veličinu je $m_{300} = 17,0 \cdot 10^{-18} \text{kg}$ i dobijena masa najmanjeg virusa je $m_{10} = 0,63 \cdot 10^{-21} \text{kg}$. Jednačinu (15.5) je moguće rešiti analitički i rezultat je prikazan na slici 15-10.

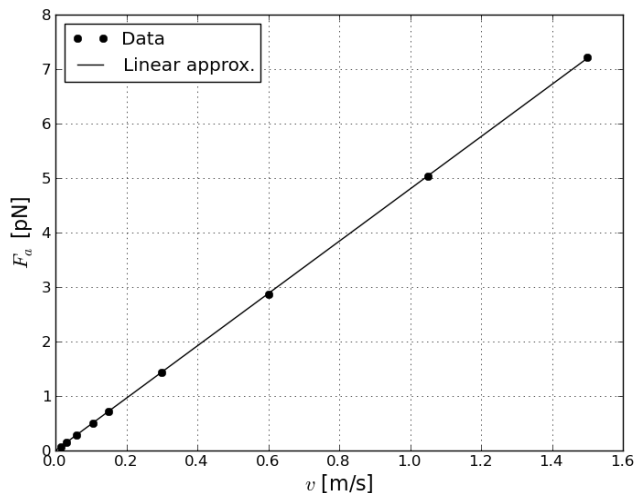
$$v(t) = v_m \left(1 - e^{-\frac{C}{m}t} \right) \quad (15.6)$$

Dalje, aksijalno kretanje virusa je moguće izračunati sa još jednim integrisanjem jednačine (15.6)

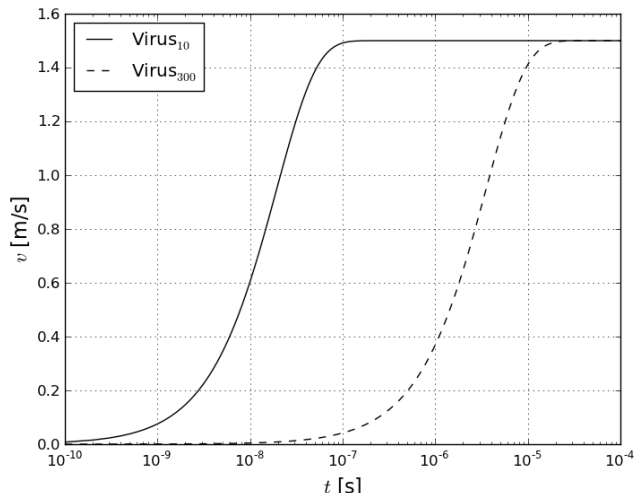
$$x(t) = v_m \left[t + \frac{m}{C} \left(e^{-\frac{C}{m}t} - 1 \right) \right] \quad (15.7)$$

Brzina manjeg, odnosno najmanjeg, virusa dostiže oko 99 % brzine toka fluida u vremenu $8,9 \cdot 10^{-8}$ s i 99,9 % u vremenu $1,3 \cdot 10^{-7}$ s. Kod velikog, odnosno najvećeg virusa je inercija veća pa tako i vreme.

Dostiže 99% brzine strujnice za $1,6 \cdot 10^{-7}$ s i 99,9 % za $2,4 \cdot 10^{-5}$ s.



Slika 15-10: Uticaj sila toka fluida na najveći virus



Slika 15-9: Brzina virusa u zavisnosti od vremena

Ako se virus kreće, brzina v_m u jednačini (15.4) predstavlja početnu razliku brzina između fluida i virusa. Drugi Njutnov zakon se koristi za izračunavanje brzine virusa u aksijalnom pravcu.

Ovdje se v odnosi na brzinu virusa, koji ima masu m . Masa virusa, koji ima maksimalnu veličinu $m_{300} = 17,0 \cdot 10^{-18}$ kg i dobijena masa najmanjeg virusa je $m_{10} = 0,63 \cdot 10^{-21}$ kg. Jednačinu (15.5) je moguće rešiti analitički i rezultat je prikazan na slici 15-10.

Već je rečeno da manji, odnosno najmanji virus dostiže oko 99% brzine toka fluida u vremenu $8,9 \cdot 10^{-8}$ s i 99,9 % u vremenu $1,3 \cdot 10^{-7}$ s. Kod velikog, odnosno najvećeg virusa je inercija veća pa tako i vreme. Dostiže 99 % brzine strujnice za $1,6 \cdot 10^{-7}$ s i 99,9 % za $2,4 \cdot 10^{-5}$ s.

15.4.2. Uticaj kretanja fluida na kretanje čestice u radijalnom pravcu

Može se dogoditi da je aksijalni pravac kretanja dominantan kada sila fluida deluje na apsolutno nepomični virus ili da se gotovo odmah javljaju i sile u radijalnom – okomitom pravcu na tok fluida. Analize, izvedene sa aksijalnom silom na stacionarni virus, ukazuju da sila deluje i u radijalnom smeru. Poslednje se ne dešava ako se virus nalazi u centru cevi, jer je delovanje toka simetrično. Ako je stacionarni virus postavljen izvan centra cevi, zbog raspodele pritisaka koju diktira profil brzine fluida u cevi, (jednačina (15.3), javlja se radijalna sila koja deluje prema centru cevi.

U tom trenutku se čini da filtracija u ravnom kanalu nije moguća, jer na stacionarni virus deluju sile u smeru centralne ose kanala. Pogledajmo na trenutak uticaj toka na virus u smislu tangencijalno usmerenih pritisaka na površini virusa, koji su posledica, kako profila brzine u cevi, tako i viskoznosti fluida, koja omogućava ograničene tangencijalne napetosti u fluidu. Može se zaključiti da je raspodela tangencijalnih pritisaka takva da virus počinje da se rotira. Ako se virus nalazi između centralne ose cevi i njenog gornjeg zida, virus rotira u smeru suprotnom od kazaljke na satu (negativan smer). Međutim, ako se nalazi na drugoj strani, počinje se rotirati u smeru kazaljke na satu (pozitivan smer),

slika 15-17. Rotacija virusa stvara drugačiju raspodelu pritisaka u normalnom smeru na zid virusa, koji je svojom rezultantom usmeren dalje od centralne ose cevi.

Dakle, imamo dva mehanizma koji stvaraju sile u radijalnom smeru:

- Kruženje tečnosti oko virusa stvara radijalnu silu koja je usmerena u sredinu cevi;
- Isti mehanizam takođe stvara tangencijalne sile na periferiji virusa, koje ga počinju rotirati;
- Rotacija stvara raspodelu pritiska u normalnom smeru na obod virusa, gurajući virus dalje od centra cevi – Magnusov efekat

Na početku kretanja virusa, kada rotacije još nema, ili je veoma spora, dominira prvi mehanizam. Rotaciona inercija virusa (masni inercijski moment) relativno je mala i brzina rotacije se naglo povećava. Tada preovladava drugi mehanizam, koji virus šalje do zida cevi. Mehanizam je grafički prikazan na slici 15-17.

Pošto se ova pojava u maski prilično razlikuje od pojave Mangusovog efekta, na primer, u igri sa loptom, gde je rotacija lopte egzogena pojava, taj efekat smo nazvali Jakšićevim efektom, jer je ta rotacija endogena pojava. Model pokazuje ovaj efekat na takav način da je filtracija moguća čak i kada je kanal potpuno ravan. Izuzetak su čestice koje se kreću direktno duž centralne ose kanala, kao što je gore pomenuto.

Pogledajmo detaljnije princip filtriranja sa Jakšićevim efektom. Imamo na umu da se virus nalazi iznad srednje linije cevi. U početku je obrtni moment negativan i potpuno konstantan. Momenat se povećava kako se povećava ugaona (obodna) brzina virusa. Očigledno je da nije moguće dobiti pozitivnu vrednost obrtnog momenta pri velikim vrednostima ugaone brzine. To je posledica jednostavne činjenice da momenat koji prouzrokuje rotaciju virusa izaziva i promenu predznaka momenta prilikom smanjenja rotacije virusa. Nulta tačka momenta je tačka dinamičke ravnoteže. Pretpostavka je, dakle, da će se virus rotirati stalnom ugaonom brzinom, čija je vrednost definisana nultim momentom. Momenat je aproksimiran sa polinomnom jednačinom drugog reda, jednačina (15.8), kao što je prikazano na slici 15-11.

$$M(\omega) = a\omega^2 + b\omega + c \quad (15.8)$$

U jednačini (15.8) parametri znače:

- M - momenat, koga stvara tok fluida, koji deluje na virus;
- ω - ugaona brzina virusa;
- a, b, c - parametri aproksimacije, slika 15-11.

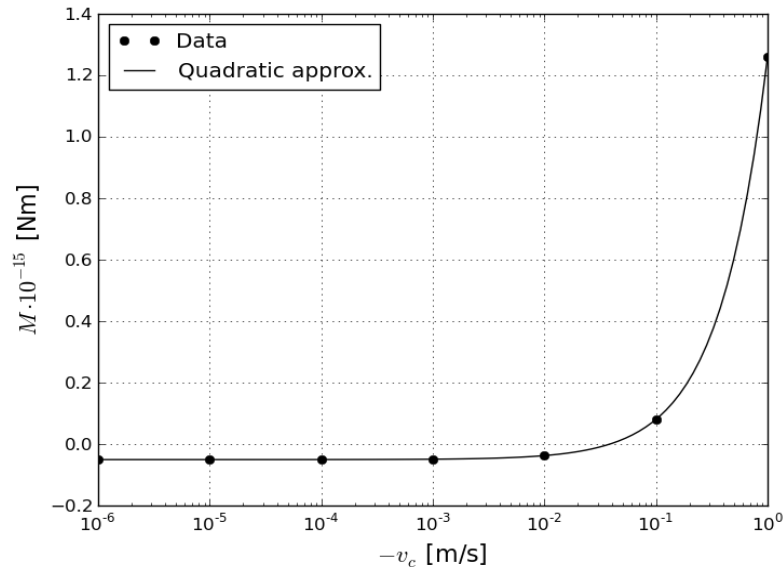
Za generisanje jednačine kretanja rotacije virusa korišten je drugi Njutnov zakon za rotaciju čvrstog tela.

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M(\omega)}{J} = A\omega^2 + B\omega + C \quad (15.9)$$

U jednačini 15.9, parametri označavaju:

- J - momenat inercije najvećeg virusa;
- A , B i C - parametri aproksimacije podeljeni sa J .

Momenat inercije J najvećeg virusa je $1,53 \cdot 10^{-31}$ kg.m², a najmanjeg virusa $6,9 \cdot 10^{-39}$ kg.m². Jednačina (15.9) može se rešiti analitički.



Slika 15-11: Opis uticaja toka fluida na moment velikog virusa, kao funkcija rotacije istog

$$\omega(t) = \frac{D}{2A} \operatorname{Tanh} \left[\operatorname{ArcTan} H \left(\frac{B}{D} \right) - t \frac{D}{2} \right] - \frac{B}{2A} \quad (15.10)$$

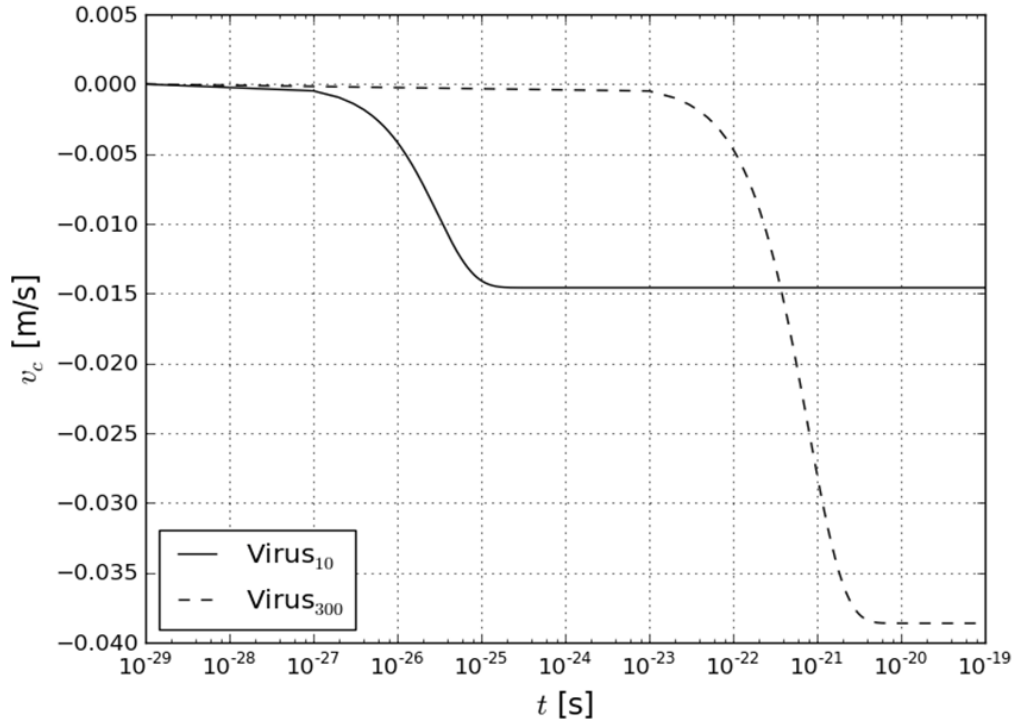
U jednačini (15.10) parametri označavaju:

- t - vreme posmatranja;
- A, B, C - parametri aproksimacije deljeni sa J .
- D je definisan sledećom jednačinom:

$$D = \sqrt{B^2 - 4AC} \quad (15.10a)$$

Konačna ugaona brzina virusa se dostiže u graničnom slučaju kada $t \rightarrow \infty$.

$$\omega_{\max} = \frac{-D - B}{2A} \quad (15.11)$$



Slika 15-12: Obodna brzina virusa kao funkcija vremena

Konačna obodna brzina je izračunata kao $v_{c\max} = \omega_{\max}R$, gde je R poluprečnik virusa. Vrednost krajnje (maksimalne) obodne brzine za veći virus je $v_{c\max} = 0,0386$ m/s, a za manji virus $0,0146$ m/s, što je oko 4 % za veći i 1,5 % za manji virus brzine vazduha pri ulazu u kanal. Veoma je bitno to da se virus počne vrteti konačnom ugaonom brzinom u veoma kratkom vremenu, gotovo trenutno, vidi sliku 15-12.

Radijalna sila je izračunata i aproksimirana na sličan način kao i momenat, vidi slike 15-13 i 15-14. U kombinaciji sa ugaonom brzinom, radijalna sila se može prikazati kao funkcija vremena, slika 15-16. Sila postaje konstantna kada virus dostigne krajnju ugaonu brzinu. Ponavljali smo analize za različite početne položaje virusa, slike 15-13 i 15-14, gde su prikazane tačke rezultata analize i njihova kvadratna aproksimacija, jednačine (15.12).

$$F(y) = ay^2 + ay + c \quad (15.12)$$

Parametri u jednačini (15.12) označavaju:

- F - radijalna sila na virusu,
- y - pomak virusa u radijalnom smeru i
- a, b in c - parametri aproksimacije. Ovi podaci su uzeti za izračun kinematike virusa u radijalnom smeru.

Ponovo smo primenili drugi Njutnov zakon.

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{F(y)}{m} Ay^2 = Ay^2 + By + C \quad (15.13)$$

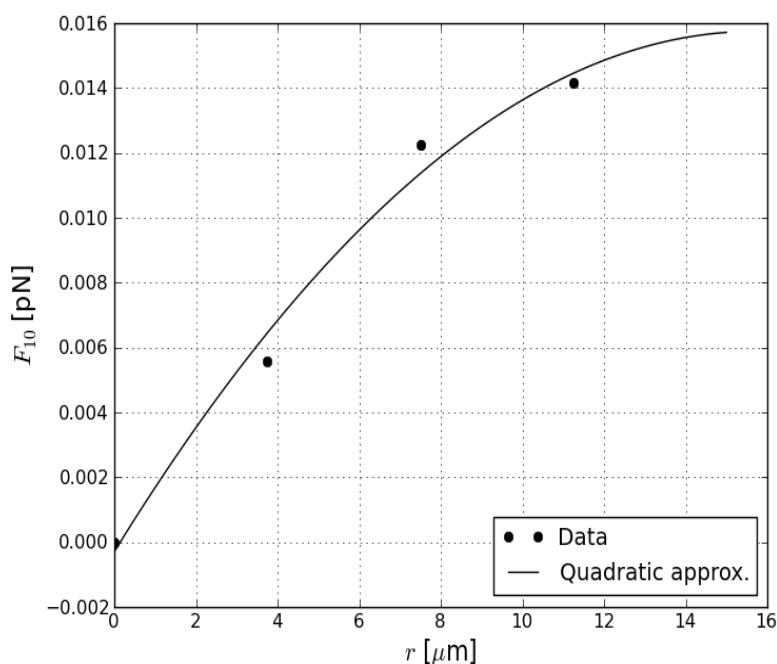
gde parametri u jednačini (15.13) znače:

- m - masa virusa;
- A , B i C - parametri aproksimacije deljeni sa masom m .

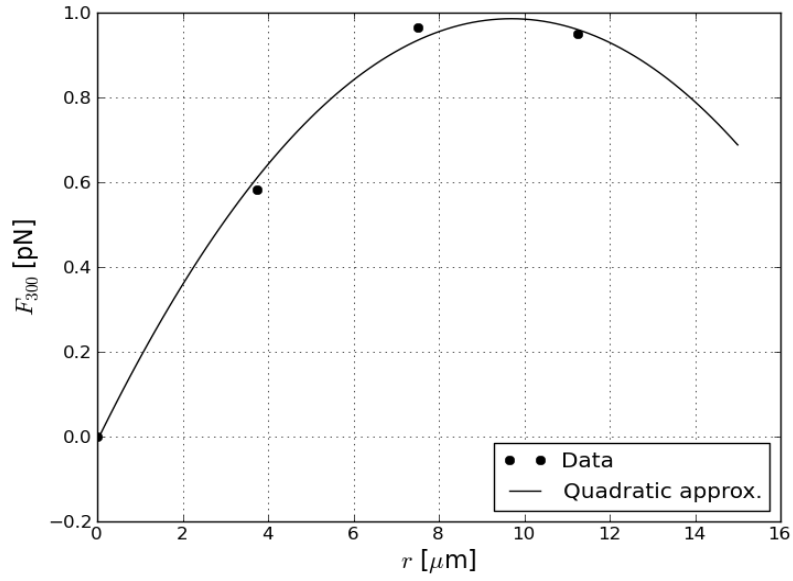
Jednačinu je moguće rešiti analitički. Numerički integral diferencijalne jednačine prikazujemo na slici 15-15.

Na slici 15-15 jasno se vidi kako se menja uticaj mehanizama stvaranja radijalne sile u zavisnosti od vremena odnosno, implicitno, od brzine rotacije virusa. U početku dominira prvi mehanizam, koji gura virus prema centru cevi sa relativno niskom ugaonom brzinom rotacije virusa. Amplituda radijalne sile je relativno mala u odnosu na onu koja se ustali nakon promene predznaka. Tada dominantnu ulogu ima drugi mehanizam koji gura virus prema zidu cevi zbog velike ugaone brzine virusa.

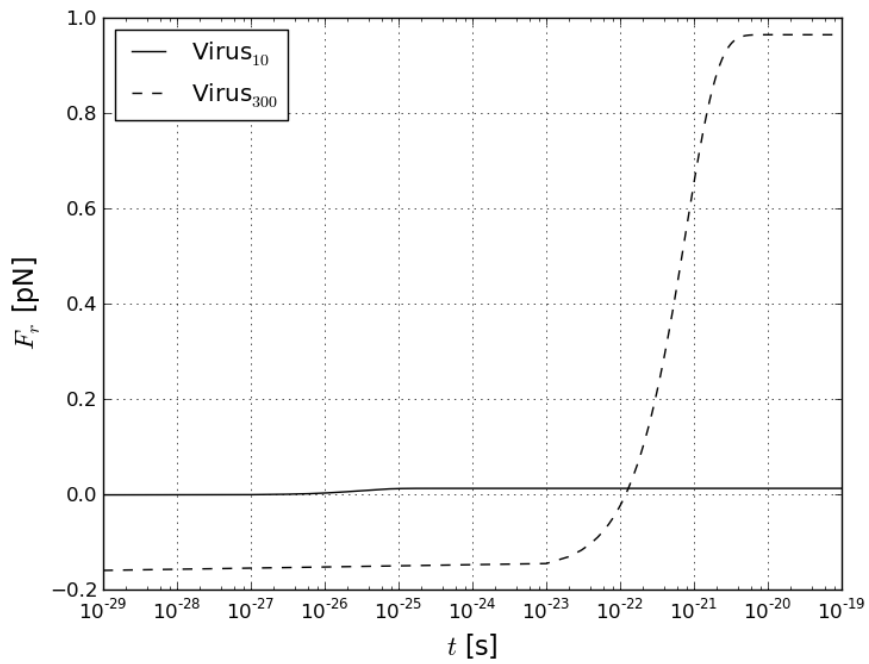
Veoma je zanimljivo poređenje slike 15-10 sa slikom 15-16. Za veći virus možemo zaključiti da je uhvaćen (filtriran) u zid kanala za $5,1 \cdot 10^{-7}$ s, a za manji virus vreme filtracije je oko $2,7 \cdot 10^{-8}$ s. Aksijalna brzina većeg virusa u trenutku hvatanja za zid kanala iznosi samo 0,15 m/s, što je samo 10 % njegove maksimalne aksijalne brzine, a njegov put u aksijalnom smeru je oko $4,0 \cdot 10^{-8}$ m, što je tri veličinske klase manje od dužine putanje u radijalnom smeru. Dijagram je malo drugačiji za manji virus.



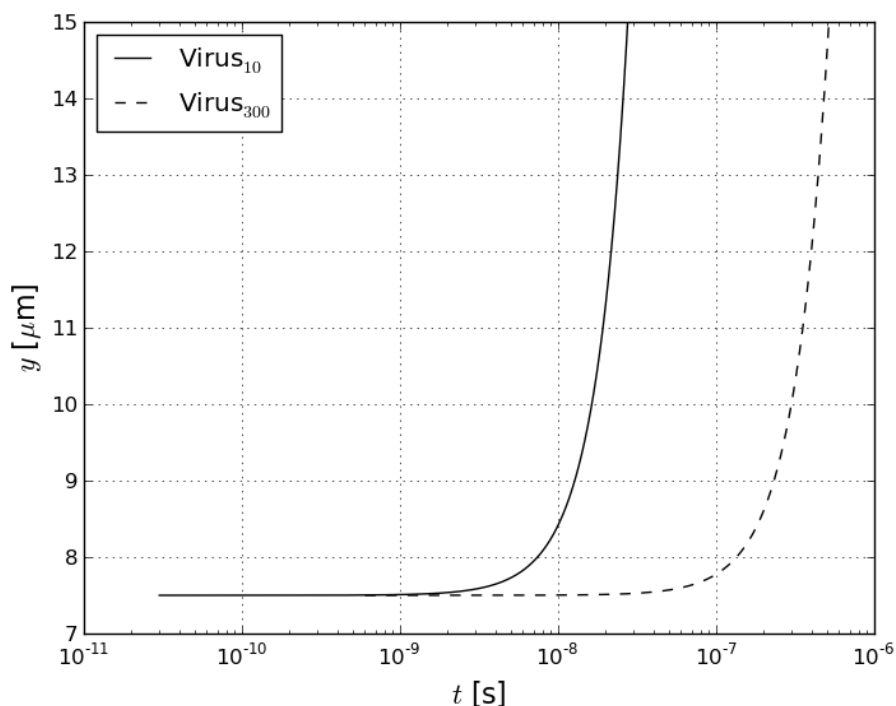
Slika 15-13: Radijalna sila, koja prati pozicije virusa od centralne linije kanala naviše za mali virus



Slika 15-14: Radijalna sila kod pozicija virusa od centralne linije kanala naviše za veliki virus



Slika 15-15: Radijalna sila kao funkcija vremena



Slika 15-16: Radijalna putanja virusa

On dostiže 0,85 m/s, što je oko 57 % aksijalne brzine, i pomakne se oko $1,4 \cdot 10^{-8}$ m u aksijalnom pravcu, što je opet tri veličinske klase manje nego u radijalnom smeru. Iz navedenog proizlazi, da se virus filtrira veoma brzo.

Ovde predstavljeni mehanizam filtracije je zasnovan na protoku fluida, koji izaziva rotaciju okruglog predmeta. Ovaj mehanizam je povezan sa Magnusovim efektom. Takođe se primenjuje u slučaju zakrivljenog kanala ili cevi, ali za laminarni protok fluida. Ovo stanje (ili mehanizam) omogućava efikasan način filtriranja virusa i mikroba.

15.5. Rasprava o mehanizmu filtracije u medicinskim maskama

15.5.1. Rezime filtracije u medicinskim maskama

Ovde prikazana teorija filtriranja pretpostavlja da vazduh, koji struji kroz medicinsku masku, zapravo teče kroz cevi. Ovu pretpostavku potkrepljuju teorijska i eksperimentalna saznanja na osnovu upotrebe *Jakšićeve metode za određivanje broja, veličine i rasporeda pora u ravnim tekstilijama*. (Glava 8) Laminarni tok fluida kroz cev ima paraboličan oblik raspodele brzine. Profil brzine omogućava automatsko izazivanje rotacija okruglih ili približno okruglih čestica. Rotacija čestice počinje odmah kada ona uđe u cev i uspostavi se parabolični profil brzine fluida. Samoindukovana rotacija čestice (taj fenomen smo nazvali „Jakšićev efekat“) omogućava proces filtriranja kao što je dole navedeno.

Teorija filtriranja je proverena numeričkim eksperimentom i posmatranjem filtracije čestica iz otpadnih gasova u industriji. U poslednjem slučaju, pored elektrostatičkih filtera, kao filterski mediji se takođe koriste iglane vlaknovine, prvenstveno u obliku vreća. Iglanje se koristi zbog međusobnog povezivanje vlakana u vlaknovini. Na mestu gde je igla probila vlaknovinu i potom bila izvučena,

stvara se rupa, odnosno ravna cev, prečnika do 2 mm. Mehanizam filtracije se u tom slučaju može prikazati u sledećim navodima.

- Čestica, koja se nalazi na centralnoj liniji cevi ostaje na njoj dok se ne sudari sa drugom česticom, što je malo verovatno, ili dok cev ne promeni pravac.
- Kada čestica dođe na površinu vlakna, koje čini zid kanala, ili ako napusti tok fluida i uđe u prazan prostor između vlakana, njena kinetička energija je premala da bi se vratila u tok fluida.
- Čestica, čija brzina zaostaje za brzinom toka fluida, ne podleže Braunovom kretanju.
- Mala čestica, koja se nalazi u praznom prostoru između vlakana, podleže Braunovom kretanju i filtrira se u procesu difuzije, na površinu vlakna, koja je granični zid praznog prostora.
- Okrugle ili približno okrugle čestice se počinjaju rotirati, ako se ne nalaze na centralnoj osi cevi.
- Rotacija čestice je uzrokovana raspodelom brzine fluida i, posledično, pritiska na površinu čestice; u isto vreme to je sve posledica parabolične brzine toka fluida u kanalu. Čestica zapravo postiže konstantnu vrednost ugaone brzine u vrlo kratkom vremenu, što uzrokuje radijalnu silu, koja će česticu povući prema zidu kanala (Magnusov efekat). Glavna razlika između normalnog dejstva Magnusovog efekta i ovog, izazvanog rotacijom virusa, jeste u endogenom izvoru (samoindukcija - Jakšićev efekat), a ne u eksogenom uzroku.

Kod filtraciju u medicinskoj maski možemo dodati:

- Zapremina praznih prostora i kanala je zajednički prostor tokom udisaja i izdisaja, zbog čega virusi mogu da nesmetano prolaze iz praznog prostora u cev i obrnuto.
- Virus, koji se ne filtriraju tokom udisanja ili su migrirali iz praznih prostora u cevi tokom perioda mirovanja, koji traje između udisaja i izdisaja, sledit će isti put tokom izdisaja kao i kod udisaja, samo u suprotnom pravcu.
- Protok vazduha kroz cev se bar delimično ubrzava i usporava disanjem subjekta ili korisnika maske. To zauzvrat uzrokuje pojavu sila, koje utiču na virus.
- Konfiguracija cevi u vlaknovini je veoma složena. Mnogo puta se menjaju smer i prečnik sledeće. Tačna geometrija cevi nije poznata, izuzev najmanjeg hidrauličnog prečnika, koji se određuje *Jakšićevom metodom za određivanje broja, veličine i rasporeda pora u ravnim tekstilijama*.
- Ako virus ima cilindrični oblik, on uglavnom ne rotira ili se okreće samo oko svoje ose, što je dovoljno za filtraciju. Međutim, ako je virus nepravilnog oblika, verovatnoća da će stići do zida cevi pomoću Jakšićevog efekta je mala. To otežava filtriranje ovog virusa u cevi. Prečnik kanala je mnogo veći od prečnika virusa. Inercija virusa takođe igra ulogu u njegovoj filtraciji u filtrirajućem medijumu (maski).

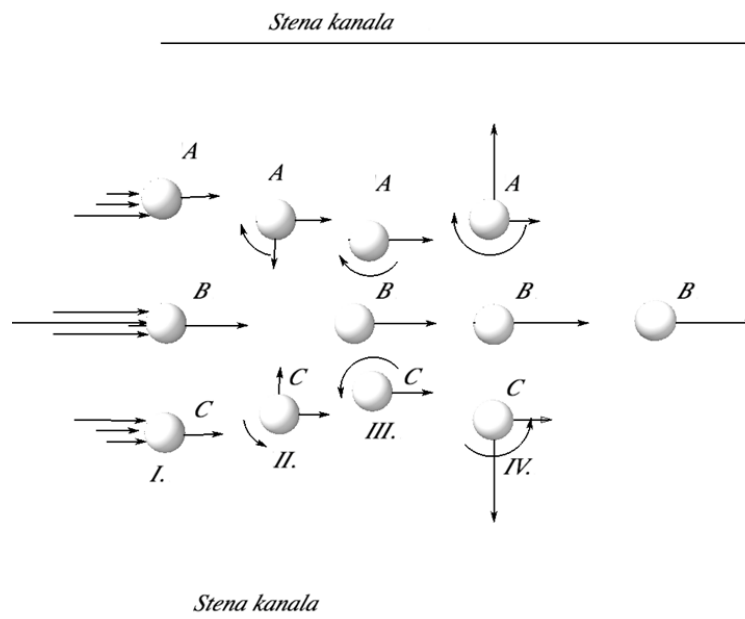
Prikazana analiza ograničena je na ispruženu cev i na idealno sferni virus. Ustanovili smo da je dužina kanala dovoljna da podrži stacionarni laminarni tok. Postoji priličan broj parametara koji utiču na kompleksni proces filtracije. Neke od njih je teško proceniti, a neki nisu uzeti u obzir, da bi se mogao prikazati osnovni mehanizam filtracije sfernih i približno sfernih čestica u medicinskoj maski. Zanimljivi parametri koji dodatno utiču na proces filtracije su:

- koncentracija čestica;
- međusobna interakcija čestica;

- raspored veličine čestica;
- različiti geometrijski oblici čestica;
- različite debljine i kvalitet vlakana gornjeg i donjeg sloja maske u odnosu na srednji filtracijski sloj;
- debljina vlakana;
- poprečni presek vlakana;
- maksimalni hidraulični promer pora i raspodela pora, dimenzije šupljina i
- mehanizam disanja kao funkcija stanja subjekta.

Na slici 15-17 prikazana su događaji na početku cevi i u samoj cevi. Fluid ima pravac kretanja sa leva na desno. Na početku cevi je samo simbolično prikazana brzina fluida sa dužinom strelica na svakom virusu.

- I. Tri okrugle čestice nalaze se na ulazu u cev (poru). Ovde se vidi smer i brzina, odnosno profil toka fluida. Maksimalna brzina se nalazi na ekvatoru čestice B (centar cevi). Raspodela brzine u kanalu je parabolična. Kada se radijalno krećemo od središta cevi prema njenim zidovima, brzina fluida opada. Ova brzina je nula na površini zida cevi.
- II. Parabolični profil raspodele brzina fluida po preseku cevi ima trojni uticaj na česticu koja se nalazi izvan centralne linije cevi.
 1. Fluid, normalnim pritiscima, na obodu čestice stvara aksijalnu silu, koja gura česticu u pravcu toka fluida. Ovde oblik profila brzine ne utiče na usmerenost aksijalne sile, već samo na njenu veličinu. Što je čestica bliža rubu cevi, brzina je manja.
 2. Zbog paraboličnog kretanja fluida, tangencijalni pritisci na površini čestice se raspodeljuju tako da pokrenu rotaciju čestica. Ona preuređuje raspodelu normalnih pritisaka tako da radijalna sila bude usmerena prema zidu cevi. Kako se rotacijska brzina čestice povećava, povećava se i radijalna sila u pravcu stenke cevi.
 3. Parabolični profil brzine fluida takođe izaziva raspodelu normalnih pritisaka na obodu okrugle čestice, što rezultira aksijalnom silom koja česticu gura prema sredini cevi.



Slika 15-17: Ilustracija virusa u strujnici vazduha, koji se kreće kroz kanal

Uticaji 2 i 3 se nadmeću za prevlast. Pošto je profil brzine konstantan, mehanizam 3 uvek stvara približno istu silu. Međutim, mehanizam 2 je promenljiv, ugaona brzina čestice se povećava, a samim tim se povećava i radijalna sila, koja po veličini brzo prevazilazi aksijalnu silu mehanizma 3 i usmerava česticu prema zidu cevi. Stoga, kako se brzina rotacije povećava, veličina radijalne sile, usmerene ka centru cevi opada, do tačke u kojoj dostiže nulu (položaj III). Sve se to dešava u veoma kratkom vremenu.

III. Dovde deluje radijalna sila u pravcu centra cevi. To je vidljivo iz položaja čestice A u položaju III u poređenju sa položajima čestice A u položaju I i II. U položaju III čestica je bliža centru kanala nego u položaju I i II. Čestica i dalje sve brže rotira i pravac radijalne sile se okreće ka zidu cevi. U položaju III imamo rotaciju čestice i nultu radijalnu silu.

IV. Zbog sve veće rotacije čestice, radijalna sila, koja je posledica raspodele pritisaka na obodu čestice, sada gura sledeću ka zidu cevi. Ugaona brzina čestice raste do krajnje vrednosti. Isto je i sa radijalnom silom, koja je sada usmerena u pravcu zida cevi.

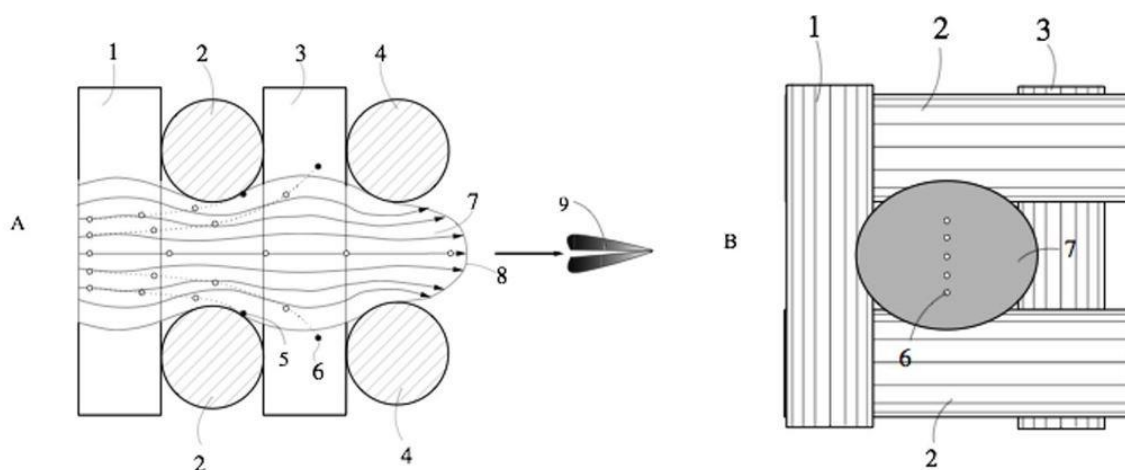
Proces filtracije tokom udisanja i izdisanja prikazan je na slikama 15-18 i 15-20, gde oznake znače: A - poprečni presek, B - pogled duž kanala, 1, 2, 3, 4 - vlakna, 5 - čestica, koja je bila zarobljena na površini vlakana, 6 – čestica, koja je bila gurnuta u šupljinu, 7 - silnice fluida, 8 - profil brzine toka fluida, 9 - usta korisnika maske.

Filtracija u postupku udisanja je prikazana na slici 15-19. Ovde je pet čestica, koje su prikazane na ulazu u kanal. Jedna od njih se nalazi u sredini cevi (početni položaj). Ovaj virus se najbrže kreću u aksijalnom pravcu, zbog oblika profila brzine toka fluida. Drugi virusi se kreću i u aksijalnom smeru, ali pre svega u radijalnom smeru, zbog Jakšičevog efekta. To se vidi na drugoj poziciji, koja predstavlja drugi uvid. U trećem položaju virusi su veoma udaljeni od centra cevi. Virus, koji se u početnoj fazi nalazio na centralnoj osi cevi, i dalje ostaje na njoj, ali znatno napred. Ostali virusi kreću se aksijalno, a takođe i radijalno prema zidu kanala. Virusi, koji su u početnoj fazi bili najudaljeniji

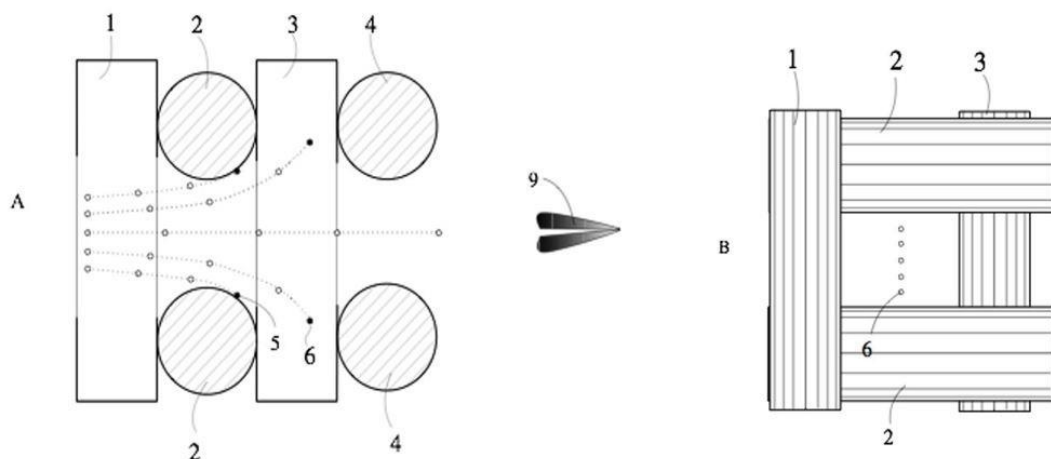
od ose cevi, filtrirani su na zidu kanala. U petoj poziciji, koja na slici 15-18 nije označena, nalazi se samo čestica *B*, koja je locirana na centralnoj osi kanala i ne rotira. Čestice (virusi) *A* i *C* su “prilepljeni“ na stenu kanala ili su izbačeni iz tokovnice u prazne prostore među vlaknima gde vazduh miruje. To znači, da su virusi *A* i *C* filtrirani. Virus *B*, koji je lociran na centralnoj osi cevi, i dalje se nalazi u njoj, i korisnik maske će ga svakog trenutka udahnuti u pluća. To znači da tu nema čestica većih od 10 μm , koje su napustile tok fluida i mogle da se filtriraju tokom difuzijskog procesa. Ovdje se, očigledno, ne koristi difuzijski postupak.

Kao što smo već u diskusiji rekli, čestica *B* se može i mora filtrirati. Inače, medicinska maska koja ne filtrira sve viruse i mikrobe nije upotrebljiva. Ako pogledamo sliku 15-3 (srednji sloj medicinske maske, koji je izrađen iz mikro vlakana, koji imaju srednji prečnik 2 μm , u njemu je položaj vlakana haotičan). Taj sloj ima 37 podslojeva (vidi tabelu 15-1) i kanal može menjati smer 18 puta. Na svakoj od tih serpentina, centrifugalna sila može izbaciti virus *B* iz tokovnice. Inače je debljina srednje sloja maske samo 74 μm .

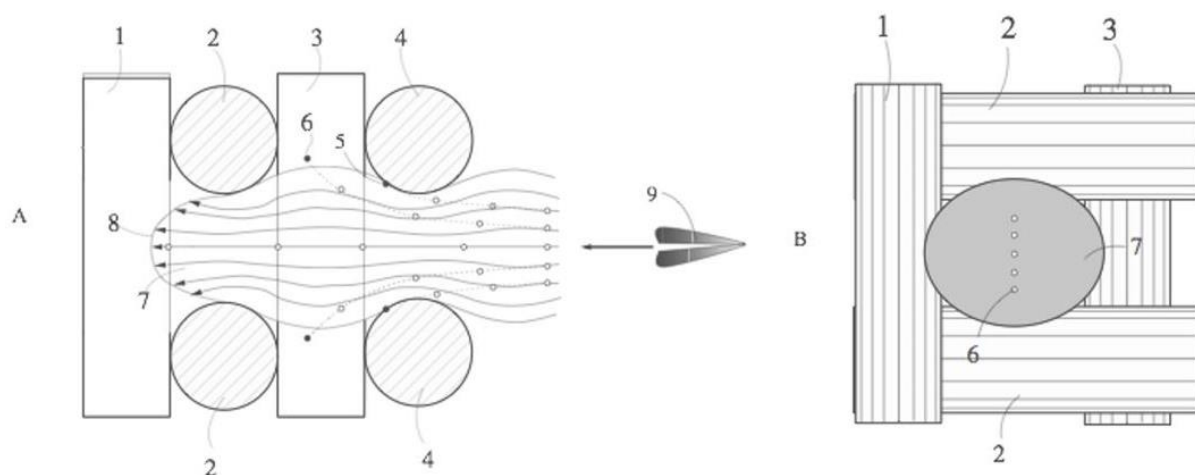
Mirovanje vazduha između udisaja i izdisaja (nema protoka fluida u cevi) prikazano je na slici 15-19. Pošto nema protoka fluida u kanalu, stanje u kanalu i šupljinama je isto. S obzirom na to da između njih nema previše prepreka, moguće je da male čestice tokom procesa difuzije pređu iz kanala u šupljine i obrnuto. Filtracija je moguća uz pomoć Braunovog kretanja.



Slika 15-18: Udisanje - ilustracija kretanja malih čestica, koje podležu Braunovom kretanju u mirnom vazduhu



Slika 15-20: Stanje između udisanja i izdisanja, kada u kanalima vazduh miruje



Slika 15-19: Izdisaj - ilustrovano je kretanje malih čestica

Na slici 15-20 je kretanje čestica slično kao na slici 15-18. Razlika je u tome što se tok fluida sa česticama kreće u suprotnom pravcu.

15.5.2. Rezime o mehanizmu filtracije u medicinskim maskama

Novi pogled na problem filtracije omogućen je razvojem i upotrebom „Jakšičeve metode za određivanje broja, veličine i raspodele pora u ravnim tekstilijama“. Cevi (kanali) prelaze sa jedne površine ravne tekstilije na drugu. Vrednosti poprečnog preseka cevi su definisane raspodelom hidrauličnih promera pora. Dokazali smo da je protok zraka kroz pore laminaran i da je problem veličine u domenu mehanike kontinuiteta.

Laminarni protok vazduha kroz cev formira poseban profil brzine toka fluida, koji uzrokuje pojavu rotacije sferičnog virusa. Za razliku od Magnusovog efekta, koji se javlja usled spoljnog uticaja i koji uzrokuje rotaciju, na primer, kod igre sa loptom. Kod medicinske maske tu ulogu preuzima oblik profila toka fluida, kao unutrašnji faktor procesa. Virus ima pasivnu ulogu. Tok fluida igra aktivnu ulogu. On uzrokuje rotaciju virusa. Profil toka fluida ima maksimalnu brzinu na centralnoj osi kanala i nultu brzinu na zidu kanala. Zbog rotacije virusa u smeru kazaljke na satu, virus odnosi vazduh u gornju hemisferu, a istovremeno usporava kretanje vazduha u donjoj hemisferi gornjeg virusa. Zbog

toga se smanjuje aksijalna sila koja deluje u pravcu ose cevi. Ovaj proces traje čitavo vreme toka fluida.

Pre ili kasnije mehanizam regeneracije radijalne sile usled rotacije virusa, koji je usmeren ka zidu cevi, nadjača mehanizam regeneracije aksijalne sile, zbog oblika profila toka fluida, koji je usmeren ka osi cevi. Tako se pojavi rezultanta radijalne sile, koja deluje u pravcu zida kanala. Ova promena se dešava u veoma kratkom vremenu. Virus se filtrira na površinu jednog vlakna, koja je deo površine cevi ili upadne u prazan prostor (šupljinu) između vlakana, koja se nalaze izvan cevi. Pozicija III (slika 15-18) pokazuje promenu smera kretanja virusa, koji se odatle dalje kreće prema zidu kanala. Ovu specifičnu pojavu kretanja čestica nazvali smo „Jakšićev efekat“.

Numerička istraživanja uz korišćenje računanja aproksimacija dinamike toka fluida i klasične Njutnove mehanike, pokazuju da je „Jakšićev efekat“ fenomen koji se brzo pojavljuje i da je zbog toga efikasan mehanizam za filtriranje sferičnih ili približno sferičnih virusa čak i u pravim kanalima, osim virusa koji su na osi cevi.

Postoje i neka pitanja, koja su namerno zanemarena u ovoj teoriji, s tim što smo uspeli da pokažemo osnovni mehanizam filtracije, koji se značajno razlikuje od klasične teorije filtracije na jednom vlaknu. Pitanja su, naravno, važna za razumevanje celokupnog fenomena filtracije. Ne dajemo odgovor na dole navedena pitanja, samo želimo da podignemo svest o složenosti područja.

- Šta se događa u slabo oblikovanim zidovima kanala, koje čine delovi dužine vlakana?
- Šta se događa u šupljinama između vlakana izvan kanala?
- Kako se čestice izdvajaju iz toka fluida u šupljine?
- Koliki deo čestica se izluči u šupljinama?
- Kako međusobni uticaj čestica utiče na proces filtracije?

15.5.3. Rezime filtriranja prašine u cementarama

Slika 15-21 odnosi se na filtraciju prašine u Cementari „Trbovlje“ oko 1980. i pruža indirektni dokaz o ispravnosti ovde opisane teorije filtracije virusa u medicinskoj maski.



Slika 15-21: Filtracija u Cementari Trbovlje kroz vreće, koje su izrađene od iglane vlakovnine: 1 - rupa u vlaknovini, koja je posledica iglanja, pre upotrebe, 2 - stanje pre izduvavanja filtrirane prašine, 3 - izgled rupe nakon izduvavanja

Pozicija 1 predstavlja kanal na novoj filtracijskoj vreći. Nema nijedne čestice prašine u kanalu. U filterskoj komori je vreća montirana na posebnom okviru. U okvir je montirana izduvna mlaznica. U filterskoj komori se nalazi veliki broj vreća. Vreća je izrađena od vlaknovine, stabilizovane vlaknima, koja su igle postavile okomito prema unutrašnjoj i prema spoljnoj površini vlaknovine. Rupe u vlaknovini nastaju usled dejstva igala. Igla je široka oko 2 mm, debela oko 0,5 mm i dugačka nekoliko centimetara.

Rupa je idealizovana (položaj 1). U stvari, nije idealno okrugla. Daleko od toga. Međutim, maksimalna širina rupe je oko 2 mm, ako ne i malo veća. Kada igla prođe kroz vlaknovinu, ona ostavlja iza sebe ravan kanal.

Koncentracija čestica u vazduhu je relativno visoka. Zbog toga može doći do sudara čestica u kanalu. Čestica, koja se kreće duž centralne ose kanala, brže se kreće od čestica izloženih u "Jakšićevom efektu." Zbog sudara sa drugom česticom, čestica se može odbaciti od centralne linije kanala. Bez obzira na to, situacija prikazana u položaju 2 je realna. Prašina se počinje izlučivati na zidovima kanala, a kasnije i na zidovima koje formiraju filtrirane čestice. Centralna osa kanala je i dalje otvorena i nešto prostora oko nje.

Pozicija 2 pokazuje prilično začepljenu rupu. Ipak, još uvek postoji prostor u sredini rupe, koji nije začepljen prašinom. Ova pozicija je dokaz da je čestice, koje su se nalazile na centralnoj osi rupe ili vrlo blizu nje same, vazdušni mlaz odneo sa sobom u okolinu. Zbog toga je efekat filtracije samo oko 90 %.

Zbog taloženja prašine na zidove kanala, smanjuje se propusnost vazduha vreća. Na slici 15-21 je pretpostavljeno da je vlaknovina dovoljno začepljena i da se mora koristiti protivpritisak koji izduvava prašinu iz vreća.

Treća pozicija prikazuje situaciju nakon što je prašina izduvana iz vlaknovine. Na ovoj poziciji je prikazano da je nešto prašine, koja se izdvojila iz vazdušnog mlaza direktno na površinu kanala (otvora), još uvek ostalo u kanalu nakon izduvavanja. Sva prašina se ne može izduvati, jer se nešto nalazi u šupljinama, a nešto i na površinama vlakana, koja čine zid kanala. Ovde moramo uzeti u obzir činjenicu da je brzina strujanja vazduha u centralnoj osi kanala zaista velika. Ta se brzina polako smanjuje, dostižući nivo koji nije dovoljan za dalju efikasnu filtraciju. Zbog toga se koristi suprotni vazdušni pritisak koji uspešno izduvava prašinu sa površina vreća. Ovaj pritisak iznosi oko 4 bara.

Posmatrajući sliku 15-21, može se primetiti da se čestice koje nisu na osi kanala pretežno kreću prema zidu kanala, što takođe znači da te čestice rotiraju. Čestice prašine su mnogo veće od virusa. Štaviše, njihov geometrijski oblik je sasvim slučajan. Nema razloga da čestice imaju pravilan sferni oblik. Iz ovoga se može zaključiti da je većina čestica, koje su odmaknute od centralne linije kanala, izložena rotaciji bez obzira na njihov geometrijski oblik. To znači da su i u ovom slučaju ispunjeni uslovi za aktiviranje „Jakšićevog efekta,” koji izaziva rotaciju čestica bez obzira na njihov geometrijski oblik. Ovo saznanje je sa praktičnog stanovišta veoma važno.

Literatura

1. Brown R. 1993: Air filtration: an integrated approach to the theory and applications of fibrous filters. Oxford; New York, Pergamon Press: 272 str.
2. Hutten I. M. 2007: Handbook of nonwoven filter media, Oxford, Elsevier Ltd.: 473 str.
3. Jakšić D. & Jakšić N. 2007. Assessment of porosity of flat textile fabrics. *Textile Research Journal* 77(2): 105–110.
4. Jakšić N., Jakšić D. 2012. Novel theoretical approach to the filtration of nano particles through non-woven fabrics. V: Dobnik-Dubrovski P. (ur.). *Woven fabric engineering*. Rijeka, InTech: 255–272.
5. Sharma A. 2000. Penetration, pressure drop, and wicking characteristics of NIOSH Certified P-100 and P-95 Filters under heavy DOP holding. Master's thesis. College of Engineering and Mineral Resources at West Virginia University.
6. Zuurbier M., Hoek G., van den Hazel P., Brunekreef B. 2009. Minute ventilation of cyclists, car and bus passengers: an experimental study. *Environmental Health* 8:48: 1–10.
7. Parashar U. D., Bresee J. S., Gentsch J. R., Glass R. I. 1998. Rotavirus. *Emerging Infectious Diseases* 4(4): 561–570.
8. Widden M. 1966. *Fluid Mechanics*. New York, Macmillan Press: 359–360.
9. Huang T. J., Huang V. J. 2007 Evaluation of the efficiency of medical masks and the creation of new medical masks. *Journal of International Medical Research* 35 (2): 213–223.
10. Bunyan D., Ritchie L., Jenkins D., Coia J. 2013. Respiratory and facial protection: a critical review of recent literature. *Journal of Hospital Infection* 85 (3): 165–169
11. Tcharkhtchi A., Abbasnezhadab N., Zarbini Seydani M., Zirak N., Farzaneh S., Shirinbayan M. 2021. An overview of filtration efficiency through the masks: Mechanisms of the aerosols penetration. *Bioactive Materials* 6 (1): 106–122.

16. MULTI AKSIJALNE TKANINE

16.1. Jakšićev sistem izrade tetra aksijalne tkanine

Prilikom projektovanja i konstrukcije uređaja za tkanje tetra aksijalnih tkanina možemo postaviti najmanje sedam uslova, kako sledi:

- Potpuna kontrola opterećenja niti osnova;
- Po pravilu, niti osnova treba da budu zategnute;
- Potka treba da ima veznu ulogu, ona treba da sve sisteme osnova poveže zajedno u tkaninu;
- Fleksibilnost u pogledu promene prepletaja, slično kao kod biaksijalnih tkanina, koje su tkane na razbojima sa nitnom mašinom;
- Fleksibilnost u pogledu promene gustine, niti makar u nekim sistemima;
- Fleksibilnost u pogledu finoće potke - upotreba vazdušnog mlaza ili projektila za unos potke;
- Brzina unošenja potke 200 m/minutu i više; to je samo cilj koji je teško dostići;
- Proizvodna cena tetra aksijalnih tkanina da ne bude bitno veća nego proizvodna cena uporedbenih biaksijalnih tkanina.

Prvi zahtev znači da tetra aksijalna tkanina s tri zategnuta sistema niti osnove bude pogodna za upotrebu kao armatura u kompozitima. Takva tkanina odmah preuzima svoj deo vanjskog opterećenja. Pored toga, bila bi konkurentna ravnim tekstilijama u kojima su zategnuti sistemi niti međusobno povezani pletenom resom, poput višeslojne pletenine, koja se izrađuje na Majerovoj mašini.

Za različita područja primene su potrebne različite kompozicije tkanina. To se postiže upotrebom različitih vrsta sirovina, različitih kvaliteta pređe, ali i promenom prepletaja. Uz to, prepletaj utiče na zategnutost niti u tkanini. Što je ređa isprepletenost, manje je utkanje pa su time niti zategnutije.

Fleksibilnost u pogledu gustine niti u tkanini je od najveće važnosti. Za neke namene se zahteva veoma gusta tkanina, kao na primer za suhu i mokru filtraciju. Mokra filtracija se može odnositi na geotekstilije, koje sprečavaju odnošenje sitnih čestica zemlje ili peska sa obale. Ukoliko koristimo tetra aksijalnu tkaninu kao armaturu u betonskim proizvodima, onda je potrebno koristiti ređe tkanine, koje imaju dovoljno velike pore da ne dođe do raslojavanja (raspada) betonskog elementa. Plasti (slojevi) betona se moraju međusobno povezati kroz pore u tkanini. Osim toga, ponekad se zahteva i anizotropija tetra aksijalne tkanine, koja ima ulogu armature. Na primer, ako koristimo tetra aksijalnu tkaninu kao armaturu u poprečnim betonskim nosačima koji su deo manjeg mosta, tkanina će biti opterećena uglavnom u pravcu normalne osnove. U tom slučaju je preporučljivo udvostručiti gustinu normalne osnove, koja mora biti potpuno zategnuta. Ako je opterećenje istovremeno i u smeru potke, koja jedina od četiri sistema nije zategnuta, onda se taj smer ojača sa S i Z osnovom tako da se, na primer, gustoća potke udvostruči, menjajući tako smer S i Z sistema niti. Ako, na primer, u svakom sistemu imamo po pet niti, ugao između sistema je 45 stepeni. Međutim, ako povećamo gustinu po potki na 10 niti po cm, onda će S i Z sistem niti povećati otpornost tkanine na deformaciju u smeru

potke. Istovremeno možemo gustinu normalne osnove udvostručiti i povećati otpornost i u smeru osnove.

Fleksibilnost u pogledu finoće potke je važna iz nekoliko razloga. U tetra aksijalnoj tkanini za armiranje ceštišta koristiće se veoma gruba pređa. Gustine niti u sistemima su veoma male. Možemo imati jednu ili čak i manje niti na cm. Ukoliko je opterećenje usmereno u pravcu normalne osnove, a potka igra ulogu vezivnog sistema, potka može biti finija od finoće niti u tri osnovna sistema, a gustina potke takođe može biti manja.

Brzina unošenja potke izuzetno je važna jer utiče na troškove izrade tetra aksijalne tkanine. Majerova mašina za proizvodnju multiaksijalne pletenine proizvodi oko 1 m²/na sat i košta oko 300.000 evra. Sa druge strane, japanski razboj za tkanje triaksijalnih tkanina (licenca Barber-Kolman) ima do 120 unosa u minuti. Ova dva primera pokazuju da je brzina izrade multiaksijalnih proizvoda izuzetno mala. S obzirom na to da su i mašine skupe, troškovi proizvodnje takvih proizvoda su visoki. Zahtevana brzina od 200 m/min je izuzetno velika. Za nju bi trebalo da postoji nov pristup konstrukciji uređaja za proizvodnju tetra aksijalnih tkanina. Bez takve brzine, troškovi proizvodnje tetra aksijalnih tkanina bili bi previsoki za upotrebu u nekim područjima, što bi suzilo tržište za prodaju tih tkanina.

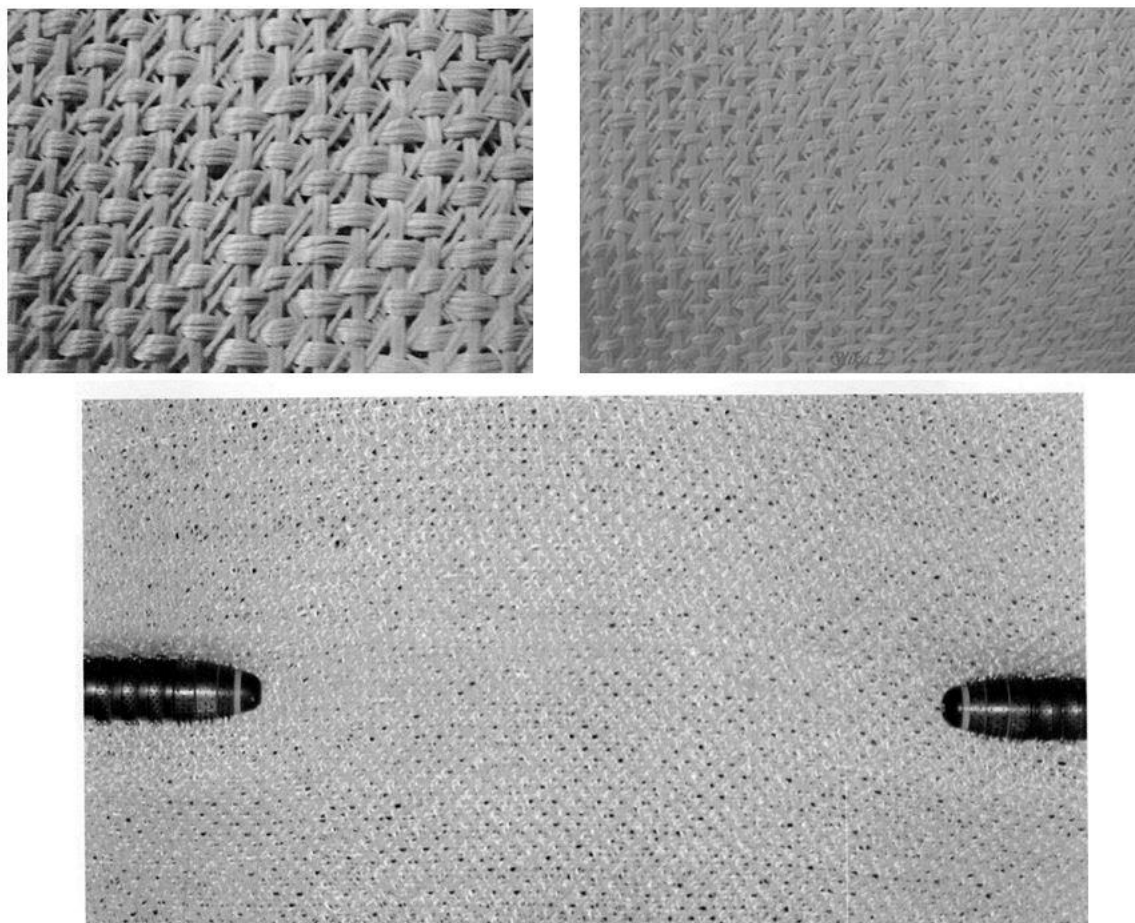
Proizvodna cena ima bitan značaj. Ako je komparativna cena tetra aksijalnih tkanina nekoliko puta veća od cene biaksijalnih tkanina (pređa i sirovine su istog kvaliteta i ista je masa m²), veoma je teško ostvariti veće tržište.

Na temelju prethodno iznesenih tvrdnji smo projektovali, konstruisali i proizveli pilot tkački razboj za tkanje tetra aksijalnih tkanina širine 50 cm. Ova širina bi bila dovoljna za ugradnju tetra aksijalne tkanine u niz proizvoda. Bila bi dovoljna za ugradnju u automobilske gume, neprobojne prsluke i niz betonskih elemenata. Možemo je koristiti kao armaturu za skije, brodove, pa čak i za slikarska platna. Osnovna gustina će biti 5 niti na cm u svakom sistemu. Moguće je promeniti gustinu po potki na oko 8 i 11 potki na cm. To će promeniti položaj S i Z sistema niti. Gustinu normalne osnove je moguće udvostručiti, jer postoje dva stalka za osnovine valjke, koji su postavljeni jedan pored drugog. Ako za pogon regulatora gustine potke upotrebimo elektromotor s programiranim brojem obrtaja, možemo programirati gustinu potke u većem području.

Tkanina će biti uslovno tkana u 8-veznom ojačanom osnovinom atlasu. Kažemo uslovno, pošto je poređenje najbliže 8-veznom atlasu biaksijalne tkanine, ne uzimajući u obzir S i Z osnovu. „Ojačanje” se postiže transformacijom nekih osnovnih veznih tačaka u potkine vezivne tačke. Ako bi tetra aksijalnu tkaninu tkali u osnovinom ili potkinom atlasu, neke od S i Z niti osnove bi ležale slobodno između potke i normale osnove i uopšte se ne bi prepletale sa potkom. Ovo se odnosi i na prepletaj platno i keper. Normalna osnova je postavljena iznad S i Z osnove i može se dovoljno zategnuti da je potka ne deformiše, odnosno da je ne izbacila iz zategnutog položaja. To osigurava zategnutost niti u S i Z sistemima, koji su ispod nje. Potka je unošena ručno, što je izradu tkanine veoma usporilo. Ovde su već prikazane fotografije izatkanih uzoraka na našem prototipnom razboju. Predviđamo da će se u budućnosti na mašini normalne širine, što znači 0,5 m do 1,5 m, potka unositi uz pomoć mlaza vazduha, ukoliko ima odgovarajuću finoću.

Ukoliko se zahteva gruba potka, onda vazdušni mlaz nije prikladan. U tom slučaju bismo koristili odgovarajući sistem, koji se sada koristi na razbojima za tkanje biaksijalnih tkanina. Za razboj širine

1,5 m upotrebićemo pomoćne mlaznice. Uprkos tome, veoma je teško izraditi razboj širine 1,5 m zbog velike dužine zatezača za Z i S osnovu. Kod diskontinuiranog tkanja unos može biti i do 200 m/min, ovisno o širini razboja. Realno je očekivati da će se i dalje koristiti razboji širine 1 m ili čak



Slika 16-1: Tetra aksialna tkanina, koja je bila iztkana na uzorčnem razboju za tkanje tetra-aksialnih tkanina, koji je konstruisan na Oddelku za tekstilstvo NTF Univerze u Ljubljani

samo 0,5 m. SULZER-ovi rotorski tkalački razboji unose 4.800 metara potke u minuti. S obzirom na to da se u kratkim razmacima unesu četiri potke širine 1,7 m, to znači oko 700 unosa u minuti.

Na SULZER-ovim rotorskim razbojima se potka uzima sa unakrsnih kalemova brzinom do 1.200 m/min. To je otprilike gornja granica brzine odmotavanja sa dobro namotanog unakrsnog kalema. Potka se stalno odmotava jer se namotava na uređaj za rezervu potke. Unakrsni (križni) kalem nije kalem sa kojeg ćemo mi odmotavati potku. Takvo premotavanje je nepouzđano. Ponekad se prekid dogodi i pri brzini od 500 m/min. Zbog toga smo razvili sistem namotavanja unakrsnih kalemova, koji ima značajno drugačiju geometriju namotavanja od klasičnog unakrsnog kalema. Ovakav kalem se ne može namotavati ni na jednoj postojećoj mašini za namotavanje kalemova. Radi toga smo bili primorani da konstruišemo i proizvedemo mašinu koja omogućava namotavanje konusnih kalemova na cilindričnu cevku sa jednim kolutom ili bez njega. Ovaj kalem se može namotati na mašini za namotavanje na kojoj servomotor, koji pokreće vodič niti, menja smer kretanja vodiča niti. Do sada smo postigli brzinu veću od 4.000 m na minutu. Ovo stvara zategnutost od 50 cN, što je manje od 10 % prekidne jačine predene pređe od PES-a. Ona ima prekidnu jačinu od 550 cN. Kada se koristi

ometlač balona, opterećenje niti se smanjuje na oko 35 cN. Ovo je samo 6% prekidne jačine. U međuvremenu je firma „Schlafhorst“ razvila predilicu koja ovako namotava predionički kalem (verovatno po našoj ideji jer je patent bio zaštićen samo u Sloveniji). Imali su kalemове, namotane sa novim sistemom namotavanja - po našem patentu, na našoj eksperimentalnoj mašini za premotavanje klasično namotanih predioničkih namotaka.

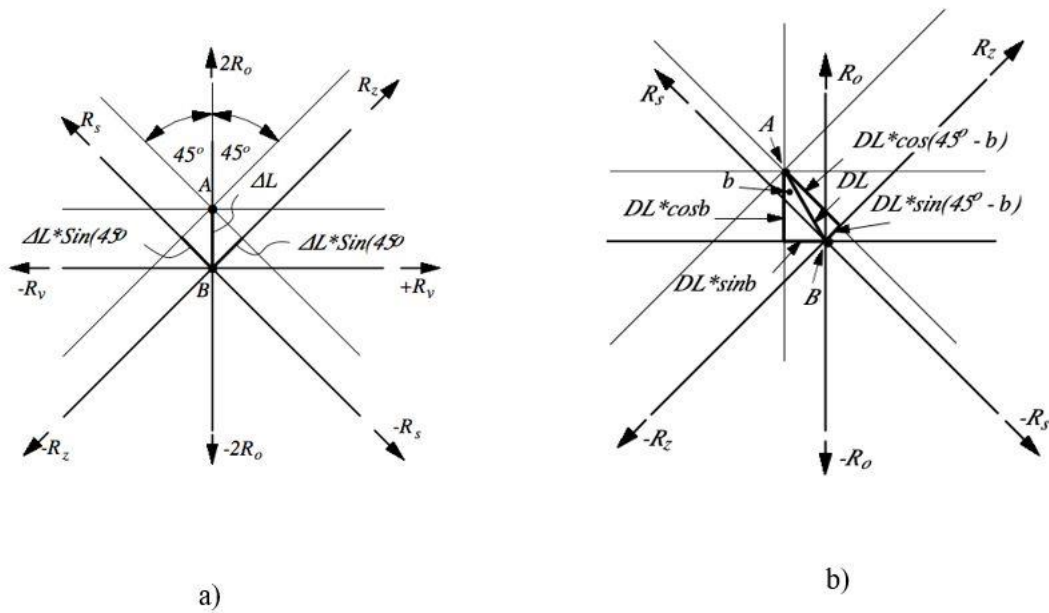
Tetra aksijalne tkanine crtamo isto kao i biaksijalne. Ako želimo menjati prepletaj, moramo instalirati novi set grebena. To je slično zameni karata na nitnim mašinama. Zanimljivo je da postoje određena ograničenja kod prepletaja. Kao što je spomenuto, ne smeju se koristiti keper prepletaj ili prepletaji koji imaju levo ili desno usmerene linije. S ili Z osnova, koja prati linije, uopšte se ne bi vezivala nego bi slobodno ležala u tkanini između potke (ispod) i normalne osnove (gore).

16.1.2. Izotropnost tetra aksijalnih tkanina

Kao što je već spomenuto, izotropija tetra aksijalnih tkanina zahteva šest uslova. Dovoljan uslov je da količina rada, koja je potrebna za deformaciju tkanine ne zavisi od smera delovanja sile u procesu deformacije. To nisu granične vrednosti koje znamo iz matematike ili mehanike, već su povezane s kvalitetom učesnika u sistemu - jačinom i elastičnošću vlakana ili pređe, konstrukcijom tkanine i njenim ponašanjem, zavisno od smera u kome deluje sila koja deformiše tkaninu. Smer delovanja sile mora biti paralelan jednom sistemu niti. To znači da je izotropnost ograničena. Na slici 16-2 je prikazan dijagram deformacije tetra aksijalne tkanine u smeru normalne osnove *a*) i u smeru koji je pomaknut udesno (četvrti kvadrant) od smera normalne osnove *b*). Navedeni smerovi delovanja sile ne podudaraju se sa smerovima niti u pojedinim sistemima osnove. Sam dijagram prikazuje samo jedno mesto preseka sistema niti u tački *A*, koje se nakon deformacije pojavi u tački *B*. U stvari, prikazan je proces istezanja tkanine kada se stegne u dve stezaljke. Gornja stezaljka je fiksirana, pri čemu donja stezaljka vuče tkaninu prema dole *a*) i prema dole udesno pod određenim uglom *b*). U tački *B* nije promenjen međusobni položaj sistema niti koji su imale u tački *A* pre početka procesa istezanja *a*). To znači da na tačkama nije bilo presecanja međusobnog klizanja niti i kao rezultat toga nisu se pojavile sile trenja. Rezultant istezanja svih sistema niti ili tkanine kao jedinstvenog makrosistema je ΔL . Istezanje svakog sistema je sledeće:

$$\Delta L_z = \Delta L \sin(45^\circ - \beta); \Delta L_s = \Delta L \cos(45^\circ - \beta); \Delta L_0 = \Delta L \cos \beta; \Delta L_v = \Delta L \sin \beta \quad (16.1)$$

Na slici (16-2b) se vidi da se istezanja sistema veoma razlikuju. U posmatranom slučaju, najveću deformaciju ima *S* osnovin sistem i najmanju potka. Ako bi nastavili i dalje rastezati tkaninu u istom smeru, *S* sistem osnove bi kod određene vrednosti istezanja dostigao područje plastične deformacije, a ostala tri sistema bi još uvek bila u području viskoelastičnih deformacija. Od ove tačke dalje, tkanina više ne bi bila delimično izotropna u smeru deformacije osnovinih sistema jer nije ispunjen barem jedan od potrebnih uslova, koji kaže da se deformacije moraju odvijati u području elastičnosti.



Slika 16-2: Dijagram deformacije tetra aksialne tkanine u smeru ojačane ortogonalne osnove, koja ima dvaput veću gustinu a) i u proizvoljnom smeru b)

Pošto bi jedan sistem niti, u našem slučaju S sistem osnove, bio izvan područja elastičnosti, izotropija u smeru jednog sistema niti bi bila narušena.

U daljoj analizi ćemo pretpostaviti da su ispunjeni potrebni uslovi u pogledu smera sistema niti osnove i na osnovu ove pretpostavke izvršiti čitav dokazni postupak za postojanje izotropnosti u svim smerovima položaja osnove. Postupaćemo slično kao kod izvođenja izotropije triaksijalnih tkanina, samo što uvodimo još jedan dodatni sistem niti i ugao neće biti 60 stepeni nego 45 stepeni.

$$R_z = K\Delta L_z; R_s = K\Delta L_s; R_o = K\Delta L_o; R_v = K\Delta L_v \quad (16.2)$$

Ako u jednačini (16.2) silu reakcije označimo sa R_i , možemo jednačinu (16.2) napisati u skraćenom obliku $R_i = K\Delta L_i$, gde je $i = s, z, o, v$. Reakcijske sile u pojedinim sistemima niti su posledica delovanja spoljne sile na sistem - tkaninu. K je koeficijent otpornosti niti. Sva četiri sistema koriste isti kvalitet pređe, što znači da svi sistemi imaju istu vrednost otpora K . Rad W , obavljen na putu ΔL , može se izraziti sledećom jednačinom:

$$W = \frac{1}{2} (R_z \Delta L_z + R_s \Delta L_s + R_o \Delta L_o + R_v \Delta L_v) \quad (16.3)$$

Uzimajući u obzir jednačine (16.1) in (16.2), možemo jednačinu (16.3) napisati u sledećem obliku:

$$W = \frac{K\Delta L^2}{2} \left[\sin^2 \beta + \cos^2 \beta + \cos^2 (45^\circ + \beta) + \sin^2 (45^\circ + \beta) \right] \quad (16.4)$$

Pošto je zbir kvadrata sinusa i kosinusa jednak 1, dobićemo:

$$W = \frac{K\Delta L^2}{2}(1+1) = K\Delta L^2 \quad (16.5)$$

Kao što se može videti iz jednačine (16.5), obavljeni rad u procesu deformacije tetra aksijalne tkanine ne zavisi od smera dejstva spoljne sile na tetra aksijalnu tkaninu, ako ona deluje u pravcu bilo koje osnovne niti. Ovo dokazuje delimičnu izotropiju tetra aksijalne tkanine ne uzimajući potku u obzir. Dokaz o uslovnoj izotropnosti važi ako je ispunjeno svih šest uslova za izotropiju. Ipak, nemoguće je ispuniti svih šest zahteva, odnosno uslova, da bi se postigla stvarna izotropija. Međutim, ako se deformacija ne odnosi na zateznu jačinu, što nije realno kod neprobojnog prsluka, nego se odnosi na postupak merenja otpornosti tkanine na raspućnu jačinu, tada u tom procesu učestvuju samo niti u osnovama. Potka je vezni sistem i zbog toga ima preveliko utkanje. Ako na tetra aksijalnu tkaninu deluje projektil sa sfernim vrhom, on deluje samo na osnovine sisteme. Deluje takođe i na potku, ali ne ometa kretanje projektila dok se u potpunosti ne zategne. Projektil deluje na sva tri sistema osnova. Pri tome se svi sistemi osnova podjednako deformišu. Kada bi u tkanini, na primer, bilo šest sistema niti osnove, tada bi takva tkanina imala dvostruku otpornost na prodiranje projektila. To bi već bila sedamaksijalnih tkanina.

Izotropija nije uvek poželjna. Ako samo jedan sistem u uslovima upotrebe podnosi maksimalno opterećenje, poželjno je da ga ojačate. Ako se tetra aksijalna tkanina koristi kao armatura u betonskom elementu, koji je poprečni nosač, i trpi opterećenja mosta, nadvožnjaka i slično, nosač i tkanina (armatura) su opterećeni na uvijanje u obliku luka. Beton je krut - neelastičan. Čak i sa najmanjim uvijanjem nosača usled spoljnog opterećenja, tkanina mora da preuzme svoj deo opterećenja. To je moguće samo ukoliko je zategnut sistem niti u tkaninini, koji je najviše opterećen.

Ovaj slučaj je opisan jednačinama (16.6) do (16.10), deformacija je u smeru ortogonalne osnove, slika (16-1a), koja ima dvaput veću gustinu nego potka ili druga dva sistema osnove. Zato je takođe prikazano da je otpor deformaciji ortogonalnoga sistema osnove dvaput veći od bilo kog drugog sistema niti u posmatranoj tkanini. Ortogonalna osnova trpi najveće deformacije, dok potka uopšte ne sudeluje u procesu suprostavljanja sili, sve dok se u potpunosti ne zategne (izravna). U slučaju kada sila deluje u pravcu ojačane ortogonalne osnove, slika (16-1a), potreban rad se može definisati sledećim jednačinama:

$$\Delta L_o = \Delta L; \Delta L_v = 0; \Delta L_s = \Delta L \sin 45^\circ; \Delta L_z = \Delta L \cos 45^\circ \quad (16.6)$$

$$R_z = K\Delta L_z; R_s = K\Delta L_s; R_o = 2K\Delta L_o; R_v = K\Delta L_v \quad (16.7)$$

$$W = \frac{1}{2}(R_z\Delta L_z + R_s\Delta L_s + R_o\Delta L_o + R_v\Delta L_v) \quad (16.8)$$

Uzimajući u obzir jednačine (16.6) i (16.7), jednačinu (16.8) možemo napisati u sledećem obliku:

$$W = \frac{K\Delta L^2}{2} (2 + \cos^2 45^\circ + \sin^2 45^\circ) \quad (16.9)$$

Pošto je ugao = 0, dobićemo:

$$W = \frac{K\Delta L^2}{2} (2 + 1) = \frac{3K\Delta L^2}{2} \quad (16.10)$$

16.1.3. Primeri uporebe tetra aksijalnih tkanina

Uzmimo primer prikazan na slici 16-2. Deset slojeva tetra aksijalne tkanine 5 prevučeno je preko šipke 2, koje rastežu zatezači 3, 4. Tkanina je postavljena u okvir 1 u koji se sipa betonski nosač. Slika 16-2 prikazuje tlocrt nosača. Kada se nosač namontira kao deo nosive konstrukcije, sila opterećenja će delovati sa leve ili desne strane na nosač, prikazan na slici 16-2. Nosač će biti izložen savijanju. Pretpostavimo da je visina nosača 50 cm, širina 50 cm i dužina 100 cm. Sledeće možemo pretpostaviti da su gustina S i Z osnove i potke 5 niti na cm. Gustina ortogonalne osnove treba da bude 10 niti na cm. Finoća multifilamentne pređe 100 tex, vrsta vlakana - kevlar, koeficijent otpornosti (sila potrebna za 1 % istezanje pređe) - 50 N/nit, rastezanje nosača i niti u nosaču - 1 %. 50 N/nit je 0,25 vrednost jačine pri produženju od 4 % (2 N/tex). Modul elastičnosti je 35 N/tex. Međutim, uzeli smo manju vrednost, jer je veoma teško dostići potpuno zategnut položaj niti ortogonalne ojačane osnove. Pod ovim uslovima potka se uopšte ne isteže, dok se može očekivati da će S i Z osnove učestvovati, zbog valovitog položaja, verovatno sa manje od 20% iskorišćenja otpornosti u zategnutom stanju. To znači samo 5 N/nit ili manje. U sistemu deformacije imamo 5.000 niti ortogonalne (normalne) osnove, koja prenosi silu od 250 kN. S i Z sistemi osnove zajedno imaju isti broj niti kao ojačana ortogonalna osnova, ali daju bar pet puta manji otpor

deformaciji tkanine, što znači samo 50 kN. Dakle, ukupno 300 kN ili 30 tona. Problem je velika gustina, premali prečnik pora i raslojavanje betona. Za otklanjanje ovih problema mogu se koristiti grube pređe i manja gustina niti u tkanini.

Ako je tetra aksijalna tkanina izrađena od navedenih vlakana visokog modula elastičnosti i ugrađen je u betonski nosač koji je opterećen na uvijanje, vrednost opterećenja ove armature možemo analizirati pomoću klasičnog postupka. U mehanici se deformacija nosača na uvijanja u obliku luka obrađuje tako što u sredini visine nosača postoji neutralna zakrivljena ravnina koja se ne deformiše tokom savijanja. Iznad ove ravnine se pojavljuju pritisne sile, ispod nje zatezne sile. U ovako kratkom prikazu, pa još i bez eksperimenata, gornja polovina nosača se ne može razmatrati. U svakom slučaju, može se pretpostaviti da tkanina postavljena u gornjoj polovini visine nosača neće nositi nikakav teret. Ako ne upotrebimo tkaninu u gornjoj polovini visine nosača, mogu se pojaviti zatezni naponi kao rezultat napona u donjim slojevima tkanine u donjoj polovini visine nosača. Sva zatezna opterećenja nose slojevi tkanine. Podrazumeva se da opterećenje nosi i beton, ali ovde se obrađuje samo tkanina. Sloj na donjem kraju nosača biće najviše deformisan, a sloj najbliži neutralnoj ravni najmanje. Pretpostavljamo da je prosečna deformacija svih slojeva tkanine koji se nalaze u zateznoj polovini visine nosača 1%. To znači da je prilično realno očekivati da će armaturna tkanina podnositi

opterećenje od 15 tona. Iz ovog ilustrativnog primera je jasno da se tetra aksijalna tkanina može uspešno koristiti kao armatura čak i u elementima poput betona. Upotrebljivost u kompozitima gde je druga komponenta sintetička smola itd., koja je elastičnija od betona, još je povoljnija.

Upotreba tkanine od vlakana „Allied Spectra 1000” je čak povoljnija i od upotrebe Kevlara. Specifična masa Spektre je samo $0,97 \text{ g/cm}^3$, jačina 3 N/tex i modul elastičnosti 172 N/tex . U nosač bi bilo ugrađeno 50 m^2 tkanine. Svi sistemi imaju 20 niti/cm , što znači težina tkanine od 200 g/m^2 . Ukupna težina tkanine ugrađene u nosač bila bi 10 kg , što je zanemariva težina s obzirom na težinu celog nosača.

Tetra aksijalna tkanina, korišćena u ovoj analizi, ustvari je previše gusta. Slojeve betona je teško vezati kroz pore tkanine. Zbog toga bi morali smanjiti gustinu tkanine na $2,5 \text{ niti/cm}$ po sistemu. U tom slučaju, težina korištene tkanine bi bila samo 5 kg . I pored toga nosivost nosača, odnosno tkanine ugrađene u nosač, bila bi najmanje 7 tona .

Tetra aksijalna tkanina bi se mogla koristiti u višeslojnom kompozitu za oblaganje kontejnera u avionima, kao zaštitni sloj protiv eksplozija bombi koje bi teroristi mogli da postave u kontejnere za prtljag ili druge terete. Eksplozija bi deformisala kontejner, ali bi ga mogli dizajnirati i konstrusati da izdrži prilično jaku eksploziju. U tom slučaju, avion sa putnicima ne bi bio oštećen i mogao bi nastaviti let do prvog aerodroma. Navedeno poređenje delimično se odnosi na japansku tetra aksijalnu tkaninu, koja nije upotrebljiva za ojačanje u betonskim proizvodima jer nema zategnutih niti ni u jednom sistemu. Jakšićeva tetra aksijalna tkanina ima zategnute niti u sva tri sistema osnove. Stoga je potrebno korigovati gornji pristup izračunavanju vrednosti armature. Kao što prikazuje slika 16-2, tkanina se može prenapregnuti tako da se mogu uzeti gore navedene vrednosti specifične sile (N/tex), koje može izdržati nit tkanine. Vlakno treba da bude Spektre.

Tkanina za ovu namenu se može tkati tako da S i Z osnove zatvaraju sa normalnom osnovom ugao od 30 stepeni a sa potkom ugao od 60 stepeni. Gustina potke se može smanjiti na polovinu vrednosti S i Z osnove, a gustina normalne osnove udvostručiti. Takav međusobni položaj sistema niti je povoljan jer ojačavamo pravac u kome deluje opterećenje. Gustina potke je takođe povoljna jer se ne deformiše prilikom savijanja, i istovremeno povećava prečnik pora između niti, što je pogodno za međusobno povezivanje betonskih slojeva kroz pore. Veličina pora bi trebala biti veća od najvećih čestica smese cementa. To je pesak.

Budući da ortogonalna, odnosno normalna osnova na potku sadrži 5000 niti u nosaču, koje su izložene opterećenju, potrebna je sila od 1500 kN da bi se ta osnova pokidala. Osim toga, imamo još toliko niti ukupno u S i Z sistemu. Ova dva sistema sudeluju samo sa komponentom ortogonalnom na potku. Vrednost ove komponente biće manja za faktor $0,866$ u poređenju s ortogonalnom osnovom. Ukupna vrednost je $1.500 + 1.500 * 0,866 = 2800 \text{ kN}$ ili 280 tona .

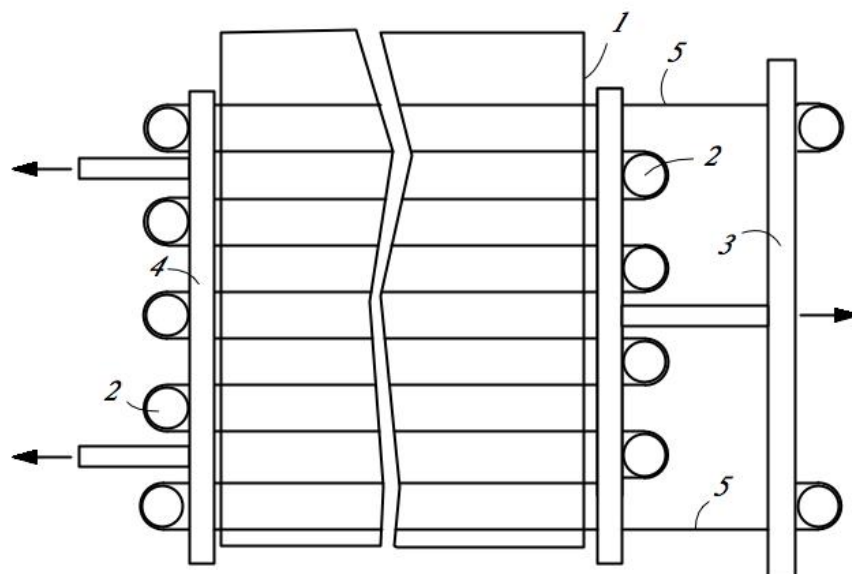
To znači da možemo smanjiti gustoću za polovinu, i tako povećati veličinu pora između niti osnove, i na taj način omogućiti efikasnije međusobno povezivanje slojeva betona između slojeva tkanine. Došli bi na 140 tona , što je više nego dovoljno. Čak i ako uzmemo polovinu vrednosti prekidne jačine, još uvek bismo dobili 70 tona nosivosti tkanine. Pri tome se beton uzima kao prenosnik opterećenja sa gornjeg prvog opterećenog sloja, ispod neutralne linije, do poslednjeg sloja dole.

Četiriaksijalnu tkaninu je moguće tkati tako da je položaj dodatne osnove na poleđini tkanine. Takva struktura je povoljnija nego da su obe normalne osnove na licu tkanine. Gustina normalne osnove bi se smanjila u zavisnosti od njihovog položaja. S i Z osnove se u tkanini nalaze između normalnih osnova. Takva tkanina je petaksijalna i pogodnija je od četiriaksijalne za izradu neprobojnog prsluka, kao i za upotrebu armature u različitim konstrukcijama.

Budući da ortogonalna, odnosno normalna osnova na potku sadrži 5000 niti u nosaču, koje su izložene opterećenju, potrebna je sila od 1500 kN da bi se ta osnova pokidala. Osim toga, imamo još toliko niti ukupno u S i Z sistemu. Ova dva sistema sudeluju samo sa komponentom ortogonalnom na potku. Vrednost ove komponente biće manja za faktor 0,866 u poređenju s ortogonalnom osnovom. Ukupna vrednost je $1.500 + 1.500 * 0,866 = 2800$ kN ili 280 tona.

To znači da možemo smanjiti gustoću za polovinu, i tako povećati veličinu pora između niti osnove, i na taj način omogućiti efikasnije međusobno povezivanje slojeva betona između slojeva tkanine. Došli bi na 140 tona, što je više nego dovoljno. Čak i ako uzmemo polovinu vrednosti prekidne jačine, još uvek bismo dobili 70 tona nosivosti tkanine. Pri tome se beton uzima kao prenosnik opterećenja sa gornjeg prvog opterećenog sloja, ispod neutralne linije, do poslednjeg sloja dole.

Četiriaksijalnu tkaninu je moguće tkati tako da je položaj dodatne osnove na poleđini tkanine. Takva struktura je povoljnija nego da su obe normalne osnove na licu tkanine. Gustina normalne osnove bi se smanjila u zavisnosti od njihovog položaja. S i Z osnove se u tkanini nalaze između normalnih osnova. Takva tkanina je petaksijalna i pogodnija je od četiriaksijalne za izradu neprobojnog prsluka, kao i za upotrebu armature u različitim konstrukcijama.



Slika 16-3: Primer upotrebe anizotropne ojačene tetra aksijalne tkanine kao armature prilikom nalivanja betonskog nosača [1]

1 – vanjski deo površine ceste; 2 – palica oko koje tkanine promeni smer; 3 – okvire za natezanje tkanine; 4 – okvir za natezanje na levoj strani; 5 – kraj i začetak armaturne tkanine

Bez eksperimentisanja sa kompozitom beton-tkanina, nije moguće sa velikom verovatnoćom unapred predvideti ponašanje ovog kompozita. Postoje iskustva sa manjim betonskim elementima, koja

pokazuju da beton dobro prijanja na tekstilne komponente. U svakom slučaju, struktura betona i pore u tetra aksijalnoj tkanini moraju biti takvi da se slojevi betona vežu jedan za drugi kroz pore tkanine. Kao što se može zaključiti iz gore prikazanih izračunavanja, tkanina u kojoj bi normalna osnova imala gustinu od 2 niti na cm, S i Z osnove, kao i potka od 1 niti na cm, verovatno bi bila odgovarajuća. Finoća pređe bila bi od 500 do 1.000 tex.

Tkalačke strojeve za tkanje tetra aksijalnih tkanina proizvode Japanci. Pored japanskog, u literaturi se može naći i Mamillianov sistem [2] tkanja tetra aksijalnih tkanina. Izgleda da se drugi ne bave ovim problemom. Uzimajući u obzir do sada poznati trend razvoja tehnike proizvodnje tetra aksijalnih tkanina, možemo očekivati izuzetno povećanje brzine proizvodnje višeaksijalnih tkanin u bliskoj budućnosti. Brzina će se povećati na najmanje 150 unesenih potki u jednoj minuti i više. Pri gustini od 5 potki/cm, brzina izrade tetra aksijalne tkanine biće 1 m/min ili više. Proizvodni troškovi, u pogledu težine tkanine, neće premašiti troškove izrade biaksijalnih tkanina na modernim bešunkovnim tkalačkim razbojima.

Za većinu područja primene tetra aksijalnih tkanina, biće potrebna vlakna visoke izdrživosti (Nomeks, Kevlar, Spectra, itd.), što znači veliki finansijski trošak u ulaznoj sirovini. Taj trošak će uticati na veću vrednost tetra aksijalnih tkanina, a ne sam postupak njihove izrade. Zbog relativno niskih troškova izrade tetra aksijalnih tkanina i otpornosti visokomodularnih (visokoizdrživih) vlakana na deformacije koje prevazilaze čelik, tkanine će se koristiti u mnogim oblastima visoke tehnologije. To će naglo povećati tržišni udeo ovih tkanina. Posledica ovog trenda će biti pad njihovih cena, kao i povećanje upotrebe u manje atraktivnim područjima. U daljem razvoju se očekuje razvijanje tehnologije izrade petaksijalnih tkanina, pa čak i sedamaksijalnih tkanina, zbog masovne upotrebe u proizvodnji neprobojnih prsluka. Barem naše studije ukazuju na to.

16.2. Jakšićeva pet, šest i sedam aksijalna tkanina, za proizvodnju neprebojnih prsluka

Na svetu ne postoji razboj za proizvodnju sedamaksijalnih tkanina. Čak se i ne spominje u svetskoj literaturi koja se odnosi na tekstilnu tehnologiju. Ipak, tehnologija izrade tetra aksijalnih tkanina omogućava brži razvoj tehnologije izrade petaksijalnih tkanina, kao i sedamaksijalnih tkanina. Neka rešenja sa ručnog razboja za tkanje tetra aksijalnih tkanina je moguće primeniti, bar delimično, u konstrukciji mašine za tkanje sedamaksijalnih tkanina. Ovo se odnosi se na Jakšićev ručni razboj za proizvodnju tetra aksijalnih tkanina. Sa relativno malom dogradnjom, na ovom razboju bi takođe mogli proizvoditi petaksijalnu tkaninu, koje se od četiriaksijalne tkanine razlikuju samo po tome što ima još jednu normalnu osnovu na donjoj strani tkanine.

Strukturu sedamaksijalne tkanine čini šest osnova i jedna potka. Potka ima samo povezujuću ulogu. Osnove bi trebalo da budu zategnute. Dve osnove su normalne, kao u biaksijalnoj tkanini, odnosno petaksijalnoj tkanini. Druge dve osnove su postavljene ukoso pod određenim uglom u odnosu na položaj potke. Jedna osnova je utkana u tkaninu sa leve ivice na desnu pod uglom od 30 stepeni, a takođe sa desne na levu ivicu pod istim uglom. Sa normalnom osnovom, koja sa potkom formira ugao od 90 stepeni, ona formira ugao od 60 stepeni. Tkanina daje utisak da se radi o dve osnove. Druga osnova, koje se utkiva u tkaninu sa leva na desno, formira ugao sa potkom od 60 stepeni i sa normalnom osnovom pravi ugao od 30 stepeni. Kada se ta osnova polaže u tkaninu s desna na levo,

zatvara sa potkom ugao od 60 stepeni. Ove dve osnove se u tkanini pojavljuju kao četiri osnove.

Jedna normalna osnova se nalazi na licu, a druga na poleđini tkanine. Unutrašnje „četiri“ osnove se gotovo ne vide, ni sa lica, ni sa naličja tkanine. Potka povezuje sve osnove zajedno. Tkanina, u stvari, ima šest slojeva (vidi sliku 16-5, i presek po potki, slika 16-6). Ne računamo potku pored. Pošto potka ima preveliko utkanje, jer se pojavljuje kao sistem za povezivanje, ne uzimamo je u obzir kao sistem koji usporava kretanje projektila kroz slojeve osnove. U tkanju može doći do nekih grešaka, kao što se vidi na slici 16-1, koja prikazuje tetra aksijalnu tkaninu. Međutim, to neće značajno umanjiti upotrebnu vrednost tkanine, posebno za pravljenje neprobojnih prsluka. U konačnoj verziji mašine biće mnogo manje ili uopšte neće biti sličnih grešaka. Tkanina će takođe biti pogodna kao armatura za izgradnju manjih mostova i kao geotekstilija za zaštitu obala potoka i reka. Za to moramo koristiti vlakna otporna na vlagu i bakterije. Polipropilenska vlakna imaju tu osobinu. Kada se koristi kao armatura u građevinarstvu mora biti dovoljno retka da cementna (betonska) smeša prođe kroz sve slojeve tkanine.

Možemo porediti sedamaksijalnu tkaninu sa gustom biaksijalnom tkaninom prikazanom na slici 17-17 i tkanoj u platnenom prepletaju. Ta tkanina ima težinu od 500 g/m^2 i utkanje 14 %. U stvari, ova tkanina je neupotrebljiva za neprobojne prsluke. Zaštita se postiže sa dva ili više džepova na prednjoj i na leđnoj strani prsluka, u kojima su ulošci napravljeni od ravnih folija na koje su zalepljene niti pređe izrađene od visokomodularnih vlakana. Ove folije su postavljene jedna pored druge ili jedna na drugu, u zavisnosti od načina posmatranja, i u potpunosti su zategnute. Leđna strana prsluka takođe može imati ruksak umesto džepova u koje su umetnute folije sa pređom, kao i u džepovima spreda. Obično ih ima više od 20, i postavljene su jedna iznad druge, kao i u svakom džepu spreda i pozadi. Površina tela koja nema dodatnu zaštitu je praktično nezaštićena. Uzrok tome je preveliko utkanje, a tkanina ne usporava projekte sve dok se niti ne zategnu. Telo takođe nije zaštićeno ni između džepova.

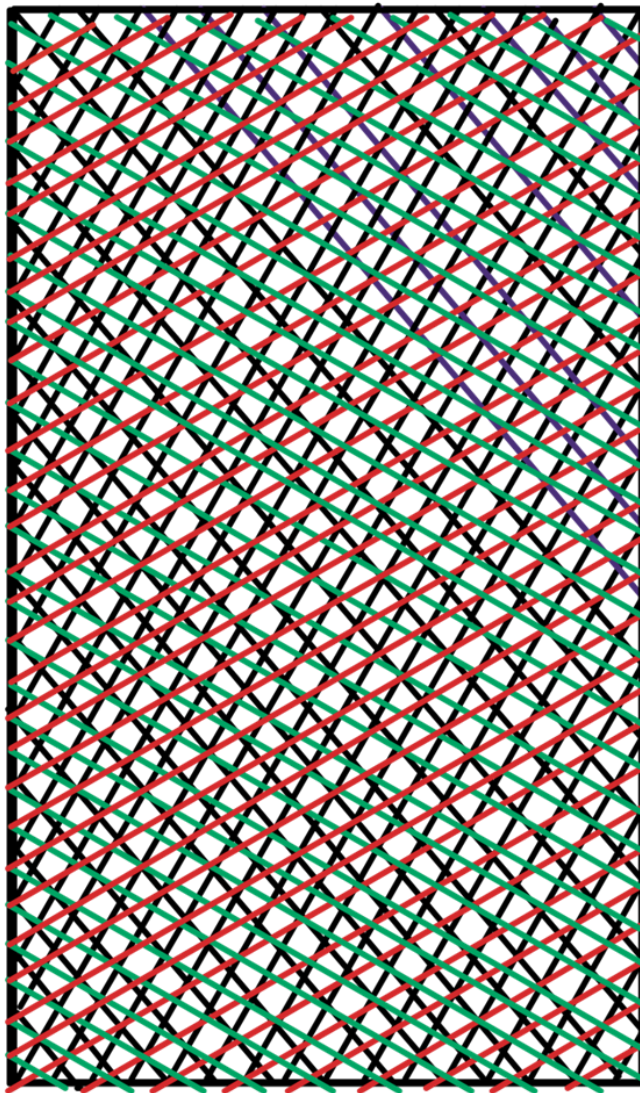
Na slici (16.4) prikazane su koso postavljene niti osnove u desnom i levom smeru pod uglom od 30 i 60 stepeni u odnosu na horizontalno postavljenu potku koja nije prikazana na ovoj slici. Osnova koja sa potkom čini ugao od 30 stepeni je skoro dva puta duža u desnom i levom smeru nego osnova koja sa potkom čini ugao od 60 stepeni. Ove dve osnove u tkanini izgledaju kao da su četiri osnove. Tako ćemo ih i tretirati.

Pod pretpostavkom da je širina tkanine 100 cm, dužina osnove koja sa potkom zatvara ugao od 30 stepeni je 115,5 cm između dva kraja tkanine. Za osnovu koja sa potkom zatvara ugao od 60 stepeni, dužina je 200 cm, što je dvostruko više od širine tkanine. To znači da za ove osnove moramo imati posebne osnovine valjke ili kalemove koji su postavljeni na gaterima. Sa svakog kalema se odmotava po jedna nit osnove, kao kod snovanja. Na licu ili na poleđini tkanine, ove četiri osnove se praktično ne vide. Skrivaju ih normalne osnove, koje se polažu na lice ili na poleđinu tkanine. Potka ih, takođe, delom skriva.

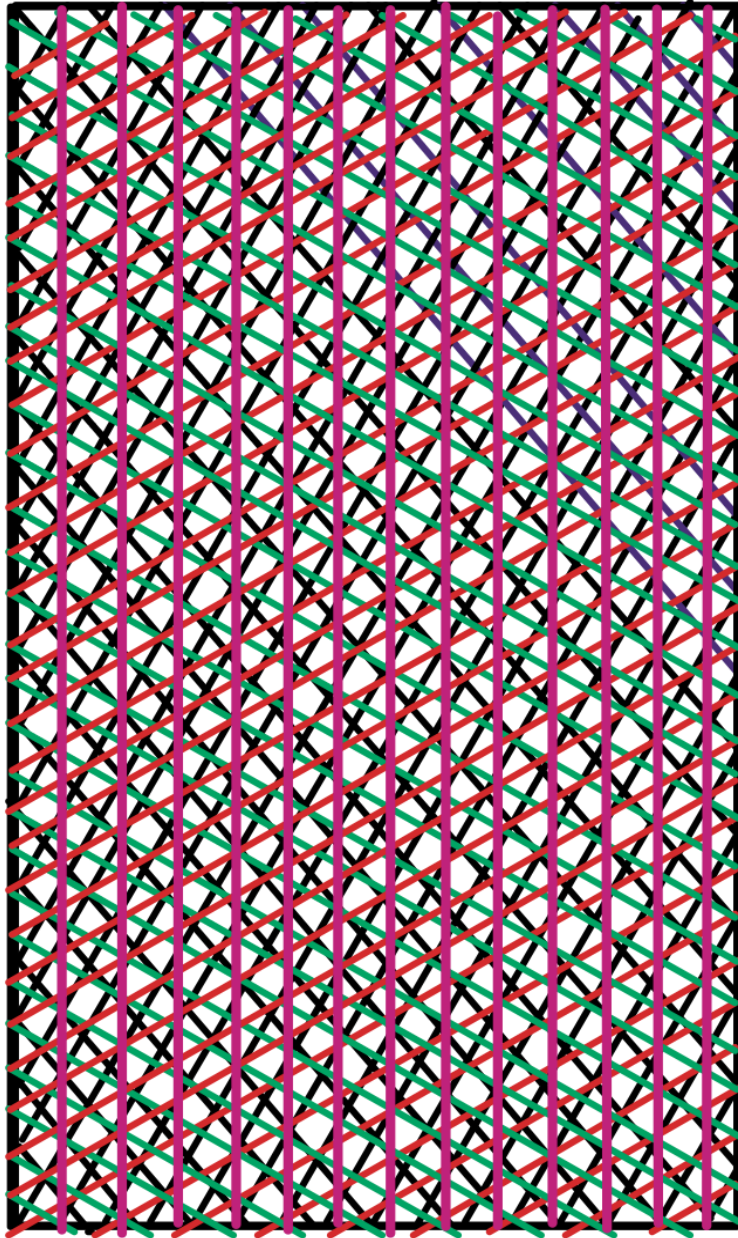
Osnove S_{30} i Z_{30} nalaze se u sredini kompleta od šest slojeva osnove. Osnove S_{60} i Z_{60} nalaze se sa jedne i druge strane osnova koje sa potkom zatvaraju ugao od 30 stepeni. Gustina normalnih osnova se može povećati tako da su niti osnove praktično jedna pored druge, približno kao niti koje su zalepljene na folije i ojačavaju neprobojni prsluk koji se trenutno koristi. To se može videti na slikama 16-4, 16-5 i 16.6. Inače, moguće je tkati i petaksijalne tkanine (dva normalna sistema, a druga dva

dijagonalno i jedan normalan sistem potke), i šestaksijalne tkanine (jedan normalan sistem osnove i četiri dijagonalna sistema osnove kao kod sedamaksijalnih tkanina i jedan normalan sistem potke). Međutim, šestaksijalna tkanina je po upotrebnoj vrednosti slabija od petaksijalne tkanine, jer ona ima samo jednu normalnu osnovu okomito postavljenu u odnosu na smer potke. Normalnu osnovu je moguće tkati sa većom gustinom nego osnove koje sa potkom čine uglove manje od devedeset stepeni.

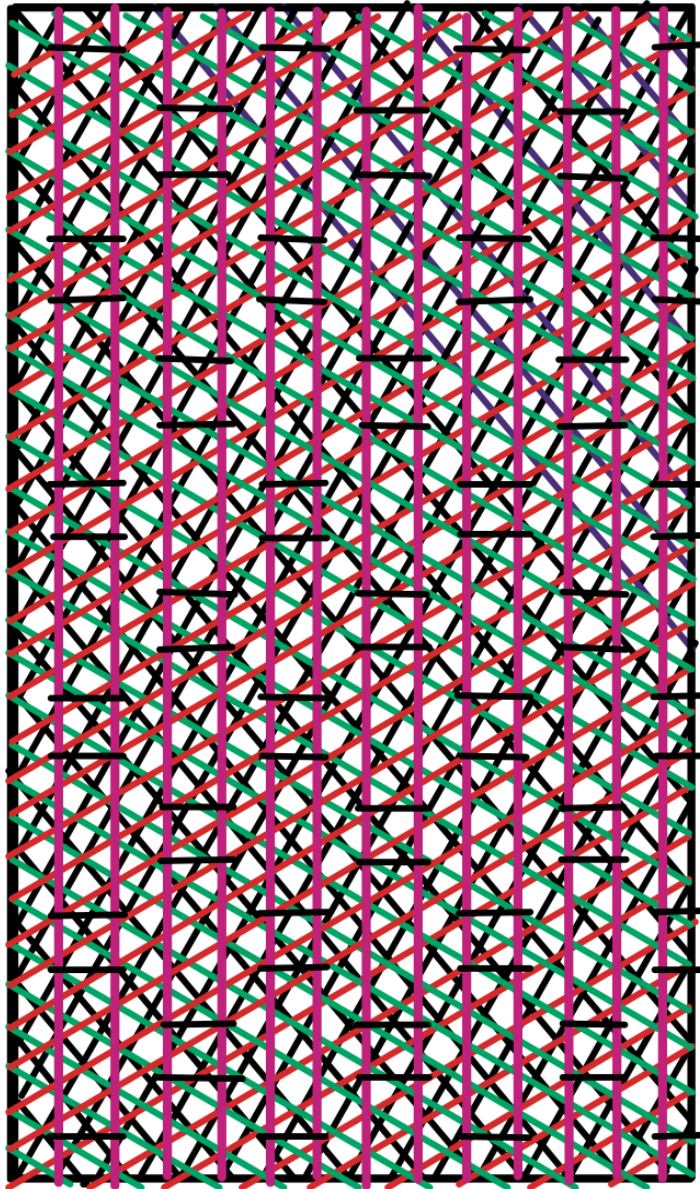
Na slikama 16-4 i 16-5 potka nije prikazana zbog bolje vidljivosti položaja osnova.



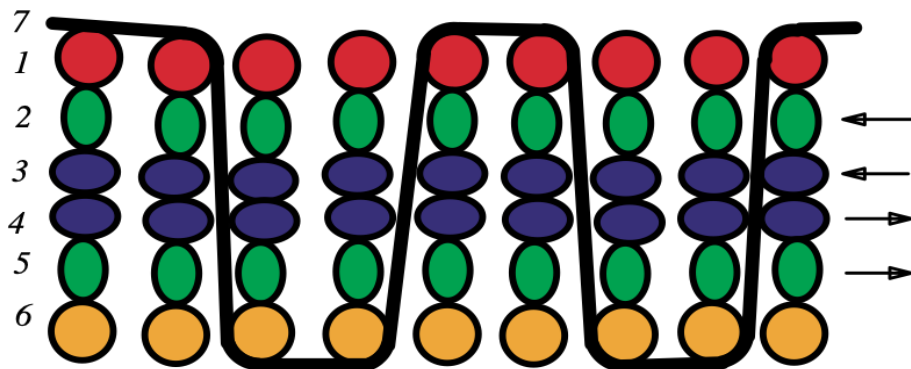
Slika 16-4: Unutrašnji deo seta sedem aksialne tkanine S_{30} (zelena boja), Z_{30} (crvena boja), S_{60} (tamno vijoličasta boja) i Z_{60} (crna boja) to su 4 osnove, koje zauzimaju sa potkom ugao 30 odnosno 60 stepeni. Potka i normalne osnove nisu pokazane.



Slika 16-5: Umutrašnji deo seta sedam aksialne tkanine plus gornja normalna osnova na licu tkanine (donja normalna osnova na poledini tkanine i potka nisu pokazane) S_{30} (zelena boja), Z_{30} (crvena boja), S_{60} (tamno vijaličasta boja), Z_{60} (crna boja); 4 osnove, koje zauzimaju s potkom ugao 30 odnosno 60 stepeni, normalna osnova (okomita tamno crvena boja), potka (crna boja - vodoravno)



*Slika 16-6: Potpuni sastav sedam aksialne tkanine; ne vidi se normalna osnova na poledini tkanine
S30 (zelena boja), Z30 (crvena boja) i S60 (tamno vijolčasta boja) te Z60 (crna boja); 4 osnove, koje zauzimaju s potkom ugao 30 odnosno 60 stepeni, normalna osnova (okomita tamno crvena boja), potka (crna boja - vodoravno)*



Slika 16-7: Potkin presek 7 aksialne tkanine

1 - normalna osnova na licu tkanine, 2 - S₃₀ osnova, 3 - S₆₀ osnova, 4 - Z₆₀ osnova, 5 - Z₃₀ osnova, 6 normalna osnova na na donji strani tkanine, 7 - potka

Literatura

1. Jakšić D. 1998. Properties and applicability of tetraxial fabrics. Lyon, Institut textile de France, Techtextil symposium '98: Textile & construction: proceedings, 28 - 29 May 1998, Lyon, France, Volume 1: 17-22.
2. Mamiliano D. 1994. Tetraxial fabric and weaving machine for its manufacture. USA Patent 5,351,722; 1994 -10-04.

17. TEKSTILIJE, KOJE SU NAMENJENE ZA ZAŠTITU OD BALISTIČKIH PROJEKTILA

17.1. Područja upotrebe

U 6. poglavlju smo govorili o projektovanju tekstilija namenjenih raznim vrstama odeće. Uloga tekstilije kao toplotnog izolatora veoma je detaljno obrađena. Ipak odeća može imati i drugačiju ulogu. Ta uloga može biti veoma specifična - zaštita pojedinih delova tela od manjih balističkih projektila ispaljenih iz pištolja, puške ili mitraljeza. Takva uloga tekstilija je novijeg datuma. Zaštitna odela su se počela proizvoditi tokom Drugog svetskog rata. Ova odela bila su, pre svega, namenjena vazduhoplovcima. Njihova primarna uloga je bila zaštita ljudi od letećih projektila, bilo da su to balistički projektili, koji su prodrli u avion, ili fragmenti nastali prilikom eksplozije protivavionskih granata. Iskustvo je pokazalo da je takva zaštita prilično efikasna. Zbog toga se

razvoj delova zaštitne odeće nastavio.

Na primer, ako projektil, ispaljen iz pištolja, ima masu približno 8 grama i početnu brzinu veću od 200 m/s, on će imati veliku kinetičku energiju. Takav projektil probija običan odevni predmet, prodire kroz telo i preko suprotnog sloja odeće izlazi na drugu stranu. Ako pogodi jaku kost, takođe može ostati u telu. Iz iskustva, nažalost, znamo da nekoliko slojeva odeće ne predstavlja ozbiljnu prepreku za prodiranje balističkih projektila. Odelo delimično štiti telo od fragmenata, izazvanih eksplozijom mine ili bombe, ukoliko kinetička energija takvih čestica nije velika. Očigledno je da projekte, koji imaju veliki radijus kretanja ili kinetičku energiju, može zaustaviti samo veliki broj slojeva tkanine ili zategnutih niti zalijepljenih na foliju i slično. Na primer, ako je reč o zaštitnom prsluku, on treba da bude debljine nekoliko centimetara, što obično znači više od 20 slojeva tkanine, itd. Takav prsluk - prsluk od najlonske tkanine, teži više od 6 kg i zbog velike mase teško ga je koristiti u pešadijskim jedinicama. Ali kada je o životu reč, ništa nije previše teško. U motorizovanim i specijalnim jedinicama i vazduhoplovstvu, međutim, masa nije veliki problem. Takav prsluk takođe koriste snage bezbednosti (policija i sl.) u pojedinačnim akcijama.

Uopšteno, veoma je teško koristiti zaštitnu odeću ako korisnik proizvodi previše toplote (marširanje, trčanje, sporo planinarenje, itd.), jer se telo pregrejava. Međutim, bolje je biti pregrejan nego mrtav. Zbog toga se negativni fiziološki efekti zanemaruju, sve dok se previše ne umanjuje borbena sposobnost korisnika.

17.2. Karakteristike materijala za izradu zaštitne odeće

U početnoj fazi razvoja uglavnom se koristio najlon, koji je pokazao bolja svojstva od prirodnih ili hemijskih vlakana, osim prirodne svile. Na slici 17-1 prikazane su granične brzine projektila mase 17 grama. Krivulja 1 se odnosi na svilenu tkaninu mase 152 g/m², krivulja 2 na svilenu tkaninu mase 339 g/m², a krivulja 3 na najlonski materijal mase 441 g/m² [1]. Testirani su prsluci koji imaju masu 1,2 do 6 kg/m². Prsluk mase 6,08 kg/m² ima 40 slojeva lakše svilene tkanine, prsluk mase 6,102 kg/m², od teže svilene tkanine, ima samo 18 slojeva tkanine, a najlonski prsluk mase 6.174 kg/m² samo 14 slojeva tkanine.

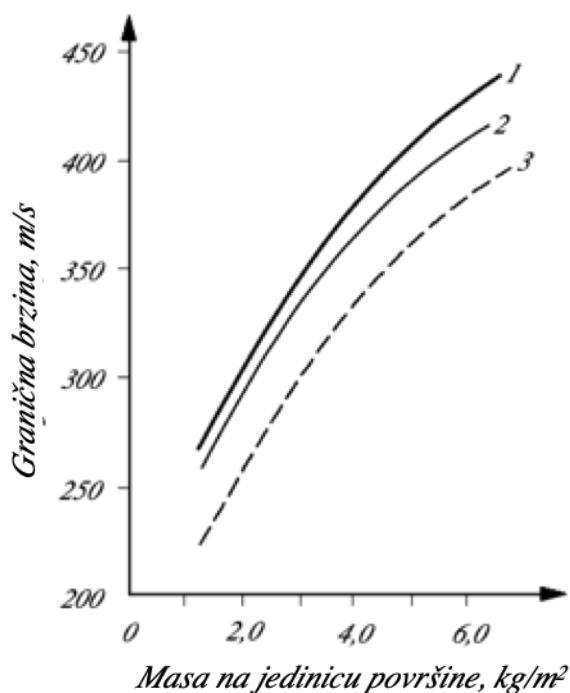
Kao što se vidi na slici 17-1, prsluk izrađen od lakše svilene tkanine, koji ima 6 kg/m^2 , zadržava navedeni projektil ukoliko on nema brzinu veću od 420 m/s . Prsluk izrađen od teže svilene tkanine zadržava projektil koji se kreće brzinom od oko 400 m/s , a najlonski prsluk zadržava projektil koji se kreće brzinom od oko 370 m/s . Projektili koji se kreću približno do 400 m/s su spori. Takve brzine imaju projektili na velikoj udaljenosti od mesta ispaljenja ili eksplozije (bombe, granate, itd.).

Sledi da bi prsluk mase 6 kg/m^2 zaštitio vitalne delove tela u najvećem broju slučajeva u realnim uslovima borbe.

U novije vreme su proizvedena visoko modularna vlakna [2], zasnovana na aromatičnim poliamidima kao što su Kevlar, Nomeks, Tvaron, Teknora i vlakno X, ili na bazi polietilena –

Spektra i slično. Ova vlakna su otpornija na deformacije od prirodnih vlakana. To je prikazano u tabeli 17-1.

Granična brzina projektila odnosi se na onu brzinu pri kojoj projektil još ne prolazi kroz sloj tkanine izrađene od datog vlakana. Masa ovih slojeva je oko 6 kg/m^2 . Generalno gledano, Kevlar 39 i vlakno X su veoma pogodni za izradu delova odeće koji se koriste kao zaštita od letećih projektila. Međutim, Spektra ima još bolje karakteristike. Pored tkanina, plastični umeci, na koje su nalepljene zategnute niti u više slojeva i pravaca tako da je svaki sloj u ravnini zarotiran za određeni ugao, koriste se za zaštitu od projektila za pojedine delove prsluka.



Slika 17-1: Granične brzine projektila, na kojima projektil ne probija prsluk u zavisnosti od mase prsluka i upotrebljene vrste vlakana

Za sada mehanizam deformacije pređe prilikom udara projektila nije u potpunosti pojašnjen. Zanimljivo je međusobno poređenje različitih materijala. Multifilamentna pređa se može uporediti čak sa čelikom i pokazuje relativno bolju otpornost na prolaz projektila s jedne na drugu stranu

zaštitnog sloja. Uporedni rezultati su prikazani u tabeli 17-2. Inače, vlaknovine nisu primerene kao materijal za upotrebu u delovima zaštitne odeće.

Tabela 17-1: Vrednosti nekih parametara kvaliteta različitih vrsta vlakana, koja se koriste za zaštitu od projektila

Vrsta vlakana	Prekidna jačina mN/tex	Istezanje pri prekidu, %	Modul elastičnosti, mN/tex	Brzina rasprotiranja zvuka, m/s	Granična brzina projektila, m/s
Najlon	795	18	3.540	3.000	380
Kevlar 29	2.031	4	35.400	9.400	500
Prirodna svila	440	18	4.154	3.000	426
Vlakno X	2.650	6	35.400	9.400	500
Spectra	2.700	4	32.000	9.400	500

Tabela 17-2: Poređenje probojnosti projektila kroz štitove iz različitih materiala

Matrijal	Gustina na jedinicu površine, kg/m ²	% probojnosti u poređenju sa aluminijem na udaljenosti 1 m od mesta ispaljenja	% probojnosti u poređenju sa aluminijem na udaljenosti 0,5 m od mesta ispaljenja
Stakleno vlakno Doron	7,8	80	80
Najlon	8,0	82	93
Aluminijska legura	9,8	100	100
Čelik za šljemove	13,7	140	117

17.3. Matematička analiza prodiranja projektila

Sve ukazuje da je otpornost tekstilnih proizvoda na prodiranje projektila u neposrednoj vezi sa ravnotežom između visokog modula vlakana, koji smanjuje deformaciju (izduženje) uzrokovanu dinamičkim udarom projektila, i povećane brzine apsorpcije energije i kidanja vlakana, koje se uglavnom povećava kako vrednost modula raste.

Mehanizam prodora projektila se može generalizovati. Slično je i sa drugim spoljnim uticajima, koji prouzrokuju deformaciju ravnih tekstilija, ali pri brzinama manjim nego što je brzina projektila kada pogodi površinu ravnog tekstilnog proizvoda. Iz tog razloga ćemo detaljnije obraditi mehanizam deformacije, koju prouzrokuje projektil, na ravnom tekstilnom proizvodu.

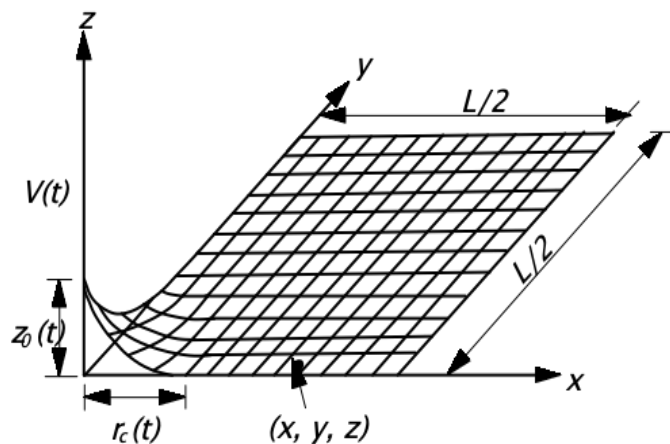
Ako slojevi tkanine leže u ravnini xy i koordinatno ishodište postavimo u tačku gde projektil prodire kroz slojeve tkanine, tako da se kreće duž z -ose u njenom pozitivnom smeru, posle određenog

vremena imaćemo položaj prikazan na slici 17-2. Na slici je prikazan samo onaj deo tkanine koji leži u prvom kvadrantu. On je podeljen na veliki broj malih površina. Možemo pretpostaviti da su njihove granične linije niti osnove i potke. Tačke, u kojima se ta dva sistema ukrštaju (pretpostavimo da je tkanina u platnenom prepletaju), jesu vezivne tačke u kojima se ta dva sistema spajaju. Preko ovih veznih tačaka se u ravan prenose napetosti i deformacije. To je najizraženije kod triaksijalne i posebno kod tetraaksijalne tkanine. Mreža tačaka nam omogućava da rešimo diferencijalnu jednačinu 17.1 pomoću niza diferencijalnih jednačina tako da za svaku tačku rešetke postavimo diferencijalnu jednačinu [3].

$$mdv = Tdt \quad (17.1)$$

gde su:

- m - masa elementa tkanine, koji je pod uticajem udara projektila;
- dv - diferencijal brzine deformacije dela tkanine, koji je pod uticajem udarca projektila;
- dt - diferencijal vremena posmatranja događaja.
- T - sila udarca projektila, od koje je odvisno raztezanje tkanine u tački udara projektila.



Slika 17-2: Idealizirani model deformacije bi-aksijalne tkanine zbog udarca projektila

Na slici 17-2 je:

- $z_0(t)$ - brzina deformacije dela tkanine u tački udarca projektila;
- $r_c(t)$ - radijus vektor, koji nam pokazuje rasprostranjenost deformacije na površini tkanine u vremenu t , kada je dostignuta brzina $z_0(t)$;
- tačka (x, y, z, t) u blizini ose je van područja delovanja deformacije tkanine koja se pojavljuje zbog udarca projektila

Projektil udara određenom brzinom u određenu tačku na površini tkanine. Ta se brzina postepeno smanjuje i projektil se zaustavlja na određenoj visini izbočine na tkanini, izuzev ako probije tkaninu ili sve slojeve tkanine koji čine zaštitni deo odeće. Zbog toga nastaju deformacije koje se šire u

koncentričnim krugovima oko tačke udara projektila. Što je taj krug udaljeniji od tačke udara, to je manja deformacija dela tkanine koji leži na tom krugu. Deformacije se tako šire samo u izotropnom ravnom tekstilnom proizvodu kao što su, na primer, triaksijalna, tetraaksijalna ili petaksijalne tkanina u pravcu osnovnih niti. Potka je vezna komponenta. Međutim, u biaksijalnoj tkanini, koja je anizotropna, konfiguracija deformacija je veoma umanjena.

Projektil određene mase ima u trenutku kontakta sa površinom tkanine određenu brzinu i samim tim određenu količinu kinetičke energije. Kada projektil prodire kroz tkaninu, gubi deo ili čitavu svoju kinetičku energiju, u zavisnosti od toga da li je prodro kroz tkaninu ili se u njoj zaustavio. Gubitak kinetičke energije može se ilustrovati jednačinom 17.2:

$$\Delta E_p = \frac{1}{2} m_p (v_p^2 - v_r^2) \quad (17.2)$$

gde su:

- ΔE_p - gubitak kinetičke energije projektila;
- m_p - masa projektila;
- v_p - brzina projektila prilikom sudara sa površinom tkanine
- v_r - preostala brzina projektila kada on napusti slojeve tkanine; ukoliko ne probije sve slojeve tkanine, onda je $v_r = 0$.

Kada projektil prodire kroz slojeve tkanine, gubi kinetičku energiju, odnosno prenosi je na slojeve tkanine kroz koje prodire. Kinetička energija, koju primaju slojevi tkanine, može se opisati sledećom jednačinom:

$$E_f^k = \int_A \frac{m}{2} [v(x,y,t)]^2 dA \quad (17.3)$$

gde su:

- $E_f^k(t)$ - kinetička energija, koju dobijaju slojevi tkanine;
- m - deo mase sloja tkanine koji je izložen uticaju projektila;
- v - brzina deformacije;
- A - površina na kojoj se razprostire deformacija.

17.4. Uticaj otpornosti tekstilija na otpor prodiranju projektila

Tabele 17-1 pokazuju da je modul elastičnosti najvažniji parametar kvaliteta u pogledu prodiranja projektila. Što je veća vrednost modula elastičnosti vlakana, tim je veći otpor prodiranju projektila imaće zaštitna odeća proizvedena od takvih vlakana ili monofilamenata, koji su udruženi u multifilament, odnosno pređu. Ako poznamo sve vrednosti parametara kvaliteta tkanine, možemo prilično tačno predvideti tok prodiranja projektila kroz slojeve date tkanine. Proračuni su veoma

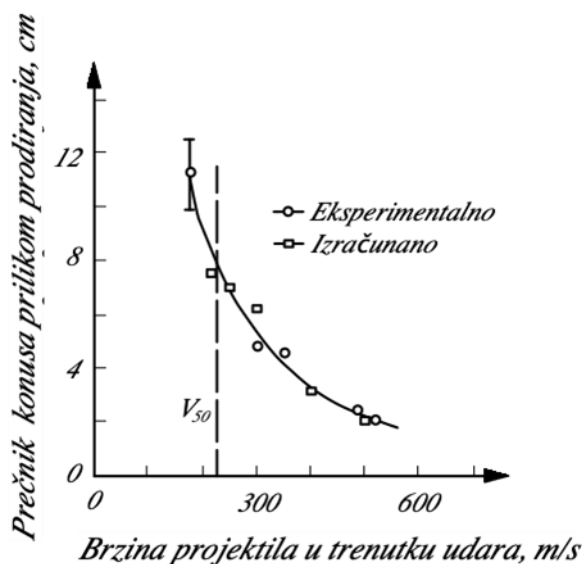
zahtevni i mogu se izvesti pomoću velikog računara. Eksperimentalne tehnike za merenje su takođe veoma zahtevne. Slika 17-3, međutim, pokazuje da se izračunavanja, zasnovana na prilično pojednostavljenom modelu prodiranja projektila, veoma dobro podudaraju sa eksperimentalnim rezultatima.

Visina konusa (deformacije) u trenutku proboja zavisi od brzine udara projektila na površinu tkanine. Što je ta brzina manja, deformacija je veća. To je zato što pri manjim brzinama projektila tkanina ima više vremena za prilagođavanje (deformaciju). Zbog svoje inercije, proces istežanja ima određena ograničenja brzine i zato prilikom povećanja brzine sudara zaostaje. Međusobna poređenja četiri različite vrste vlakana nam govore o tome kako pojedinačne osobine vlakana utiču na ponašanje prilikom sudara sa projektilom [4] (Tabela 17-3).

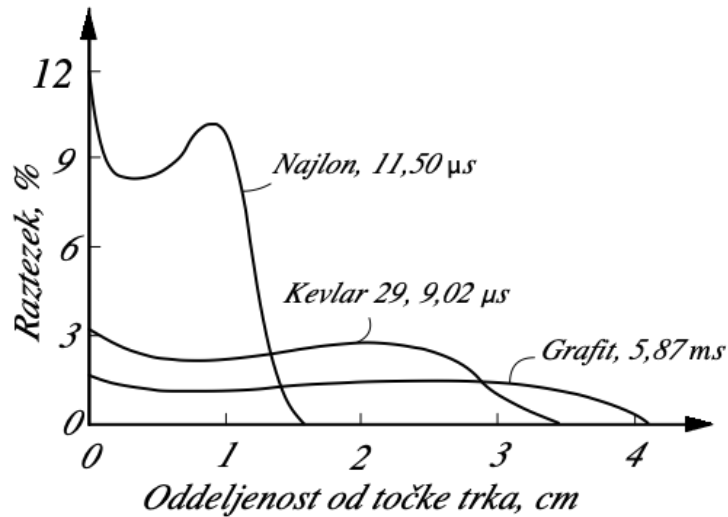
Na slici 17-4 prikazana je raspodela deformacije (istežanja) u zavisnosti od vrste vlakana i udaljenosti od tačke udara projektila. Grafit ima najveću vrednost modula elastičnosti. Najlon ima najmanju vrednost modula elastičnosti i samim tim se najviše deformiše. Međutim, ova deformacija se raspoređuje na manjoj površini nego kod grafitne tkanine.

Na slici 17-5 prikazane su deformacije jednog sloja najlonske tkanine usled udara projektila na njegovu površinu, pri različitim brzinama udara, u zavisnosti od vremena nakon udara. Krivulje su valovite. Valovitost nastaje usled uticaja povratnih talasa koji se šire po površini tkanine nakon sudara.

Slika 17-6 prikazuje relativno smanjenje brzine projektila u zavisnosti od vremena prodora. Očigledno, najveće usporavanje postizemo grafitnom tkaninom; sa Kevlarom 29, međutim, postizemo maksimalno smanjenje brzine.

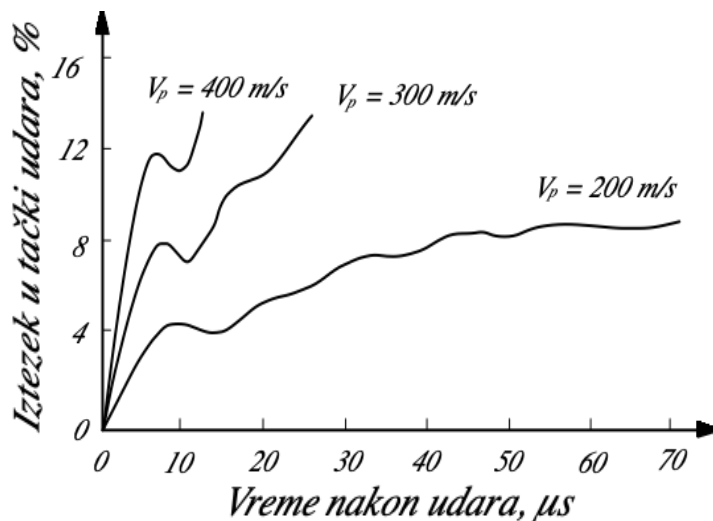


Slika 17-3: Poređenje izračunatih i eksperimentalnih rezultata deformacije jednoslojne tkanine koja je izrađena od Kevlara 29 u trenutku, kada je projektil probio tkaninu

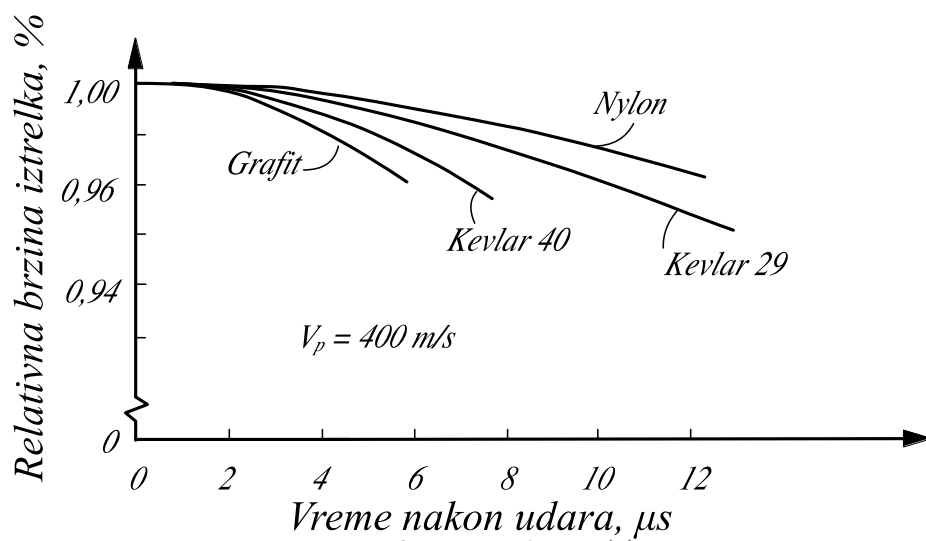


Slika 17-4: Raspored deformacije u zavisnosti od vrste vlakana i udaljenosti od tačke udara projektila na površinu tkanine brzinom 400 m/s kod različitih vremena merenja

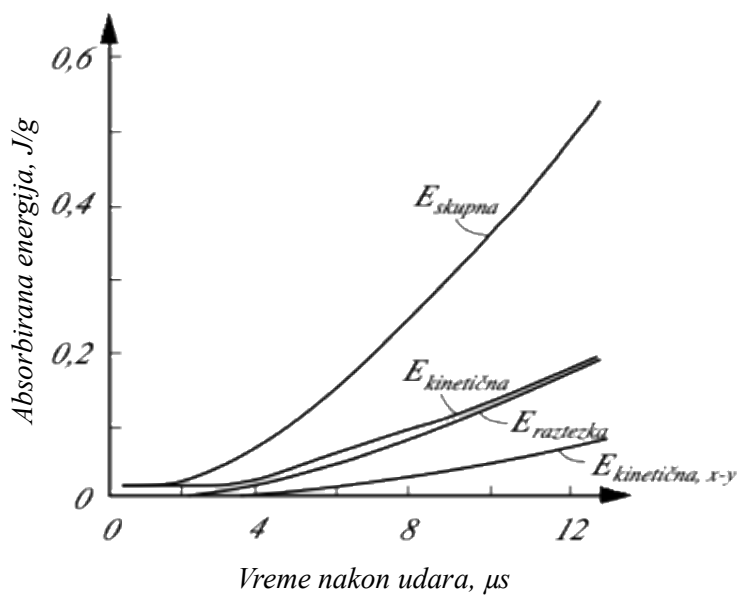
Projektil gubi većinu svoje kinetičke energije u pravcu probijanja (sl. 17-7, smer ose z). Veći deo energije se iskoristi za deformacije, manji deo se gubi po ravnoj površini tkanine. Na slici 17-8 prikazano je poređenje apsorpcije kinetičke energije projektila u različitim vrstama tkanine. Grafitna tkanina najbrže apsorbuje energiju, Kevlar 29 apsorbuje najviše energije. Poređenje istežanja (deformacije) na mestu udara, u zavisnosti od vremena, dato je na slici 17-9. Najlon se najviše deformiše, grafit najmanje; međutim grafitna tkanina puca



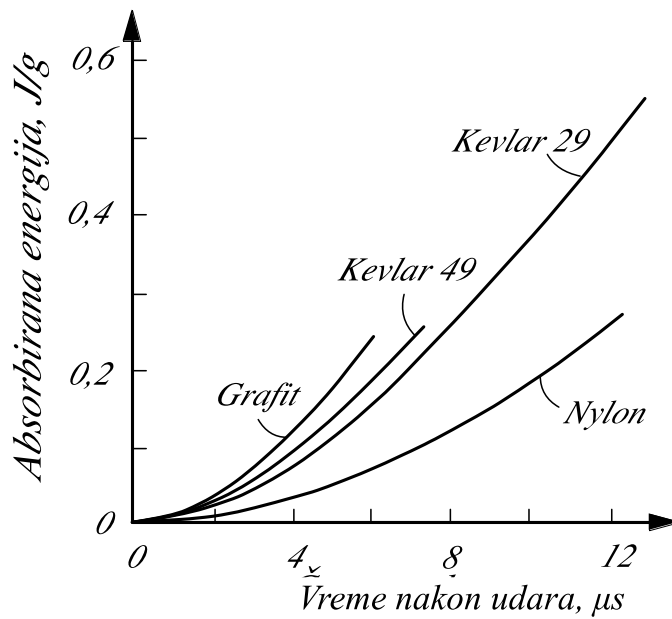
Slika 17-5: Uticaj početne brzine projektila (brzina u trenutku udara o površinu tkanine) na promenu deformacije na jednoslojnoj najlonskoj tkanini u tački udara



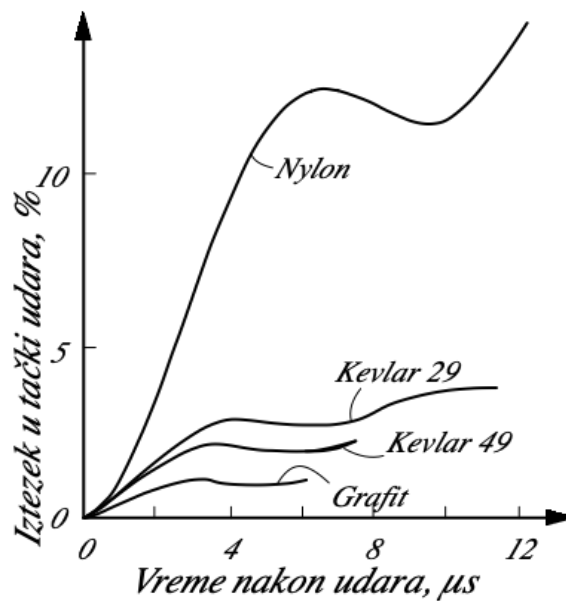
Slika 17-6: Relativno smanjenje početne brzine projektila (400 m/s) u zavisnosti od vrste tkanine i vremena prodiranja u μs



Slika 17-7: Energija, koju absorbuje Kevlar 29 nakon sudara sa projektilom (masa 1,10 g), koji ima brzinu 400 m/s



Slika 17-8: Poređenje absorbovane energije projektila kod posmatranih vrsta tkanina u zavisnosti od vremena, koje proteče nakon sudara (masa projektila 1,10 g, sudar pri brzini projektila 400 m/s)



Slika 17-9: Zavisnost veličine deformacije (istezanja) u tački sudara od vrste vlakana i od vremena nakon sudara (masa izstrelka 1,10 g, brzina prilikom sudara 400 m/s)

Tabela 17-3: Neki parametri kvaliteta ispitanih tkanina

Parameter kvaliteta		Vrsta tkanine			
		Najlon	Kevlar 29	Kevlar 49	Grafitna
Modul elastičnosti, $\mu\text{N}/\text{tex}$		5.150	35.400	63.720	170.560
Razteznost pri prekidu, %		14,0	4,0	2,2	1,1
Masa na jedinicu površine tkanine, g/m^2		488	436	644	677
Finoća pređe, tex		1.167	1.297	1.650	1.677
Gustina	po osnovi	17	16	16	16
	po potci	17	16	16	16

17.5. Neka moderna rešenja na području neprebojnih tkanina

17.5.1. Dalji razvoj tkanina za zaštitu od projektila

Za proizvodnju neprobojnih prsluka za ličnu zaštitu, kao i za proizvodnju neprobojnih ploča, koriste se tkanine proizvedene od vlakana visoke izdržljivosti. Primer za to je Spektra, koja je polietilensko vlakno, i ekvivalentna je aramidnim vlaknima, samo što ima neke još bolje karakteristike.

Problem se javlja prilikom izrade tkanina iz visokomodularnih (izdržljivih) vlakana Normalna biaksijalna tkanina ima određeni procenat utkanja osnove i potke. To se ne može izbeći zbog prepletanja osnove i potke. Prilikom udara koničastog projektila malog prečnika, niti će se razmaknuti u smeru potke ako je osnova zategnuta. U tom pravcu tkanina ne pruža nikakav otpor dok se potka ne zategne.

Od triaksijalne tkanine se mnogo očekivalo. Ako triaksijalnu tkaninu deformišemo u bilo kom pravcu (slika 17-10), možemo izvesti dokaz o izotropnosti triaksijalne tkanine u pravcu svake osnove, što prikazuje jednačina 17.4. Jednačina 17.3 izvedena je pod pretpostavkom da su sva tri sistema zategnuta. Za izotropiju triaksijalne tkanine u pravcu niti osnove moraju biti ispunjeni sledeći uslovi:

- pređa u sva tri sistema mora biti potpuno ista;
- gustina niti mora takođe biti ista u svakom sistemu;
- ukanje u sva tri sistema mora biti identično.

U realnoj tkanini, utkanje pojedinih sistema niti nije isto, ili ga je veoma teško postići. To je, međutim, dovoljan razlog za anizotropiju triaksijalne tkanine. Pored toga, nije moguće izbeći utkanje. Pokazalo se da triaksijalne tkanine daju manju otpornost proboju projektila u odnosu na uporednu biaksijalnu tkaninu. Kod izrade triaksijalne tkanine nijedan sistem se ne može zadržati u zategnutom položaju. To je veoma veliki nedostatak triaksijalnih tkanina ako se koriste za zaštitu od projektila. Niti se moraju prvo zategnuti pre nego što do izražaja dođe modul elastičnosti pređe.

U slučaju višeaksijalnih tkanina, izotropija podrazumeva isto opterećenje i izduženje, ako ista sila deluje u pravcu bilo kog sistema niti osnove. To nije slučaj ako je pravac dejstva sile između sistema niti.

Tetraaksijalna tkanina ima bolja svojstva od triaksijalne tkanine. Umesto dva ili tri sistema niti, ima četiri sistema. U stvari, to je normalna dvoosna tkanina koja je ojačana sa dva dodatna sistema niti osnove. Sistemi međusobno zatvaraju ugao 45 stepeni. U triaksijalnoj tkanini ovaj ugao je 60, a u biaksijalnoj 90 stepeni.

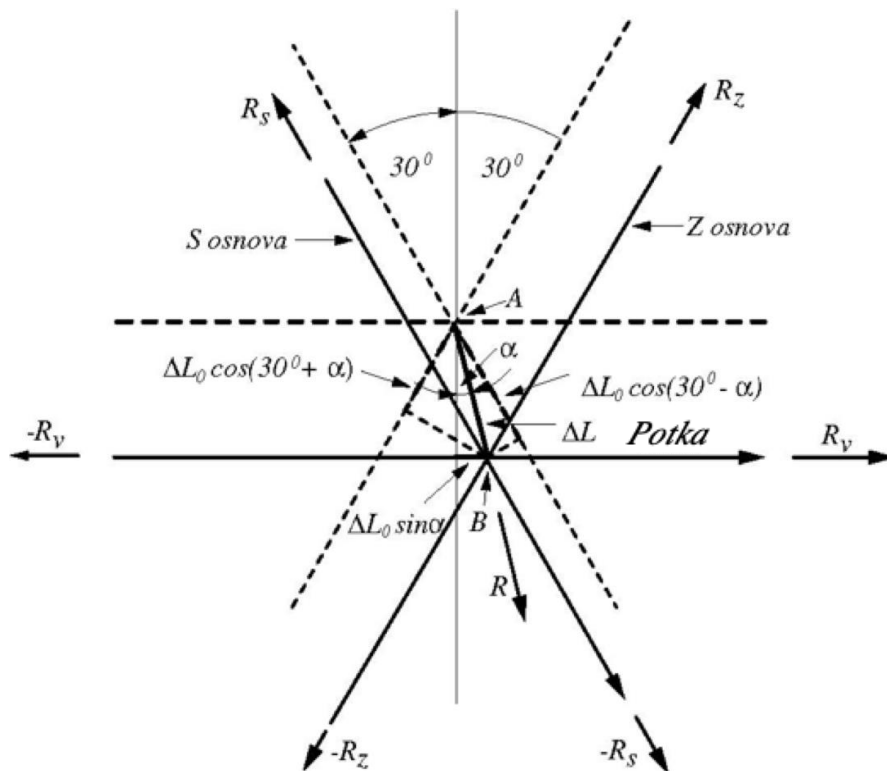
Na svetskom tržištu se mogu naći tetraaksijalne tkanine koje se proizvode u Japanu. Japanci imaju funkcionalne razboje za proizvodnju tetraaksijalnih tkanina. Trebalo im je 20 godina da razviju mehanički tkački razboj na osnovu ručnog tkačkog razboja za tkanje tetraaksijalnih tkanina. Razboji koji se mogu videti na internetu izgledaju prilično složeni. Njihova tetra-aksijalna tkanina bi trebala imati sledeće osobine [5]:

- multifazni prekid;
- veliku otpornost na trenje;
- stabilnost dimenzija;
- veliku apsorpciju i disperziju sile;
- mogućnosti različitih aplikacija upotrebom različitih vlakana.

Gore navedene osobine pokazuju da je tetraaksijalna tkanina neuporedivo bolja za neprobojne prsluke od triaksijalne tkanine. Deformacija triaksijalne tkanine prikazana je na slici 17-10. Dijagram deformacije tetraaksijalne tkanine prikazan je na slici 17-11. Ne samo da nije moguće proizvesti biaksijalnu i triaksijalnu tkaninu sa zategnutim nitima u svim sistemima, nego nije moguće proizvesti izotropnu tetraaksijalnu tkaninu. Moguće je tkati zategnute niti tri sistema osnove. Potka se utkiva, što znači da takva tkanina nije stabilna u smeru potke. Kod izrade neprobojnih prsluka i neprobojnih ploča, moguće je zarotirati slojeve u odnosu na njihov početni položaj, rotiranjem sledećih slojeva tkanine za 45 stepeni, zatim za 90 stepeni, i tako dalje. Budući da se, na primer, neprobojna ploča sastoji od velikog broja slojeva međusobno povezanih lepilom (smolom), komponovana ploča je zaista izotropna. Međutim, veoma je teško dostići zategnutost svih triju sistema osnove ako se posmatra samo jedan sloj tkanine.

17.5.2. Materijal za proizvodnju tetraaksijalnih tkanina

Zbog činjenice da je naša tetraaksijalna tkanina prvenstveno namenjena kao osnovni materijal za proizvodnju neprobojnih prsluka za policiju i vojsku, bilo je potrebno odabrati vlakna visokih mogućnosti, kao što su: Nomeks, Kevlar, Spektra, vlakno X, itd. Nomeks i Kevlar su aramidna vlakna. Spektra je polipropilen. Ona je najpovoljnija jer ima specifičnu masu manju od 1 g/cm³. U svom prospektu, u područjima upotrebe, Japanci ne navode neprobojne prsluke.



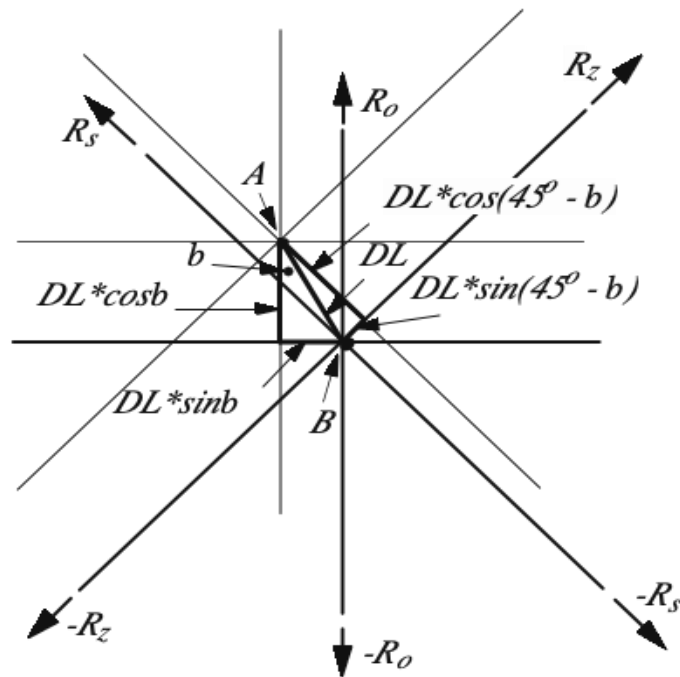
Slika 17-10: Diagram deformacije tri-aksialne tkanine

Razvili smo ručni razboj za tkanje tetraaksijalnih tkanina. Za tkanje tetraaksijalnih tkanina izabrali smo pređu firme „Teijin“, koja se podudara sa našim zahtevima (150 kalemova po 0,5 kg i 90 zavoja/m, što je optimalni broj zavoja multifilamentne aramidne pređe - *Tvaron*). Iz njihovog proizvodnog programa uzeli smo finoću pređe koja najbolje odgovara za naše potrebe. Jednačina (17.4) opisuje rad prilikom deformisanja triaksijalne tkanine.

$$W = \frac{K \Delta L_0^2}{2} \frac{3}{2} (\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha) = K' \Delta L_0^2 \quad (17.4)$$

gde su:

- K - koeficient otpornosti niti;
- ΔL - deformacija niti;
- W - izvršeni rad.



Slika 17-11: Dijagram deformacije tetra aksialne tkanine

Jednačina 17.5 opisuje deformaciju tetra aksialne tkanine.

$$W = \frac{K \Delta L^2}{2} (2 + \cos^2 45^\circ + \sin^2 45^\circ) = \frac{K \Delta L^2}{2} (2 + 1) = \frac{3K \Delta L^2}{2} \quad (17.5)$$

U jednačini (17.5) označavaju:

- W - obavljeni rad,
- K - koeficijent otpornosti,
- ΔL - Deformacija niti.

Kvalitet pređe:

- Tip: Twaron 1.000.
- Finoća pređe: 1.680 dtex
- Broj filamenata u pređi: 1.000.
- Linearna gustina (dtex): 1.720 (standardna devijacija: 12,0).
- Prekidna jačina (N): 335 (standardna devijacija: 7,0).
- Specifična nategnutost (MPa): 2.808 (standardna devijacija: 73.0).
- Istezanje pri prekidu (%): 3-4 (standardna devijacija: 0,06).
- Modul elastičnosti (GPa): 72 (standardna devijacija: 1,6).

- Broj zavoja pređe (Z/m): 90 (optimum za tu pređu).
- Avivaža - apretura (%): 0,75 (standardna deviacija: 0,09).

Prilikom konstrukcije i izrade razboja računali smo na pređu finoće 1000 dtex i finiju. Tkanina je rađena u 8-veznom osnovnom atlasu. Ona je pogodna za armaturu u kompozitima, kao što su neprobojne ploče, jer je zaista moguće postići zategnutost tri sistema osnove. Ovaj prepletaj se odnosi na povezivanje između normalne potke i normalne osnove.

Međutim, upotreba tkanine u ovom prepletaju može biti problematična za upotrebu neprobojnih prsluka, zbog mogućnosti odmicanja niti od pravca kretanja projektila. Definitivno je pogodna u slučaju udara projektila koji nema oštar vrh. Ako posmatramo udar malog projektila sa oštrim vrhom (praktično je sva sila skoncentrisana u tački udara), može doći do poprečnog razmicanja niti. To je ujedno i osnovni razlog što se sadašnji neprobojni prsluci izrađuju od tkanina tkanih u prepletaju platno. U takvoj tkanini niti imaju veliko utkanje, što je negativno, jer ne preuzimaju odmah snagu udara projektila, nego se to dešava kada nit bude potpuno zategnuta. Laboratorijski testovi, a posebno praktični testovi na strelištu, pokazaće da li su realne pretpostavke o korišćenju 8-veznog atlasa za proizvodnju neprobojnih prsluka. U svakom slučaju, 8-vezni atlas nije pogodan za izradu neprobojnih prsluka jer bi već pri udaru projektila iz lakog oružja došlo do razmicanja niti.

U prepletaju 8-vezni osnovin atlas, niti su međusobno veoma labavo povezane. Svaka druga Z nit osnove se ne veže potkom, već slobodno leži između potke, koja je ispod, i normalne osnove iznad. U našem slučaju Z osnova je ispod S osnove. Sa potkom veže svaku četvrtu nit ovog osnovinog sistema. Ako se tkanina u ovom prepletaju koristi za neprobojne ploče, na kojima su niti izložene nateznom opterećenju, neće doći do razmicanja niti zbog veličine projektila i povezivanja u sloju, kao i zbog povezivanja smolom između niti.

17.5.3. Karakteristike tkanine, koja se sada upotrebljava za neprobojne prsluke

Radi poređenja, testirali smo tkaninu koju koriste za izradu neprobojnih prsluka i koja je tkana u prepletaju platno. Ova tkanina ima sledeće vrednosti mehaničkih parametara:

- Sirovina: Kevlar.
- Vrsta pređe: multi-filament.
- Broj zavoja na metar dužine pređe: 50.
- Finoća pređe osnove i potke: 3.400 dtex.
- Prekidna jačina niti osnove: 451 N; istezanje kod prekida: 3,19 %.
- Prekidna jačina niti potke: 395 N; istezanje kod prekida: 3.66 %.
- Gustina osnove: 6,7 niti/cm.
- Gustina potke: 6,7 potki/cm.
- Težina jednog m²: 500 g/m².
- Prekidna jačina (uzorak: širina 25 mm, uklještena dužina: 100 mm):

- u smeru osnove: 6.983 N; prekidno izduženje: 18,5 %.
- u smeru potke: 6.046 N; prekidno izduženje: 18,2 %.

Poroznost:

- Otvorena površina za protok gasova i tekoćina: 1,20 %.
- Broj pora/cm²: 82.

Gustina niti po osnovi i potki je 6,7 niti/cm, odnosno ukupno 13,4 niti osnove i potke/cm. U osnovnoj verziji u našoj tetraaksijalnoj tkanini biće 20 niti. To znači da bi naša tkanina bila 15 % teža. Takođe moramo uzeti u obzir činjenicu, da niti *S* i *Z* sistema leže pod uglom od 45 stepeni i duže su za faktor 1,42. Ako to uzmemo u obzir, onda nemamo 10 niti *S* i *Z* sistema, već 14,2. Masa bi bila za 3 % veća od mase biaksijalne tkanine u prepletaju platno. U slučaju dvostrukog povećanja gustoće normalne osnove, imali bismo ukupno 24,2 niti, naša tkanina bila bi 23 % teža. Međutim, ovo nije stvarno poređenje. Sistemi niti u tetraaksijalnoj tkanini postavljaju se jedan ispod drugog, osim na mestima preplitanja potke i osnove. Takođe, prepletaj u 8-veznom atlasu nije uporediv sa platnenim prepletajem. Iz tog razloga je prikladnije upoređivati tetraaksijalnu tkaninu koju ćemo kasnije tkati u četveroveznom lomljenom keperu u raportu ojačanom jednom veznom tačkom. U ovom slučaju će potka biti jednom postavljena preko dve niti normalne osnove, a zatim ispod sledeće dve. Niti *S* i *Z* sistema prepliću se nešto drugačije (3: 1 odnosno 1: 3). Ova tkanina će biti uporediva sa tkaninom tkanom u prepletaju platno. Ipak, postoji značajna razlika. Kod sile zatezanja tkanine, tkane u platnenom prepletaju, imamo prekidno izduženje nešto više od 18%.

Budući da pređa od Kevlara ima oko 4 % prekidno izduženje, znači da je utkanje pređe oko 14 %. Ovo je očigledno preveliko utkanje i negativno utiče prilikom preuzimanja spoljnog opterećenja. Takođe, u tetraaksijalnoj tkanini tkanoj u 4-veznom lomljenom ojačanom keperu u raportu biće utkanja, posebno potke. Ipak, osnovni sistemi će imati samo nekoliko procenata utkanja, što će imati blagotvoran uticaj na trenutni odgovor na spoljna opterećenja (udar projektila itd.).

U tabeli 17-4 su prikazani rezultati merenja probojne jačine tkanine u laboratoriji po standardnoj metodi, ali pri različitim prečnicima kuglice. U pogledu veličine prečnika, sa projektilom se najbolje podudara prečnik od 10 mm. Prilikom proboja kuglice, visina probijanja je bila samo 7,14 mm. To bi bilo prihvatljivo ako se ne bi previše razlikovala veličina ukleštene površine za proboj po ovoj metodi i realna površina neprobojnog prsluka pri udaru projektila. Ova je mnogo veća, čak i ako je ispod neprobojna ploča. Drugi problem je brzina projektila. Najčešća brzina projektila je između 400 i 500 m/s. Međutim, prilikom merenja probojne jačine, brzina je neuporedivo manja. Iz tog razloga, rezultati u tabeli 17-4 mogu poslužiti samo kao orijentacija.

Tkanina tkana u prepletaju platno ima izuzetno zatvorenu površinu. Samo je oko 1,20 % površine otvoreno za protok gasova i tekućina. U normalnim uslovima, ova tkanina nije propusna za tečnosti. Hidraulični prečnici pora su izuzetno mali. U stvari, bio bi nam potreban pritisak od oko 300 cm vodenog stuba da bismo vodu gurnuli kroz poru, koja ima hidraulički prečnik od samo 35 mikrometara. Međutim, moguće je protok gasova i samim tim vodene pare. Otpor protoku vodene pare u ovoj tkanini mora biti izuzetno visok (nismo ga merili). U uporednoj tetraaksijalnoj tkanini, ovaj otpor će biti mnogo manji zbog njene rastresitije strukture. To je takođe prednost naše tetraaksijalne tkanine u poređenju sa biaksijalnom tkaninom u prepletaju platno, koja se sada koristi.

U Iraku, kao i u Avganistanu, može biti zaista vruće. U takvoj klimi vojnik se može hladiti pre svega pomoću lučenja i isparavanja znoja. Zanimljivi su rezultati merenja probojne jačine (Tabela 17-4). Ona je merena u opsegu prečnika kuglica od 5 do 25 mm. Zanimljiv je odnos između sile proboja i prečnika kuglice. Ova vrednost ima 169 N/mm za prečnik kuglice od 5 mm. Za veće prečnike, međutim, ona je oko 200 N/mm. Za kuglicu promera 2,5 mm (šiljati kraj projektila) ta vrednost je 260N/mm.

Tabela 17-4: Probajna jačina guste tkanine, tkane u prepletaju platno

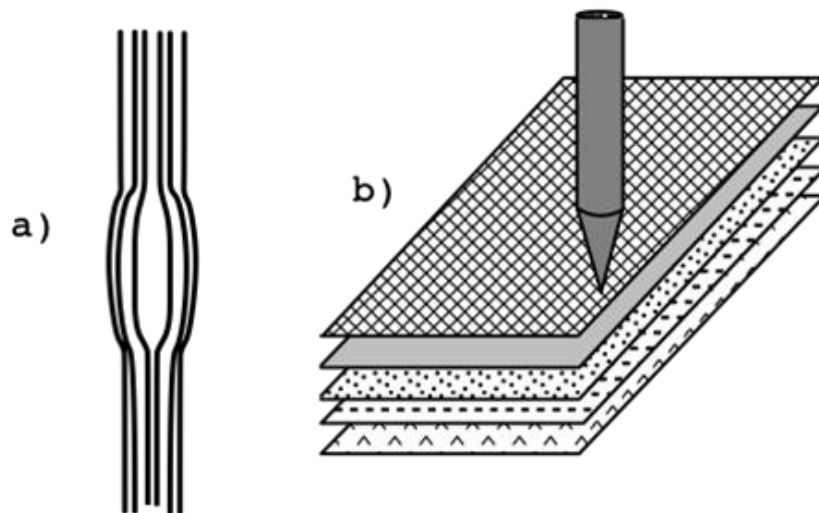
<i>Parameter</i>			
<i>Premer kuglice, mm</i>	<i>Premer uzorka, mm</i>	<i>Probajna otpornost, N</i>	<i>Visina pri probaju, mm</i>
5	10	845	4,52
10	15	1.956	7,14
15	20	3.263	9,91
20	25	4.317	9,57
25	30	6.500	11,0

Takođe možemo da analiziramo silu na površinu direktnog udara projektila (kuglice). Razlike su ovde mnogo veće. Za prečnik kuglice od 5 mm, odnos između probajne sile i projekcije površine kugle je 43 N/mm², za 10 mm ta vrednost je 24 N/mm², za 15 mm 18 N/mm², za 20 mm 14 N/mm² i za 25 mm samo 5 N/mm².

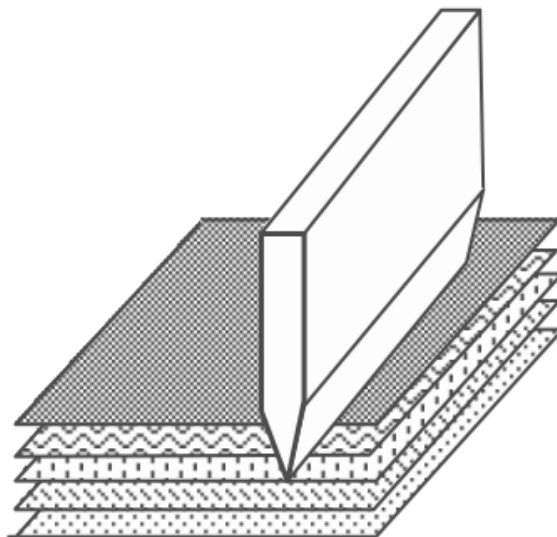
Ako uzmemo u obzir površinu tkanine, koja je izložena deformacijama, rezultati se pomeraju za jedno mesto prema dole, poslednji rezultat je 9 N/mm². Problem leži u pravilnoj interpretaciji rezultata. Veoma je važno pronaći korelaciju između laboratorijskih rezultata i stvarnih rezultata na terenu. To bi omogućilo optimalnu konstrukciju tkanine.

17.5.4. Prilagođenje konstrukcije tkanine optimalnim vrednosnim parametrima koji se zahtevaju za neprobojne prsluke

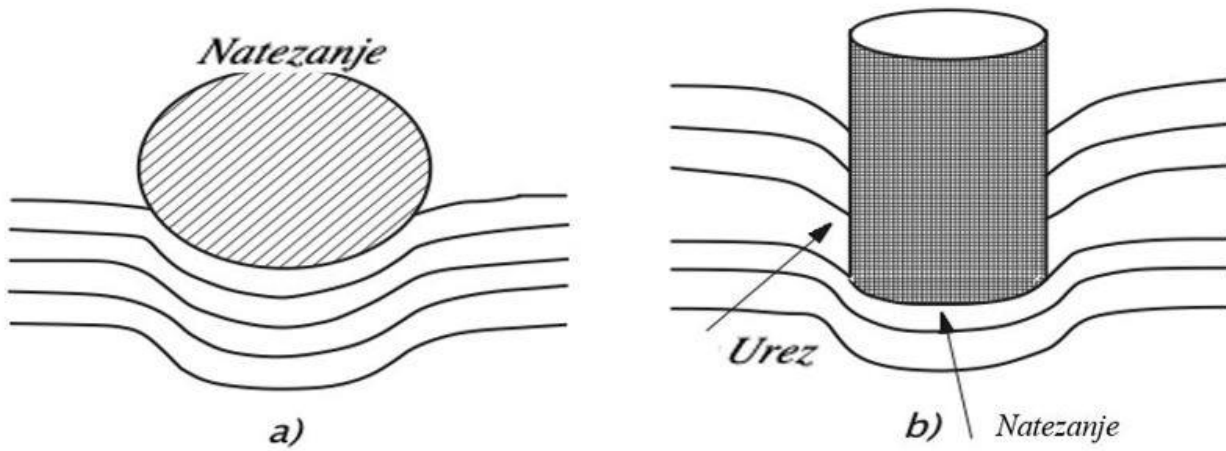
Prva varijanta prepletaja prikazana je na slici 17-20. Ovo je modifikacija 8-veznog atlasa, koji je pojačan sa tri potkine tačke naviše, tako da normalna osnova leži iznad četiri potke, a zatim ispod sledeće četiri potke. Preplitanje nije previše gusto pa se zbog toga svi sistemi osnove mogu zategnuti. U ovoj varijanti ne postoji realna mogućnost da brdilo može povući potku sa sobom. Tkanina proizvedena u ovom prepletaju biće prikladna kao armatura u neprobojnim pločama. Problem je u tome da li bi bila pogodna za izradu neprobojnih prsluka zbog opasnosti od razmicanja niti. Verovatno bi bilo moguće smanjiti ili čak eliminisati razmicanje niti udvostručenjem gustine normalne osnove i istovremenim povećanjem gustine po potki. Ova modifikacija bi značila povećanje težine tkanine po jedinici površine. To ne mora obavezno značiti smanjenje broja potrebnih slojeva u prsluku. Na slici 17-21 prikazana je varijanta prepletaja, za koju pretpostavljamo da bi bila pogodna i za tkanine namenjene za izradu neprobojnih prsluka.



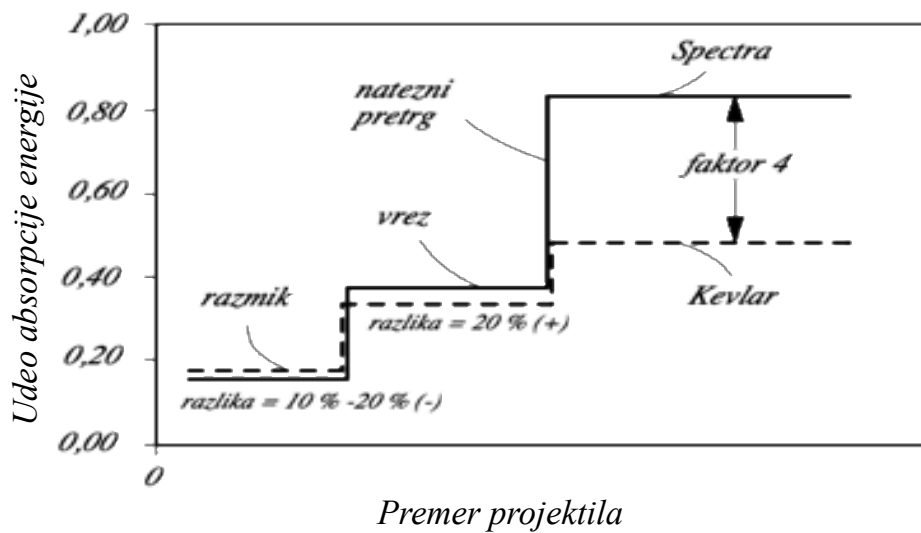
*Slika 17-12: Prodiranje tačkastog projektila maloga prečnika
a) razmicanje niti; b) izgled delovanja projektila na kompozitu*



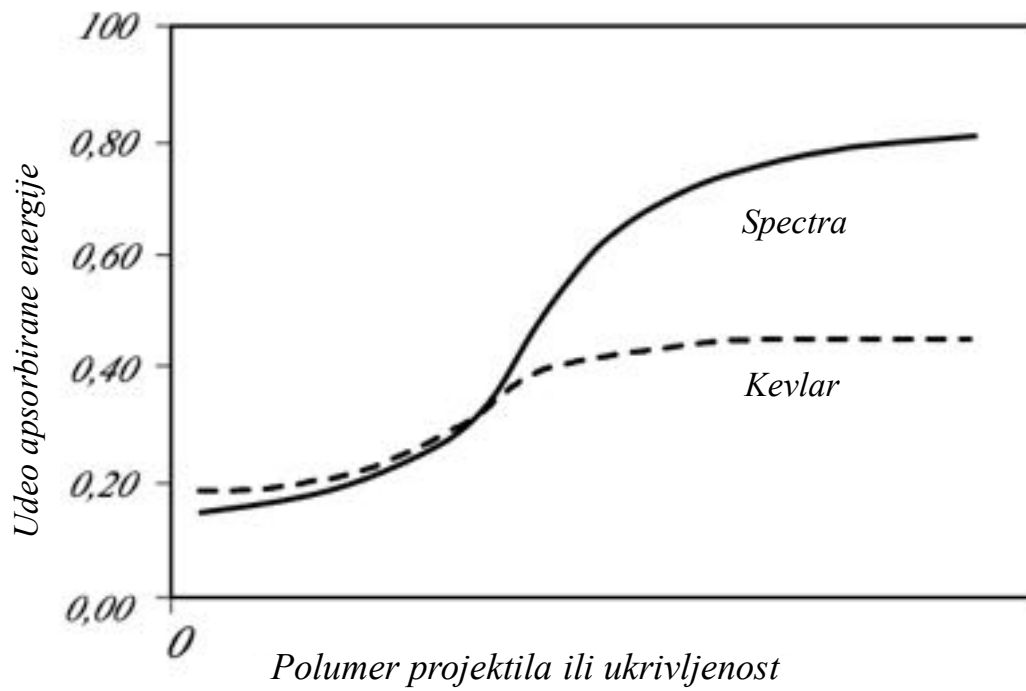
Slika 17-13: Urez (usecanje)- prodiranje reznih (oštrih) predmeta



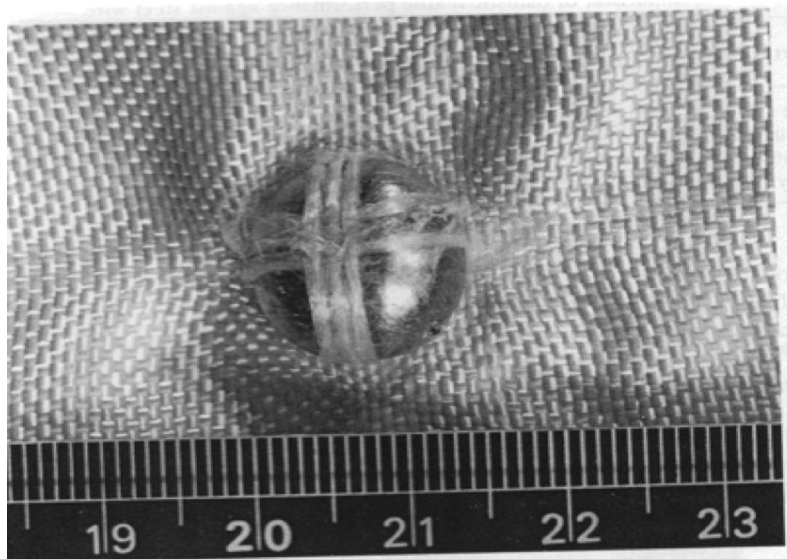
Slika 17-14: Uticaj projektila većeg prečnika projektil sa sferičnim vrhom; b) projektil z ravnim vrhom (natezanje i urez)



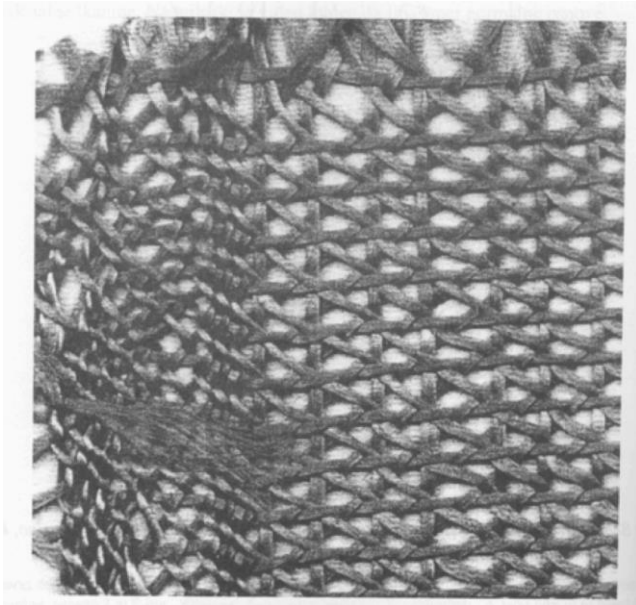
Slika 17-15: Poređenje dela apsorbovane energije između Kevlara i Spectra



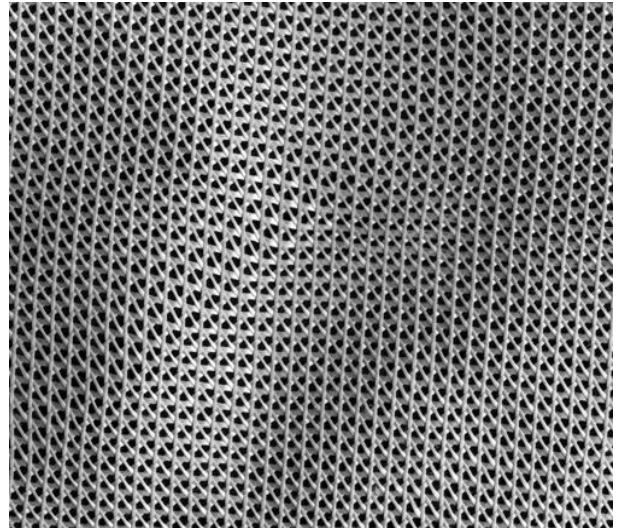
Slika 17-16: Kontinuirani prikaz apsorpcije energije u slučaju sfernog vrha projektila



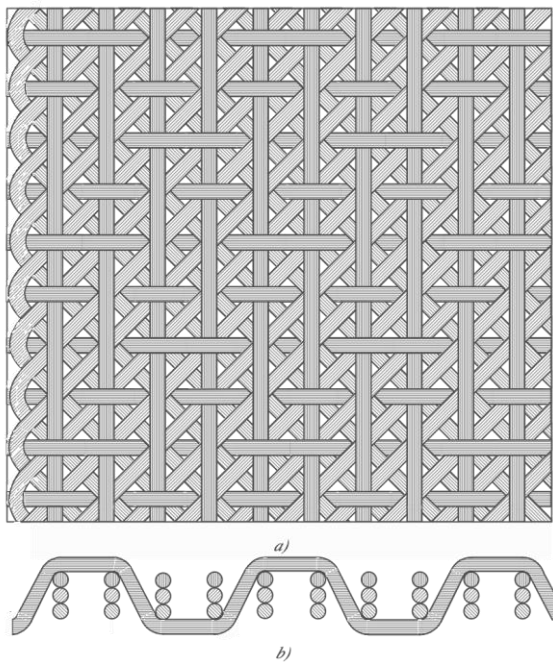
Slika 17-17: Prodiranje projektila kroz gustu bi-aksialnu tkaninu u prepletaju platno [4]



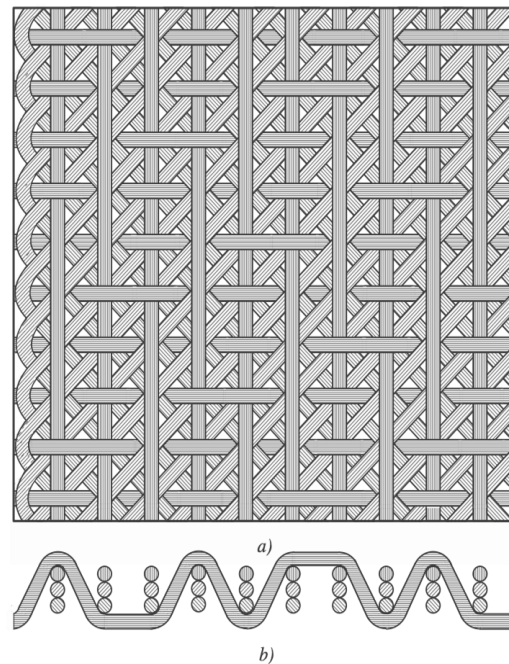
Slika 17-18: Japanska tetra aksialna tkanina, koja je bila izatkana na ručnem razboju



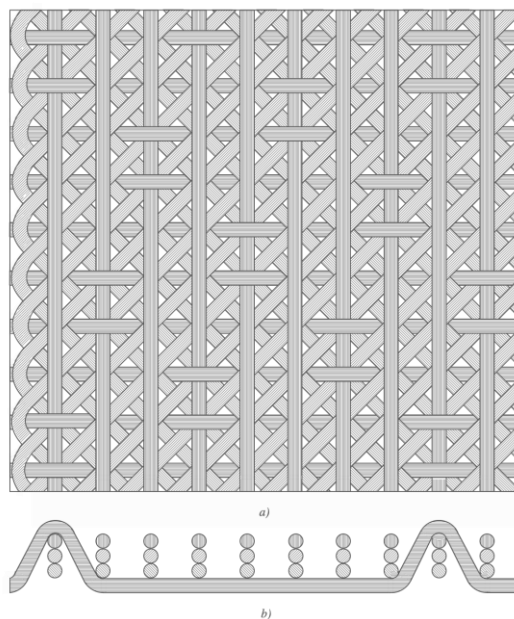
Slika 17-19: Japanska tetra aksialna tkanina, koja je tkana na mehaničnem razboju za tkanje tetra aksialnih tkanina [5]



Slika 17-20: Prepletaj tetra aksialne tkanine, koja bi bila primerna za izradu tkanine namenjene za izradu proti probojnih prsluka. Problem bi mogao biti eventualni odziv niti, prilikom udara projektila na površinu prsluka



Slika 17-21: Prepletaj tetra aksialne tkanine, koja bi bila primerna za izradu neprobojnih prsluka i takođe neprobojnih ploča. Razmik niti bi bio manji kot u predašnjem primeru (slika 17-20)



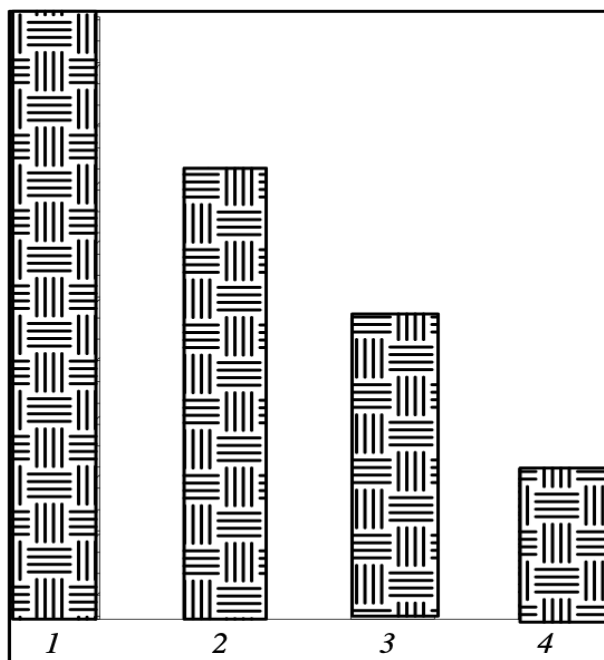
Slika 17-22: Prepletaj tetra aksialne tkanine, koja bi, brez S in Z osnove bio analogen 8-veznem atlasu kod bi-aksialni tkanini; bio bi primeren za izradu proti prebojnih ploča



Slika 17-24: Vojnik u neprobojnom prsluku i sa zaštitnim šlemom [4]



Slika 17-23: Vojnik v potpunoj zaštitnoj opremi [23]



Slika 17-25: Odvisnost broja žrtava od stepena zaštite [4]

1 ukupno žrtava - nema proti probojne zaštite; 2 - ako je upotrebljen šlem - 19% smanjenje gubitaka; 3 - upotreba neprobojnoga prsluka - 40% smanjenje gubitaka; 4 - ako je upotrebljen šlem i proti probojni prsluk - 65% smanjenje gubitaka.



Slika 17-26: "Ratnik" - ruski komplet zaštitnoga odela [6]

17.6. Osnovni načini prodiranja pri kidanju vlaknima ojačanih kompozita

17.6.1. Uvod

Radi boljeg razumevanja, prikazaćemo tri moguća načina prodiranja kroz kompozite, u kojima je armatura vlakno. Na slici 17-12 prikazan je udar tačkastog projektila najmanjeg prečnika. Kao što se može videti na slici 17-12a, postoji opasnost od razmicanja niti u tkanini koja je izložena uticaju projektila koji deluje u jednoj tački. Zbog toga su tkanine, koje se koriste za izradu neprobojnih prsluka, tkane u platnenom prepletaju. Ovaj prepletaj sa istom gustinom osnove i potke, istom finoćom pređe i istom sirovinom, najviše sprečava razmicanje niti kod tačkastog uticaja projektila. Na primer, ako bi imali dovoljno veliku gustinu niti, i ako su one veoma zategnute, barem u nekim sistemima, dobili bismo optimalne rezultate. Kao što se vidi na slici 17-17, gustina ništa ne pomaže, jer je skupljanje (utkanje) osnove i potke preveliko. Čak 14 %.

Na slici 17-13 prikazan je uticaj oštrog (reznog) predmeta (nož, sablja ili sekira). Tokom sečenja vlakna se opterećuju i istežu. Ovaj način nema ništa zajedničko sa projektilima. Mogli bismo ga koristiti, na primer, u slučaju posredovanja policije na uličnim demonstracijama kada su policajci u direktnom fizičkom kontaktu sa demonstrantima.

17.6.2. Mehanizam prodiranja i zaustavljanja projektila u neprobojnom prsluku

Ako je projektil većeg promera, način prodiranja se malo menja. Na slici 17-14 je prikazan projektil sa sfernim vrhom. On izaziva nategnutost u tkanini, ukoliko je tkanina armatura kompozita. U tom slučaju se ne javlja razmicanje niti, nego nategnutost. Zbog toga je važno da su zategnute niti koje trpe nategnutost. Naravno, niti moraju biti učvršćene. Niti su bolje učvršćene u tkaninu ako je ona tkana u prepletaju prikazanom na slici 17-20, odnosno slici 17-21, nego u prepletaju prikazanom na slici 17-22. Drugo je pitanje koliko lepljenje smolom, kojom su zalepljeni slojevi tkanine u kompozitu ili neprobojnoj ploči, povećava učvršćenje niti.

Pošto su naše tetra- i sedamaksijalne tkanine prvenstveno namenjene za proizvodnju neprobojnih prsluka, koji se koriste da zaštite telo korisnika od oštećenja prouzrokovanih projektilima ispaljenim iz pištolja, pušaka i slično, mi ćemo se primarno pozabaviti ovom problematikom.

Mehanizam prodiranja projektila kroz neprobojni prsluk vrlo je kompleksan i težak za obrađivanje. Postoji nekoliko parametara koji kočće prodor projektila kroz neprobojni prsluk. Vrlo velika gustina tkanine, prikazane na slici 17-17, ne pomaže ništa. Očekivalo se da će sa gustinom biti moguće rešiti problem odmicanja niti sa smerom projektila. Ako se nit odmakne dalje od pravca kretanja projektila, njen udio u smanjenju brzine kretanja projektila znatno će se smanjiti. Na slici 17-17 vrh projektila je sferičan i čak deformisan. Nisu se prekinule samo tri niti osnove i dve niti potke. Većina niti je odgurnuta dalje od putanje projektila. Jakšićeva tetra-aksijalna tkanina nije dovoljno gusta da bi na celoj površini sprečila negativne posledice udara projektila, na primer, da oštrim vrhom ne udari u relativno prazan prostor između niti osnove i potke. To znači da bi projektil zaustavljale samo niti osnove, koje su u direktnom dodiru sa površinom vrha projektila. Ipak u ovom slučaju, većina niti je izložena odmicanju i zbog toga bi se umanjilo njihovo dejstvo na smanjenje brzine projektila. To znači da u neprobojnom prsluku ne sme biti praznih prostora. Zbog toga moramo da upotrebimo više slojeva tkanine za izradu neprobojnog prsluka. Tada je velika verovatnoća da projektil neće doći direktno u dodir sa praznim prostorom u tkanini. Čak i ako se to dogodi na prvom sloju prsluka, malo

je verovatno da će se dogoditi na sledećem sloju, a samim tim i na svim narednim slojevima, sve dok se projektil ne zaustavi.

Niti, koje se nalaze na centralnoj osi projektila, projektil gura u smeru kretanja i opterećuje ih na natezanje. Sve niti, koje su u dodiru sa površinom projektila, bivaju odgurnute od pravca kretanja projektila. On te niti gurne od pravca svog kretanja, a isto tako naniže, paralelno sa osom kretanja projektila. Ovde su događaji prilično kompleksni i dolazi do pojave trenja. Postoji određeni koeficijent trenja između površine projektila i niti koja je direktno u kontaktu sa ovom površinom, a samim tim i sila trenja. Koeficijent trenja ne menja vrednost. Što se tiče početne vrednosti sile trenja u trenutku dodira sa površinom konusa projektila, ona počinje da se smanjuje jer se u kontaktu sa površinom konusa projektila dužina niti povećava. Sila trenja se smanjuje toliko dugo dok stožac projektila ne prođe mimo te niti. Potom nailazi valjkasti deo projektila i vrednost sile trenja se stabilizuje. Pošto je koeficijent trenja proporcionalan koeficijentu između sile trenja i normalne sile projektila, brzina projektila se takođe mora smanjivati. Odgurnute niti klize po susednim nitima koje su udaljene od projektila. Na slici 17-17 se vidi da niti prate projektil koji posredno ili neposredno deluje na njih, formirajući otvoreni konus oko projektila. Ovde se takođe pojavljuje sila trenja, koju moramo barem teoretski uzeti u obzir. Ovde koeficijent trenja uglavnom ima drugačiju vrednost od koeficijenta trenja između površine niti i površine vrha projektila. Kada projektil udari u površinu neprobojnog prsluka, on ima kinetičku energiju E_0 i brzinu v_0 . Zbog odupiranja strukture vlakana deformaciji, projektil troši nešto energije da prekine pređu.

Pretpostavimo da vrh projektila pogodi mesto ukrštanja svih šest niti osnove u sedam-aksijalnoj tkanini, da prekine sve te niti i da dođe do sledećeg sloja tkanine, koja čini neprobojni prsluk. Brzina projektila je smanjena i smanjuje se kada probija svaki sledeći sloj. Nakon određenog broja slojeva, projektil se zaustavlja. Može se postaviti pitanje koliko slojeva je potrebno da se zaustavi projektil težine 11 grama i početne brzina od 400 m / s.

17.6.3. Jakšićev aproksimativni postupak određivanja potrebnog broja slojeva tkanine za 100 % zaštitu korisnika neprobojnog prsluka

S obzirom na situaciju u svetu, neprobojni prsluci su i dalje potrebni. Nije dovoljno koristiti tkanine i eventualno višeslojne uloške, napravljene od visoko modularnih vlakana da bi se proizveli neprobojni prsluci. Potrebno je poznavati dinamiku kretanja projektila kroz slojeve neprobojnog prsluka. Naša namera je prilagoditi strukturu neprobojnog prsluka tako da što bolje iskoristimo jačinu visokomodularnih vlakana, od kojih je prsluk napravljen.

Kada projektil udari u površinu spoljnog sloja prsluka, on ima početnu kinetičku energiju. Da bi prodro u prvi sloj, projektil mora obaviti određeni rad. Zbog toga mu se smanjuje izvesna količina kinetičke energije, a sa tim i brzina. Brzina mu opada sve dok se na n_i sloju potpuno ne zaustavi. Masa projektila se ne menja. Pošto su svi slojevi jednaki, za probijanje svakog sloja troši se ista količina kinetičke energije ili se uvek obavi ista količina rada.

Obavljeni rad je konstantan. Ovo se takođe odnosi na smanjenje količine kinetičke energije projektila. U jednačini (17.4), W je rad potreban da bi se prekinule sve niti, koje su u direktnom kontaktu sa vrhom projektila i koje projektil nije odgurnuo sa putanje. Posmatraćemo projektil sa oštrim, šiljatim vrhom. On kod tetraaksijalne tkanine svojim vrhom može zakačiti najviše 3 niti osnove. Ostale niti

su izložene odmicanju. Za to se takođe potroši određena količina kinetičke energije. Pored toga, tu je i potka. Pošto potka ima izuzetno utkanje, pretpostavićemo da je potrebno vrlo malo energije za njeno zatezanje. Zategne se na putanji dužoj od 4 %, pošto su zahvaćene niti osnove verovatno već pokidane. Za sada nećemo uzeti u obzir potku. Niti su različito udaljene od ose kretanja projektila. Neke su veoma malo udaljene od tačke udara projektila. Druge su udaljene za poluprečnik projektila. Pojedine niti se nalaze između ili su udaljene više nego što je poluprečnik projektila. Pretpostavili smo da poslednje niti i ne učestvuju u procesu zaustavljanja kretanja projektila. Određena količina kinetičke energije je takođe potrebna za odmicanje niti, ili se mora obaviti određena količina rada. Koliko je to, teško je ustanoviti bez neophodnih merenja. Takođe se može dogoditi da projektil pogodi prazno mesto bez niti. U tom slučaju, gotovo sve niti bi bile odmaknute. Za to bi potrošili manje rada i smanjenje brzine projektila bi bilo manje. Malo je verovatno da će se nešto tako dogoditi u sledećim slojevima tkanine.

$$E = \frac{m}{2} [v_0^2 - v_1^2 - v_2^2 - v_3^2 - v_4^2 - \dots \rightarrow v_n^2] \quad (17.6)$$

gde je:

- E - kinetička energija projektila;
- m - masa projektila;
- v_0 - brzina projektila u momentu dodira sa vanjskom površinom neprobojnog prsluka;
- v_n - brzina projektila u dodiru sa poslednjim slojem neprobojnog prsluka u kome se projektil zaustavio.

Što se tiče jednačine (17.6), neprobojni prsluk bi trebalo da ima N slojeva da bi zaštitio deo tela koji pokriva. Da bi se projektil probio kroz sloj tkanine, on mora obaviti određenu količinu rada. Pri tome gubi određenu količinu kinetičke energije, koju registrujemo kao smanjenje brzine projektila. Ovaj događaj se može opisati sledećom jednačinom:

$$v_1^2 = \left(\frac{m}{2} v_0^2 - n_1 F_1 s_1 \right) \quad (17.7)$$

U jednačini (17.7), n_1 je prvi sloj prsluka koji ima određeni broj niti, zavisno od gustine niti i vrste tkanine (4-, 5-, 6- ili 7- aksijalne). U ovom slučaju, projektilu odoleva samo jedan sloj niti osnove silom F_1 . Projektil prekine niti u tom sloju, praveći pritom putanju s_1 , koja je ujedno i debljina sloja koji je projektil prekinuo. Količina potrošenog rada na svim slojevima je ista. Slojevi se ne razlikuju. Drugo je pitanje mesto udara projektila. U jednačinama (17.6), (17.7) i (17.8), masa projektila m je takođe konstantna. Menja se samo brzina projektila i istezanje niti, koje se kidaju, ili su odgurnute izvan putanje projektila, sve dok projektil ne dostigne sloj u kome se zaustavi. Jedan sloj tkanine može imati 3, 4, 5 ili 6 niti koje ometaju brzinu projektila. To mogu biti 4, 5, 6 ili 7-aksijalne tkanine. Potka je vezivni sistem i ne učestvuje u smanjenju brzine projektila, jer ima preveliko utkanje.

$$\frac{mv_0^2}{2} - \left[\sum_{i=1}^n F_i s_i + \sum_{j=1}^n F_j s_j \right] = 0 \quad (17.8)$$

U jednačinama 17.7 i 17.8 parametri označavaju:

- N_1 - prvi sloj prsluka, kroz koji se projektil kretao;
- F_1 - prekidna jačina (sila otpora) prvog sloja prsluka kojom se odupire kretanju projektila;
- F_i - i -ta sila otpora i -tog sloja prsluka, protiv kretanja projektila;
- v_0 - brzina projektila kada dođe u kontakt sa površinom spoljnog sloja prsluka;
- s_i - dužina puta koji projektil prođe kroz i -ti sloj prsluka;
- n_1 - prvi sloj prsluka kroz koji se projektil kretao;
- n - poslednji sloj tkanine u kojem se projektil zaustavlja;
- F_i - i -ta sila koju pružaju niti, koje nisu na pravcu kretanja vrha projektila;
- s_j - j -ti put niti koje su na smjeru kretanja vrha projektila;
- F_j - j -ta sila, koju pružaju niti koje nisu na pravcu kretanja vrha projektila, već su u zoni na koju projektil deluje;
- s_j - j -ti put niti, koje nisu na pravcu kretanja vrha projektila, već su u zoni na koju projektil deluje.

Kada projektil probije poslednji sloj prsluka ili se u njemu zaustavi, dobijamo $v_i = v_n = 0$. Ovde se takođe pojavljuje problem procene dužine putanje projektila koju on ima prilikom prolaska kroz određeni sloj. Iako je debljina tkanine konstantna, a to se odnosi i na slojeve prsluka, može nastati određena razlika. Dakle jednačina (17.8) se odnosi na idealizovani slučaj gde se položaj sloja ne menja kada projektil prođe kroz prsluk

Tetraaksijalna tkanina može biti izrađena tako da su sva tri sistema osnove zategnuta, što znači da odmah preuzimaju silu koju projektil prouzrokuje prilikom udara na površinu sloja. To nije slučaj sa potkom, koja ima povezujuću ulogu sa osnovnim sistemima. Sada se za izradu neprobojnih prsluka koristi gusta biaksijalna tkanina tkana u prepletaju platno, koja ima utkanje 14 %. (vidi sliku 17-17). To je čini pogodnom za proizvodnju neprobojnih prsluka. Ona je veoma gusta i teška. Ima samo 1,2 % otvorene površine i teži $0,5 \text{ kg/m}^2$. Pre nego što niti preuzmu opterećenja projektila, on se već nalazi u telu korisnika na dubini od oko 2 cm, zajedno sa slojem koji nije probio.

Ako nam je poznata energija koju apsorbira jedan sloj prsluka i kinetička energija projektila, koju on ima prilikom kontakta sa vanjskom površinom zaštitnog prsluka, moguće je izračunati minimalni broj slojeva potrebnih za zaustavljanje kretanja projektila. To zavisi, pre svega, od toga koju višeaksijalnu tkaninu koristimo i koju vrstu pređe koristimo za tkanje višeaksijalne tkanine. Sedamaksijalna tkanina bi bila najprikladnija. Ipak lakše je izraditi petaksijalnu tkaninu i proizvodnja bi bila mnogo jeftinija.

17.7. Međusobna uporedna analiza upotrebljivosti 2-, 3-, 4-, 5-, 6- i 7- aksijalnih tkanina za izradu neprobojnih prsluka

17.7.1. Biaksijalna tkanina

Na slici 17-17 konkretno je prikazana tkanina i projektil koji nije u potpunosti probio tkaninu. Kao što je ranije spomenuto, ovu veoma gustu biaksijalnu tkaninu su uzeli za pravljenje neprobojnih prsluka jer su očekivali da će se na taj način izbeći odmicanje niti dalje od pravca kretanja projektila. Kao što se vidi na slici 17-17, odmak još uvek ne postoji. Ovako gustu tkaninu u prepletaju platno moguće je dobiti sa velikim utkanjem osnove i potke. Na tkanini koju smo testirali, utkanje je bilo 14 %. Za zatezanje ovih niti potrebna je mala vrednost sile. Kada se niti zategnu, a spoljne sile nastavljaju da deluju na njih, makromolekule, koje formiraju mikrofibrile, počinju da se istežu. Za ovo je potrebna znatna sila. Pre nego što se to desi, projektil je već više od 1 cm duboko u telu korisnika. To znači da ova tkanina nije pogodna za izradu neprobojnog prsluka. Zbog toga se prsluku dodaju ojačanja. Spređa u obliku džepova a na leđima u obliku ruksaka. Unutra se nalaze folije na koje su nalepljene niti koje su potpuno zategnute i postavljene jedna pored druge. Obično je u džepovima i ruksaku više od 20 takvih slojeva. Međusobno su zarotirane tako da niti leže u različitim pravcima.

17.7.2. Triaksijalna tkanina

Triaksijalne tkanine nisu upotrebljive za pravljenje neprobojnih prsluka zbog odmicanja niti sa pravca kretanja projektila. Ova tkanina je sastavljena od dve osnove i potke. Niti međusobno zatvaraju uglove od 60 stepeni i osnova se ne može u potpunosti zategnuti prilikom tkanja.

17.7.3. Tetraaksijalna tkanina

Japanska tetraaksijalna tkanina nije namenjena za izradu neprobojnih prsluka, jer nijedan drugi sistem nije zategnut osim normalne osnove.

Kod Jakšićeve tetraaksijalne tkanine struktura se veoma razlikuje od japanske tkanine izrađene na ručnom razboju. Tkanina ima naime 4 niti u jednoj potki. Svaka osnovina nit sastoji se od dvije niti pređe. S i Z osnovu čini po jedna nit pređe, koja je postavljena jednom od desnog ka levom kraju tkanine - S osnova, a zatim u suprotnom smeru Z osnova. Svaku potku čine po 4 niti. Može se videti da je normalna osnova praktično zategnuta. S i Z osnove su potpuno zategnute. Potka je veoma valovita, što znači da je veoma utkana i zapravo ne učestvuje aktivno u procesu usporavanja projektila. Takođe su vidljive i greške (prazna mesta). Ako projektil pogodi u ovo prazno mesto, on će razdvojiti niti, kočenje će biti onemogućeno. Na tkanini, koja će biti izrađena na mehaničkom tkačkom razboju, takvih oštećenja ne sme biti.

17.7.4. Petaksijalna tkanina

Petaksijalna tkanina još ne postoji. Moguće bi je bilo napraviti na našem ručnom tkačkom razboju, dodajući još jedan osnovni valjak za normalnu osnovu. Ako je sadašnja normalna osnova na licu tkanine, dodatna osnova bi se nalazila na naličju tkanine. Između bi se nalazile S i Z osnove. Sa dovoljno gustim normalnim osnovama, S i Z osnove ne bi bile vidljive ni na licu ni na poleđini tkanine. Pošto bi ta dodatna osnova takođe bila zategnuta, 4 osnove bi zaustavljale projektil. To je za 25 % povećanje sile koja umanjuje brzinu projektila. Pri tome nismo uzeli u obzir činjenicu da u pravcu kretanja projektila postoje još tri sloja, koji koče projektil. Pre nego što projektil prodre do

površine dodatne normalne osnove, mora probiti tri sloja niti osnove, izgubivši pritom značajno brzinu. Kada prodre, ako prodre, do površine dodatne osnove, brzina je mnogo manja od početne brzine koju projektil ima prilikom dodira sa površinom spoljne normalne osnove ovog sloja tkanine.

17.7.5. Šestaksijalna tkanina

Ona bi imala jednu normalnu osnovu, poput tetraaksijalne tkanine i četiri S i Z osnove i šesti sistem, odnosno potku. S i Z osnove formiraju sa potkom ugao od 30 i 60 stepeni. Te se osnove mogu označiti sa S₃₀, S₆₀, Z₃₀ i Z₆₀. Položaji ovih niti prikazani su na slici 16-30. Ova tkanina je definitivno bolja nego petaksijalna tkanina. Ne samo zato što ima više jedan sistem osnove, već i zato što je ugao između sistema samo 30 stepeni. Kada smo već došli do šestaksijalnih tkanina, možemo takođe ići na sedamaksijalnu tkaninu, koje na poledini tkanine imaju još jednu normalnu osnovu.

17.7.6. Sedamaksijalna tkanina

Mašini za tkanje šestaksijalnih tkanina dodajemo još deo, koji reguliše tkanje dodatne normalne osnove, koji je bio pomenut u tkanju petaksijalnih tkanina. Sedamaksijalna tkanina se razlikuje od petaksijalne tkanine još za dve S₃₀, S₆₀, Z₃₀ i Z₆₀ osnove, baš kao i u šestaksijalnoj tkanini. Kod sedamaksijalne tkanine, osnove S i Z nisu vidljive, isto kao i kod petaksijalne tkanine, ako su niti normalne osnove na licu i poledini tkanine dovoljno guste.

Suštinska razlika između sadašnje biaksijalne tkanine u prepletaju platno i sedam-aksijalne tkanine je u tome da su slojevi osnova jedan nad drugim, što omogućava zatezanje niti koje odmah preuzimaju silu udara projektila. Projektil sabija slojeve jedan do drugog, odnosno jedan uz drugi, što smanjuje verovatnoću odmicanja niti. Potka takođe drži niti osnove zajedno. Ona praktično nije uključena u usporavanje brzine projektila. Razlika se može pokazati ako za neprobojnu platformu upotrebimo više tkanina jednu iznad druge. Takav slučaj nemamo kod neprobojnog prsluka, jer bi bio pretežak. Kompletna sedam-aksijalna tkanina je prikazana na slici 16-4. Ne vidi se normalna osnova na poledini tkanine. Inače, normalna osnova na poledini tkanine može biti utkana, tako da je pomerena za polovinu razmaka među nitima normalne osnove na licu tkanine. Presek po potki prikazan je na slici 16-7. On je prilično idealizovan.

Literatura

1. Shishoo R. 2002. Recent developments in materials for use in protective clothing. *International Journal of Clothing Science and Technology* 14 (3/4): 201–215.
2. Roylance D., Wilde A. , Tocci G. 1973. Ballistic impact of textile structures. *Textile Research Journal* 43 (1): 34–41.
3. Laible R. (ur.) 1980. *Ballistic Materials and Penetration Mechanics*. Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company: 284–292.
4. Horrock A. R. (ur.), Anand S. C. (ur.) 2000. *Handbook of technical textiles*. The Textile Institute, Cambridge, Woodhead Publishing Limited: 425–460.
5. Tetra-axial® fabrics. Tetras® Meidai Co.,Ltd. <http://www.meidai.co.jp/tetras> (13. 4. 2005).
6. Knific B. 2015. Ruska oprema »ratnik-2« do konca leta, »ratnik-3« v letu 2025. *Revija Obramba*: 6. 10. 2015.

18. TEKSTILIJE ZA POSEBNE TEHNIČKE NAMENE

18.1. Ribarske i druge mreže [1]

Ribarske mreže igraju važnu ulogu u ribarstvu jer su, osim brodova i čamaca, one osnovno sredstvo za ulov ribe. Prilikom projektovanja mreža moramo znati veličinu riba koje želimo loviti, opremu za vuču mreža (ribarski brod ili ribarski čamac), napetosti koje nastaju vučenjem mreže, uticaj morske ili slatke vode i uticaj sunčevih zraka. To znači da najpre treba odabrati pravu vrstu sirovine (vlakana) za proizvodnju končane pređe. Prilikom konstrukcije končane pređe moramo uzeti u obzir maksimalna opterećenja u bilo kojoj fazi ribolova. Izuzetne događaje, poput napada delfina na punu mrežu ili ulov neke velike ribe koja kida mrežu, ne možemo uzeti u obzir. Veličina otvora na mreži mora biti manja od najmanjih riba koje želimo da zadržimo u mreži.

Mreža je veoma skupa i ekonomična je ukoliko joj je životni vek što duži. PA vlakna, koja su stabilizovana protiv degradacionih efekata ultraljubičastih zraka pogodna su za izradu takvih mreža. Pored toga, pozitivno je što se PA mreže brzo suše. Mreže se takođe koriste za kamufliranje oružja i vojne opreme (topovi, tenkovi, kamioni itd.). One koje su namenjene za kamuflažu, sprečavaju neprijatelja da snima i otkriva razmeštanje jedinica i tehnike. Mreže se takođe koriste za odbranu od komaraca, posebno u vlažnim i močvarnim predelima. To su veoma fine mreže sa otvorima kroz koje komarci ne mogu prodrati. Izoluju od komaraca, pre svega, mesta za spavanje a istovremeno propuštaju dosta svežeg vazduha u prostoriju. Pored toga, mreža se može koristiti kao filter u pustinjским predelima, posebno tokom peščanih oluja. Takođe se koriste kao geotekstilije za zaštitu rečnih obala i potoka. Već smo pomenuli da se mreže koriste i kao zavese za prozore i slično.

18.2. Tkanine za šatore [2]

18.2.1. Opšte

Tkanina za šatore je specifičan proizvod koji mora imati neke posebne karakteristike. One su prvenstveno u funkciji namene tkanine. Uslovi korišćenja šatora mogu biti veoma različiti. Šatori mogu biti turistički, vojni ili dizajnirani za smeštaj alpinista u veoma oštrim klimatskim uslovima. Takođe mogu služiti kao skladišni prostori, ili prostori za povremene priredbe itd. Tkanina za šatore može imati različitu strukturu i kvalitet u pogledu predviđene upotrebe. Najvažniji parametri kvaliteta tkanina za šatore su: jačina, modul elastičnosti, poroznost, hidrofobnost, boja i stabilnost dimenzija.

18.2.2. Jačina i modul elastičnosti

Tkanina treba da ima relativno veliku jačinu, bez obzira za koji tip šatora je namenjena. To je zbog dve činjenice. Prvo, tkanina na šatoru treba biti dobro i ravnomerno zategnuta. Ova zategnutost nije ravnomerno raspoređena po celoj tkanini, nego je najveća u području delovanja užadi koja se koriste za zatezanje tkanine. Za približno izotropnu tkaninu, uzduž pojedinog sistema niti, kao što su triaksijalne, tetraksijalne ili sedmoaksijalne tkanine, ovo lokalno zatezanje bi bilo više raspoređeno po površini tkanine, zbog toga bi ona mogla podneti veća naprezanja. Pored relativno velike vrednosti zatezne jačine, tkanina mora da ima veliku jačinu na pucanje i silu naknadnog kidanja. To je zbog udara vetra i velike brzine, koji prouzrokuju određeni pritisak. Šator je sastavljen od tkanine, konstrukcije i pomoćnih delova.

Da bi tkanina uvek bila zategnuta, mora imati visoku vrednost modula elastičnosti, odnosno zatezanje (sila zatezanja) u tkanini ne sme da bude izvan područja elastične deformacije. U suprotnom, tkanina bi se vremenom olabavila i naborala, smanjujući otpornost protoka kišnice kroz tkaninu, a i vetar bi je lakše ošteti.

Tkanina za šatore ne sme previše menjati osobine u mokrom stanju, jer bi to moglo umanjiti njenu upotrebnu vrednost. Kod vunениh vlakana se modul elastičnosti u mokrom stanju veoma smanjuje. Već iz tog razloga, upotreba vunениh tkanina za šatore bi bila problematična. Pored toga, jačina vunениh tkanina je preniska, a cena previsoka. Sve ovo govori da su vunene tkanine neprikladne za šatore.

Ranije su se za šatore uglavnom koristile pamučne tkanine. Sada se koriste tkanine proizvedene iz mešavine pamuka i hemijskih (sintetičkih) vlakana ili samo od hemijskih (sintetičkih) vlakana. Pamučna tkanina ima dva osnovna nedostatka: skuplja se u mokrom stanju, što čak može deformisati šator, i brzo izbeli - nije otporna na degradacione efekte ultraljubičastih zraka - nastaje oksiceluloza, koja ima manju jačinu. Tkanine izrađene iz hemijskih (sintetičkih) vlakana su stabilne, imaju veliku jačinu (prekidnu, jačinu na pucanje - raspučnu jačinu, jačinu na naknadno kidanje) i visoku vrednost modula elastičnosti. Sve ovo se pre svega odnosi na aramidne tkanine - tkanine od vlakana zasnovanih na aromatičnim poliamidima (Kevlar, Nomeks) ili polietilenu - Spekra, itd. Pored toga, hemijska vlakna su stabilizovana i njihove fizičko-mehaničke osobine se sporo menjaju pod uticajima ultraljubičastih zraka. Poliamidna vlakna su najosetljivija na uticaj sunčeve svetlosti. U poslednje vreme je većina tipova ovog vlakna stabilizovana i mogu se uspešno koristiti za proizvodnju šatorskih tkanina. Tkanine izrađene od hemijskih vlakana nisu osetljive na mikroorganizme, kao što su to pamučne tkanine, što je takođe važno jer tkanina šatora dolazi u kontakt sa biološki aktivnim tlom.

18.2.3. Poroznost

Poroznost je veoma važna upotrebna osobina šatorske tkanine, bilo da je koristimo za životni ili skladišni prostor. U nekim slučajevima, u zavisnosti od vrste tkanine, tkanina namenjena za šatore – skladišta, može biti i nepropusna za vazduh (plastificirana). U tom slučaju je potreban poseban sistem ventilacije. Tkanina za šatore mora biti nepropusna, kada oblik šatora ne drži konstrukcija, nego nadpritisak koga stvara kompresor. Zbog skupe energije takav sistem je neekonomičan i sve manje privlačan. Izuzetak su razne balon konstrukcije za zabavu.

Tkanina je po svojoj strukturi porozan sistem. Poroznost zavisi od više faktora, kao što su gustina po osnovi i potki, finoća pređe, gustina pređe, broj zavoja, orijentacija i kovrdžavost vlakana, finoća vlakana, prepletaj itd. Temperatura u šatoru za boravak je uglavnom viša od temperature okoline. Leti zato što šator deluje kao toplotni kavez, a u hladnijim periodima zato što ljudi, koji borave u šatoru, emituju određenu količinu toplote. Pored toga, u takvim slučajevima se u šator postavlja i grejno telo (peć, sveća itd.). Pod tim uslovima se u šatoru stvara manji nadpritisak. Znoj isparava sa površine kože osoba koje borave u šatoru. Ta vodena para se pomoću toplijeg vazduha izdiže ka krovu šatora i odlazi u okolinu. Što je veća poroznost tkanine, veći je protok vazduha i vodene pare kroz tkaninu šatora uz određenu razliku pritiska. To je veoma korisno sa stanovišta ventilacije ili promene vazduha u šatoru. Međutim, ako želimo da smanjimo gubitak toplote, tada je neophodno da smanjimo poroznost tkanine za šator. To znači da prilikom konstrukcije tkanine za šator moramo pronaći

optimalnu poroznost u skladu sa uslovima upotrebe. Pore u tkanini ne bi trebale biti prevelike jer bi u suprotnom, zbog dinamičnog udara, deo kišnih kapi prošao kroz pore u unutrašnjost šatora.

18.2.4. Hidrofobnost (Vodoodbojnost)

Ako je u šatorskoj konstrukciji predviđen pod, razumno je koristiti plastificiranu (vodonepropusnu) tkaninu. Pod je obično ugrađen u turističke šatore; dok u vojnim šatorima obično nema poda. Jedini izuzetak su posebni medicinski šatori. Takođe se često praktikuje upotreba plastificirane (vodonepropusne) tkanine za pod šatora do visine od oko 20 cm. Zemlju oko šatora je preporučljivo urediti tako da voda otiče (nasipi, rovovi itd.).

Krov šatora je dizajniran tako da kišne kaplje padaju na površinu krova šatora pod određenim uglom, manjim od 90 stepeni. Ovo smanjuje efekat hidrodinamičkog udara kapi kiše o površinu krova šatora. Tkanina koja nije plastificirana mora biti tretirana hidrofobnim apreturama koje sprečavaju brzo kvašenje i eventualno curenje vode kroz krov u unutrašnjost šatora. Hidrofobnost tkanine i nagib krova omogućavaju da tkanina (krov šatora) ne propušta vodu čak i pri veoma obilnim kišama. Samo u slučaju kapljica veoma visoke energije (vidi Tabelu 6-4), malene kapljice mogu prodreti kroz pore, što samo povećava vlagu u šatoru. Do kvašenja unutrašnje površine tkanine neće doći.

18.2.5. Boja tkanine

Boja tkanine za šator je veoma važna, kako za vojne tako i za turističke šatore. U vojnim šatorima boja je važna pre svega zbog kamuflaže, a delom i zbog pripadnosti. U turističkim šatorima boja igra veoma važnu estetsku ulogu. Pojedinačni komadi tkanine su obojeni različitim bojama, često su to veoma žive boje, koje ponekad izgledaju čak i disharmonično.

18.2.6. Tkanine za cerade (prekrivače)

Tkanina za cerade je teža i jača od tkanine za šatore i uglavnom je plastificirana. Cerade se koriste za zaštitu robe i predmeta od padavina, posebno u otvorenim skladištima (skladišta na otvorenom) i na prevoznim sredstvima. Najčešće su ceradama prekrivena teretna vozila sa prikolicama. Usled plastifikacije, tkanina za cerade je vodootporna. Proizvodi se uglavnom od hemijskih (sintetičkih) vlakana. Cerade na kamionima su izložene visokim pritiscima zbog brzine kretanja kamiona. Pored toga, izložene su bočnim vetrovima. Takođe su jako zategnute na konstrukciji (nosač tkanine). Za sve to je potrebna tkanina koja ima veliku jačinu. Pritom se kao važan faktor javlja uticaj plastifikacije na jačinu tkanine. Mimo očekivanja, plastifikacija smanjuje jačinu tkanine. Ovo je posebno izraženo kod sile naknadnog kidanja (kidanje u pravcu osnove ili potke). Plastični sloj, koji se nanosi na tkaninu, smanjuje elastičnost tkanine, odnosno deluje tako da sprečava raspodelu opterećenja po dubini i površini. Kao rezultat, u proces deformacije je uključen manji broj niti osnove i potke, odnosno opterećenje se raspoređuje na manji broj niti ili manju površinu, povećavajući na taj način opterećenje pojedinačne niti. Vani se to manifestuje kao smanjenje jačine. Ova činjenica mora biti uzeta u obzir prilikom projektovanja tkanine za cerade.

18.2.7. Tkanina za jedra

Isto kao i tkanina za cerade, tkanina za jedra mora biti veoma otporna na jake nalete vetra. Tkanina za jedra je odavno poznata kao veoma jaka tkanina. Imala je odgovarajuću težinu i gustinu. Savremena tkanina za jedra je obično izrađena od hemijskih vlakana (multifilament). Takva tkanina ima veliku jačinu, koja može podneti veoma jake nalete vetra. Tkanina za jedra je najčešće lagano plastificirana sa obe strane i nepropusna je za vazduh. Mora biti otporna na morsku vodu i ultraljubičaste zrake. Neka od tih plovila su na otvorenom moru čak i onda kada je brzina pojedinačnih naleta vetra veća od 60 km/h. Već i kod brzine 60 km/h, vetar izaziva pritisak od oko 170 Pa na površini jedra. To znači oko 17 kg/m². Velika jačina hemijskih vlakana omogućava proizvodnju relativno lagane tkanine za jedra, što je veoma važno za lakšu manipulaciju jedrom.

18.2.8. Transportne trake i pogonski remenovi

Upotreba transportnih traka i pogonskih remena je široko rasprostranjena u industriji i rudarstvu. Ovde pre svega mislimo na transportne trake i pogonske remenove, čiji je noseći sloj tkanina proizvedena od tekstilnih vlakana. Proizvode se kao višeslojne tkanine, koje su vrlo čvrsto spojene tako da formiraju čvrstu celinu. Takve tkanine mogu izdržati veoma velika opterećenja, jer mogu biti debljine preko 1 cm. Transportne trake i pogonski remenovi su gumirani. U transportnim trakama, guma se koristi kao abrazivni sloj, a tkanina kao nosivi sloj. Kod remena je guma takođe abrazivni sloj i površina trenja. Gumena površina ima visoku vrednost koeficijenta trenja. To sprečava klizanje remena na remenici. Kod klinastih remenova, oblik remena i, shodno tome, veličina sila trenja, od suštinskog su značaja.

18.3. Padobrani

18.3.1. Opšte

Jedan od prvih teoretičara padobranstva bio je Leonardo da Vinči. Problemom letenja bavio se oko 30 godina. Proučavao je mogućnost spuštanja pomoću padobrana. Napravio je konceptualnu skicu četverougaošnjeg šatora u obliku piramide, koji veoma podseća na današnji padobran. Ispod skice je napisao da je moguće spustiti se pomoću takvog šatora napravljenog od škrobljenog platna, dimenzija 12 x 12 lakata, sa bilo koje visine, a da se pritom ne povredi.

Prvi čovek, za koga se sigurno zna da je uspešno izveo skok pomoću padobrana bio je Francuz Andre-Jacques Garnerin I to 22. oktobra 1797. godine [3].

Do početka 20. veka, padobranstvo je bilo povezano sa letenjem balonom. Početkom 19. veka počeli su se razvijati vazduhoplovstvo, a sa njim i padobranstvo. Prvi su leteli braća Rajt 1903. godine. Prvi pilotski padobran konstruisao je Francuz Voser 1909. godine. Padobran je bio u obliku velikog kišobrana. Nije korišćen, jer sistem otvaranja padobrana nije bio dobro rešen.

Dalji razvoj vazduhoplovstva i padobranstva vezan je za Prvi svetski rat. Pilot je imao padobran složen u poseban ranac, koji se automatski otvorao prilikom skakanja. Tkanina je izatkana od prave prirodne svile. Površina padobrana bila je od 41 do 85 m², a težina do 12 kg. Nakon Prvog svetskog rata razvilo se padobranstvo kao sport, što je dodatno uticalo na poboljšanje padobrana.

18.3.2. Moderni padobrani [3]

Savremeni padobrani se mogu podeliti u dve grupe: automatski padobrani i sportski padobrani. Prvi su jednostavni i automatski se otvaraju. Obično su kupolaste forme. Na vrhu kupole često se nalazi otvor nad kojim je postavljen mali padobran, koji ima inicijalnu ulogu otvaranja glavnog padobrana. Ponekad na prsima padobranca imamo pomoćni padobran, koji usporava padanje ili čak zamjenjuje glavni padobran ako se on ne otvori. Takvi padobrani su korišteni pre svega u vojne svrhe u masovnim padobranskim desantima, u kojima učestvuju i malo obučeni padobranci. Manevarske sposobnosti ove vrste padobrana su relativno male, što ih je izbacilo iz dalje upotrebe.

U sportskim takmičenjima u padobranstvu se koriste posebni sportski padobrani velike manevarske sposobnosti. Takvi padobrani omogućavaju padobrancu da veoma precizno pogodi cilj. Ovi padobrani nemaju oblik okrugle kupole, već su u obliku pravougaonika, sa kupolom ili bez nje. Ovu vrstu padobrana često nazivaju krilom, jer kada se kreće kroz vazduh ponašaju se slično kao avionsko krilo, pošto mogu da dostignu horizontalnu brzinu i do 13 m/s ili više ukoliko nema vetra.

Na slici 18-1 prikazan je nešto stariji padobran u obliku krila. Samo iskusni padobranci mogu koristiti ove padobrane. „Klizni pravougaonik“ omogućava padobranu da se polako otvara, smanjujući dinamički udar prilikom otvaranja. Pored toga, omogućava padobracu slobodne pokrete tela tokom pada. Dimenzije padobrana su 4x3x2 m. Ukupna težina padobrana sa ruksakom je oko 10 kg. Padobran može izdržati padobranca težine između 60 i 120 kg. Padobranac mora otvoriti padobran pre nego što prekorači brzinu 70 m/s (oko 250 km/h). Ukoliko ne bi bilo kliznog pravougaonika, padobranac bi pretrpio snažan dinamički udarac pri brzini padanja od 250 km/h. Pored toga, postavlja se pitanje da li bi tkanina izdržala takav pritisak. U početnoj fazi otvaranja klizni pravougaonik se nalazi u blizini kupole. To znači da su sve četiri grupe užadi jedna pored druge. Ovakav položaj užadi sprečava brzo otvaranje kupole, odnosno padobrana. Kada pilot izvuče padobran iz ruksaka, kupola se samo delimično otvara zbog navedenog položaja kliznog pravougaonika. Zbog male površine kupole, takođe je kočenje - smanjenje brzine, relativno malo. Vazduh, koji vrši pritisak na površinu kupole, dalje otvara kupolu. Ovo je moguće samo ako klizni pravougaonik klizi prema dole. U stvari, takav odnos sila se stvara da pravougaonik mora da klizi prema dole. To klizanje je postepeno i zato se i kupola otvara postepeno. Takav sistem otvaranja znači smanjenje vrednosti ubrzanja, odnosno dinamičkog udara. Sa druge strane, takav sistem otvaranja znači da je neophodno otvoriti padobran najmanje 400 m iznad zemlje. U suprotnom, zbog sporog otvaranja padobrana, padobranac bi stigao do zemlje pre nego što se padobran u potpunosti otvori. To bi zauzvrat bilo prebrzo kod doskoka, što za padobranca može biti veoma opasno.

Padobran dostiže horizontalnu brzinu od 0 m/s do 13 m/s (0 km/h do 47 km/h) i vertikalnu brzinu od 3 m/s do 8 m/s (11 km/h do 29 km/h). Ove vrednosti se odnose na vreme bez vetra. S obzirom na to da padobranac u navedenim granicama, može da reguliše vertikalne i horizontalne komponente brzine uz pomoć upravljačkih užadi, može da doskoči u unapred određeni krug na tlu. Precizna kontrola padobrana omogućava veoma dobre rezultate u sportskom padobranstvu. Na padobranskim takmičenjima, ako nema vetra, većina padobranaca skoči u takmičarski krug ili vrlo blizu njega. Pored sposobnosti padobranca, presudnu uloga ima i kvalitet padobrana (veća ili manja upravljivost).

Manevrske sposobnosti padobrana zavise od vremena promene pravca za puni krug. Sa padobranom PS-11, promena smera za puni krug se može izvršiti za 4 do 6 sekundi ako padobran ima maksimalnu

horizontalnu brzinu. Odnos između uzgona i otpora kod pune (potpuno otvorene) kupole je približno 3:1. Vreme potrebno za punjenje kupole (od izvlačenja ručice do potpunog otvaranja) je 2,5 sekunde. Ovo stvara dinamičko opterećenje od 5 g (pet puta više od vrednosti zemljinog ubrzanja).

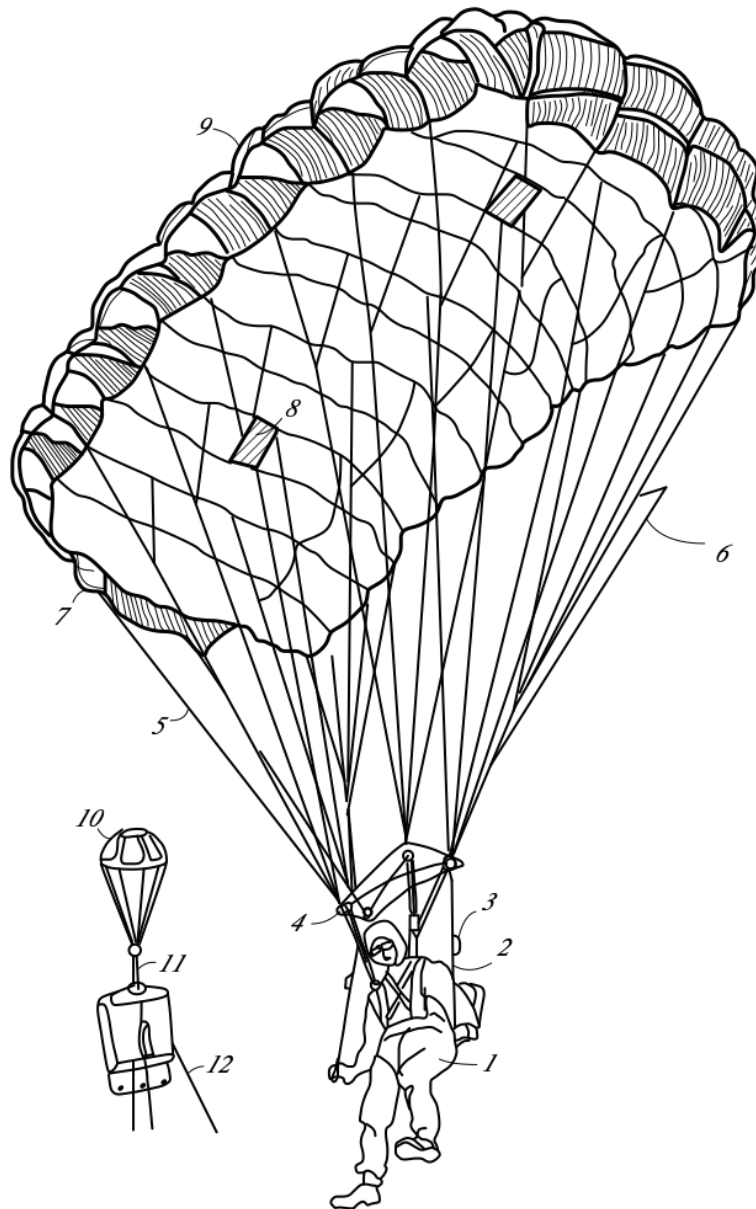
Na slici 18-1 u kupoli se nalaze dva otvora dimenzija 35x20 cm (šrafirani pravougaonici), koji smanjuju dinamički udar prilikom otvaranja padobrana i omogućavaju lakšu deformaciju kupole prilikom upravljanja. Pilotski padobran (mali padobran prečnika 76 cm) ima oprugu, koja se aktivira kada padobranac povuče ručicu, a ovaj padobran potom izvuče glavnu kupolu padobrana iz ruksaka. Kod nadzvučnih aviona koji lete brzinom od 2.500 km/h ili čak i brže, pilot se katapultira sa sedišta i padobran se automatski otvara. Pri tako velikim brzinama, padobranac nema vremena za klasični izlaz iz pilotske kabine i ne bi imao vremena da savlada ručni postupak otvaranja padobrana.

18.3.3. Teorija letenja [4]

Kretanje padobrana - krila kroz vazduh se može posmatrati kao kretanje jedrilice. Pri tom moramo uzeti u obzir činjenicu da se za razliku od krila jedrilice, padobran - krilo može deformisati. Pored toga, padobran ima dva otvora koji smanjuju uticaj aerodinamičkog udara prilikom otvaranja padobrana. Stoga je aerodinamička obrada padobrana mnogo složenija nego obrada krila fiksnih dimenzija i oblika.

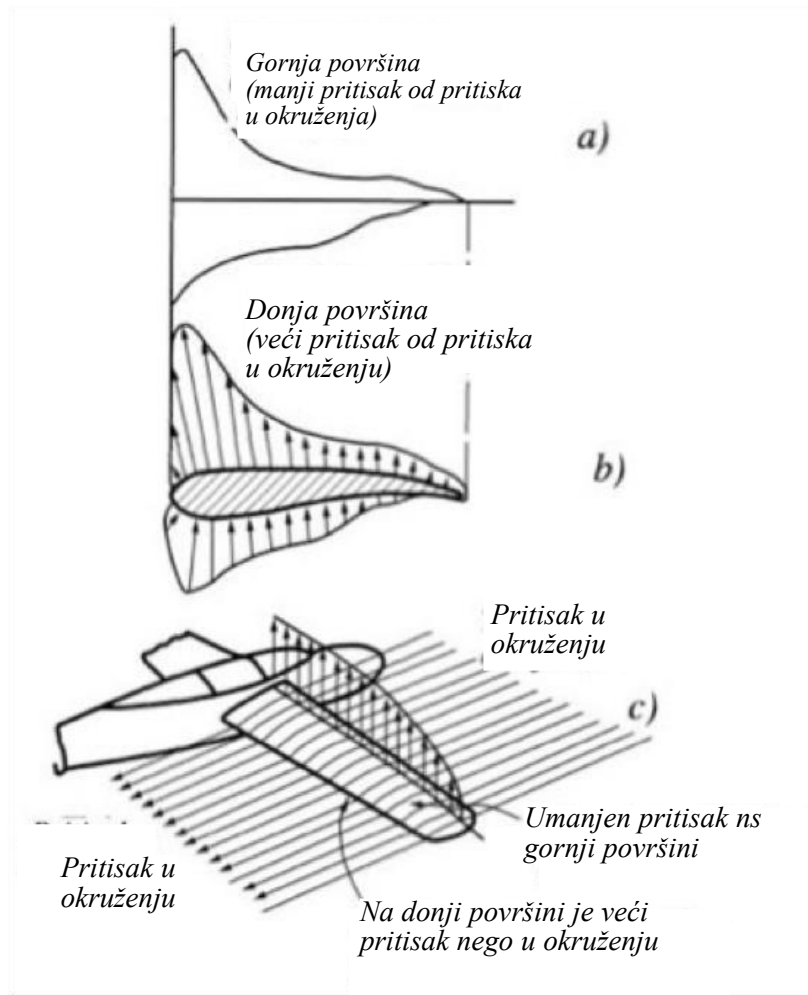
Da bi se olakšalo razumevanje ponašanja padobrana, trebalo bi poznavati teoriju letenja. Slika 18-2 prikazuje krilo aviona (c), profil krila i smer uzgona (b) i dijagram pritiska (a). Pogledajmo krilo aviona na 18-2c. Ispred i iza krila postoji atmosferski pritisak. Pod krilima je pritisak veći od atmosferskog pritiska. Iznad krila je manji pritisak nego u okolnom vazduhu. Ova situacija prouzrokuje uzgon (dizanje uvis). Profil krila i smer uzgona prikazani su na slici 18-2b. Slika 18-2a, međutim, prikazuje dijagram pritiska na gornjoj i donjoj površini krila. Takva raspodela pritiska je uzrokovana oblikom profila krila.

Savremeni profil krila zasnovan je na teoriji Nikolaja Jegoroviča Žukovskog, koju je razvio između 1902. i 1906. godine. Pre nego što detaljnije objasnimo ovu teoriju, pokušaćemo da objasnimo zašto dolazi do uzgona. Pogledajmo dugačak cilindar (slika 18-3) koji se horizontalno kreće kroz vazduh i ne rotira; ili je u mirovanju i oko njega teku strujnice vazduha. Promena smera strujnica je simetrična u odnosu na zamišljenu simetralu na liniji C-D-B. Pretpostavljamo da je protok vazduha laminaran. Pošto se strujnice na gornjem i na donjem delu cilindra zgušnjavaju (površina protoka se smanjuje), brzina strujnica se mora povećati, jer je protok mase konstantan. Ovo je prikazano pravougaonikom i kvadratom na slici 18-4 (pravougaonik ilustruje veću brzinu strujnica). Ovaj uslov odgovara Bernulijevoj jednačini prema kojoj je (za fluid koji se kreće laminarno) zbir pritiska i kinetičke energije po jedinici mase fluida konstantan u svim tačkama polja, što znači da se smanjuje pritisak u onom delu polja u kome se povećava brzina strujnice i obrnuto.

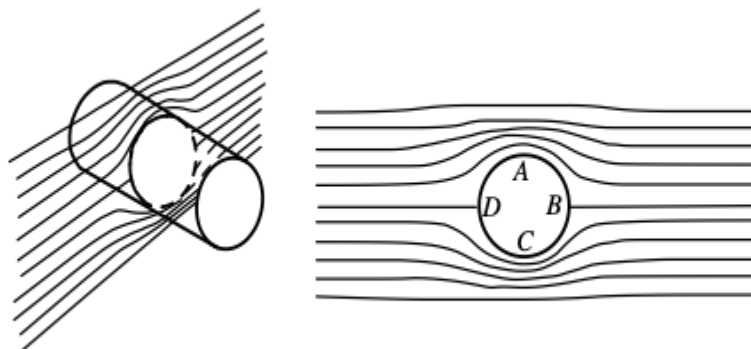


Slika 18-1: Padobran PS-11 iz fabrike „Kluz“ (Beograd)

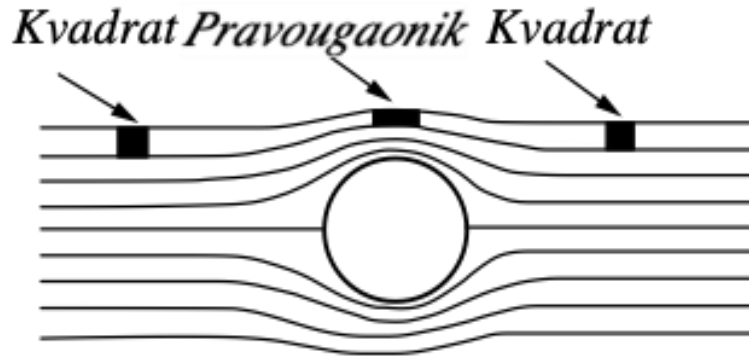
1 - padobranac, 2 - uže za klizni pravougaonik, 4 - graničnik na užetu 2 ,koji povezuje krilo padobrana sa padobrancem, 6 - deo veznog užeta između pomoćnog i glavnog padobrana, 7 - mesto pričvršćenja užeta za kupolu, 8 - jedan od dvaju otvora na kupoli, 9 - krilo padobrana, 10 - pomoćni padobran koji pomaže otvaranje glavnog padobrana, 11 - snop užadi glavnog padobrana, 12 - vezna užad za glavni padobran



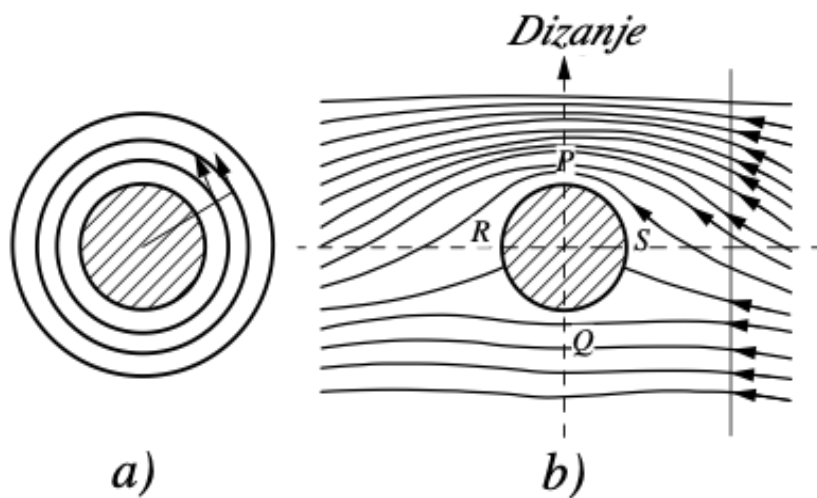
Slika 18-2: Uzgon, koji nastaje zbog oblika profila (preseka) avionskog krila [2]
a) dijagram pritiska, b) profil krila i smer uzgona, c) avionsko krilo



Slika 18-3: Položaj vazdušnih strujnica u neposrednoj blizini omotača dugog valjka



Slika 18-4: Promene brzine strujnica u neposrednoj blizini mirujućeg dugog valjka



Slika 18-5: Magnusov efekat (dizanje - uzgon)

Ako bi se stvorili uslovi za povećanje brzine strujnica na gornjoj ploči cilindra, a brzina strujnica na donjem delu cilindra ostala nepromenjena, dobio bi se uzgon i cilindar bi počeo da se podiže. Takvo stanje se može stvoriti rotiranjem cilindra u pokretnom fluidu, kao što je prikazano na slici 18-5.

Fluid se kreće s desna nalevo oko dugog cilindra (slika 18-5b) koji se okreće u smeru suprotnom kazaljka na satu (slika 18-5a). Granični sloj fluida na površini cilindra se rotira u istom smeru kao i cilindar. Na gornjem delu cilindra se pravac kretanja fluida, koji se nalazi u neposrednoj blizini površine cilindra, podudara sa smerom kretanja fluida u polju u kome se cilindar nalazi. U ovom se slučaju brzine zbrajaju, a rezultat je povećana brzina strujnica iznad gornje površine cilindra. Međutim, budući da je protok mase konstantan, pritisak fluida će se smanjiti srazmerno povećanoj brzini.

Na donjoj strani cilindra situacija je sasvim drugačija. Slojevi vazduha koje cilindar „vuče“ sa sobom, na donjoj strani cilindra kreću se suprotno smeru kretanja fluida. Kao rezultat toga, brzina kretanja fluida se u ovom delu polja smanjuje. Međutim, pošto je brzina protoka kroz jedinicu površine polja konstantna, gustina fluida na donjem delu cilindra raste. To se izražava kao povećanje pritiska. Zbog takvog stanja dolazi do uzgona - cilindar počinje da se podiže. To je Magnusov efekat.

Situacija prikazana na slici 18-5 je poseban primer jedne od poznatih teorija aerodinamike Kutta-Žukovskog, koja je osnovna teorema aerodinamike. Teorema kaže da cilindar bilo kog poprečnog preseka, koji miruje u dvodimenzionalnom toku fluida, i ima brzinu v , i koji se vrti oko cilindra intenzitetom K , prouzrokuje silu uzgona vK po jedinici poprečnog preseka toka i deluje okomito na smer struje, odnosno brzine v . Sličan efekat (uzgon) uzrokuje i oblik avionskog krila koji je prikazan na slici 18-2.

18.3.4. Teorija otvaranja padobrana [5]

18.3.4.1. Opšte

Otvaranje padobrana je veoma složen proces jer deluje više faktora, koji u različitim uslovima imaju različite vrednosti. Pretpostavićemo da se padobran otvara ili puni, kao što je prikazano na slici 18-6.

Prikaz faza otvaranja padobrana važi za kupolasti padobran sa okruglom projekcijom bez kliznog pravougaonika. Slično važi i za pravougaoni kupolasti padobran sa kliznim pravougaonikom, samo što je vreme otvaranja mnogo duže pri istoj brzini padanja.

Pored konstrukcije padobrana, posebno nas zanima kako se tkanina, trake i užad ponašaju u trenutku delovanja maksimalnog pritiska na površinu padobrana. Zanima nas i na koji način poroznost tkanine i otvor (ili otvori) na padobranu utiču na smanjenje dinamičkog udara prilikom otvaranja padobrana i kakav je njihov uticaj na brzinu pada padobranca.

Pretpostavljamo da u trenutku otvaranja padobran ima oblik odsečenog konusa, čiju bazu formira polukugla, kao što je prikazano na slici 17-7. Zapreminska brzina protoka vazduha u stacionarnom području balona (padobrana) se može opisati sledećom jednačinom:

$$V = u\pi r^2 \quad (18.1)$$

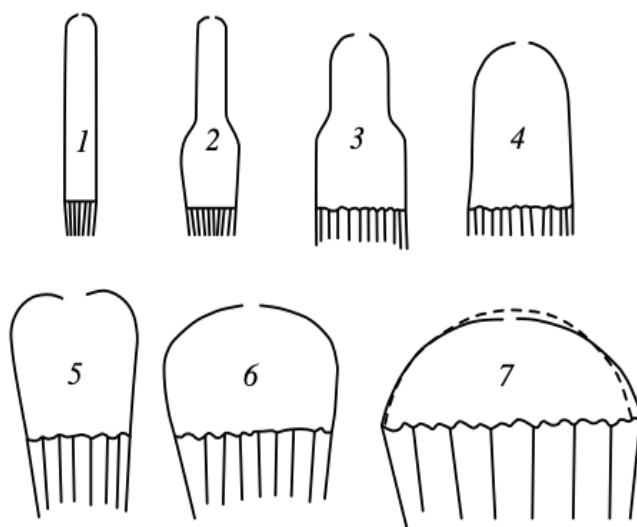
- V - zapreminska brzina protoka, m^3/s ;
- u - linearna brzina protoka, m/s ;
- r - poluprečnik kupole padobrana.

Prilikom otvaranja padobrana, poluprečnik njegove kupole se povećava. Kao rezultat toga, linearna i zapreminska brzina protoka se menja. Za linearnu brzinu protoka važi sledeća diferencijalna jednačina:

$$u = 2 \frac{dr}{dt} \quad (18.2)$$

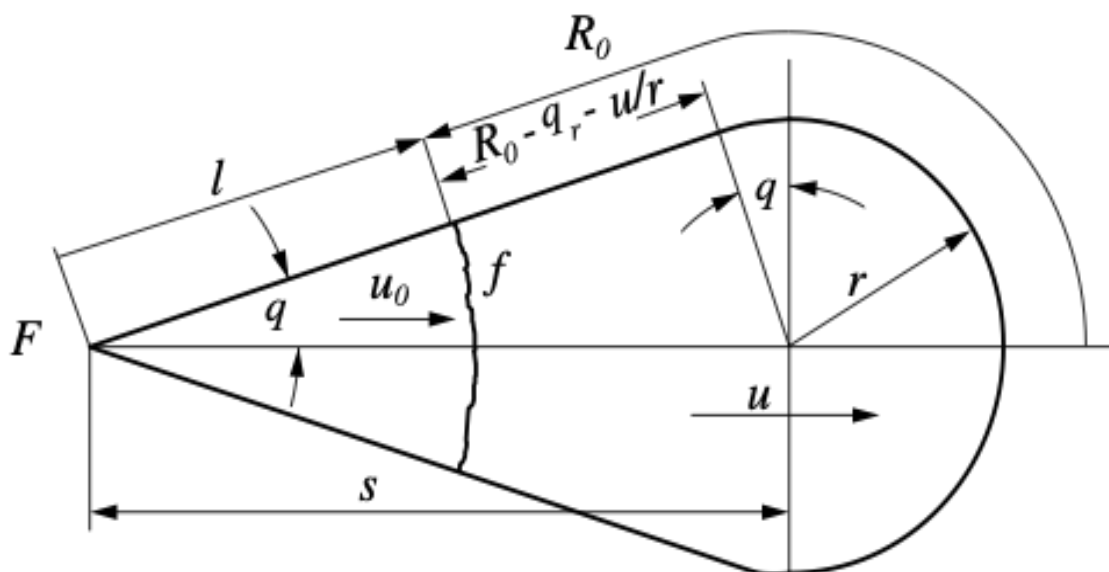
Prilikom otvaranja padobrana se menja volumen kupole, u zavisnosti od povećanja njenog poluprečnika. Otvaranje obrađujemo pod pretpostavkom da kupola u posmatranom vremenu otvaranja ima oblik polulopte, dakle, zauzima polovičnu zapreminu kugle istog poluprečnika.

Promenu zapremine u zavisnosti od promene poluprečnika kupole padobrana u određenom trenutku možemo izraziti pomoću sledeće diferencijalne jednačine



Slika 18-6: Faze otvaranja padobrana

1 - stanje kada pomoćni mali padobran izvuče padobran na određenoj brzini padanja, 2 i 3 - padobran se puni – otvara; 4, 5 i 6 - otvaranje se nastavlja, 7 - prikazan je potpuno otvoren padobran



Slika 18-7: Nekoliko važnih parametara idealizovanog oblika padobrana u trenutku otvaranja
 s - udaljenost između tereta (padobranca) i centra sfere padobrana, l - dužina neopterećeneog konopca, R_0 - dužina tkanine, od koje je izrađen padobran, od konopca do najvišeg dela padobrana, r - poluprečnik kupole padobrana, F - sila uzgona, u_0 - početna brzina padobrana, q - ugao promene radijusa sfernog dela kupole

$$\frac{dV}{dt} = \frac{d}{dt} \frac{2}{3} \pi r^3 = 2\pi r^2 \frac{dr}{dt} \quad (18.3)$$

Sa druge strane, statički pritisak ovog balona (prema Bernuliju) je:

$$p = p_{\infty} + \frac{1}{2} \rho u_0^2 - \frac{1}{2} \rho u^2 \quad (18.4)$$

gde su:

- p - statički pritisak, N/m²;
- p_{∞} statički pritisak okolnog vazduha, N/m²;
- r - gustina vazduha, kg/m³;
- u_0 - brzina slobodnih strujnica vazduha, m/s.

Uzimajući u obzir jednačinu (18.2), razliku Δp statičkih pritisaka možemo napisati sledećom jednačinom

$$\Delta P = P - P_{\infty} = \frac{1}{2} \rho u_0^2 - 2\rho \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 = 0 \quad (18.5)$$

Iz jednačine (18.5) možemo izraziti brzinu promene prečnika kupole po vremenu kao funkciju brzine slobodnih strujnica vazduha pre nego što dođu u kupolu:

$$\frac{dr}{dt} = \frac{u_0}{2} \quad (18.6)$$

Kada uradimo integral jednačine (18.6), možemo izračunati veličinu krajnjeg poluprečnika projekcije kupole r_E koji dostiže u trenutku punjenja t_f .

$$\int_0^{r_E} dr = \frac{u_0}{2} \int_0^{t_f} dt; \quad r_E = \frac{u_0 t_f}{2} \quad (18.7)$$

S druge strane, važi sledeći odnos između r_E i poluprečnika R ravne površine kupole (vidi sliku 18-7).

$$r_E = \frac{2R_0}{\pi} \quad (18.8)$$

Uzimajući u obzir jednačine (18.7) i (18.8), vreme otvaranja možemo izraziti sledećom jednačinom:

$$t_f = 1,273 \frac{R_0}{u_0} \quad (18.9)$$

Jednačine (18.2) i (18.9) se ne podudaraju sa eksperimentalnim rezultatima zbog zanemarivanja nekoliko važnih faktora. Prilikom širenja (punjenja) kupole, njena površina pritiska slojeve vazduha koji su direktno na njenoj spoljnoj površini. Prema tome, pritisak na spoljnu površinu kupole nije p_∞ (pritisak vazduha na dovoljno velikoj udaljenosti od kupole), nego ima vrednost različitu od p_∞ . To znači da razlika pritisaka (jednačina (18.5) nije jednaka nuli. Pored toga, vreme otvaranja t_f nije onakvo kakvo bi očekivali iz jednačine (18.9) jer ni poroznost tkanine ni uticaj otvora na kupoli nisu uzeti u obzir. Ako bi se ova jednačina odnosila na padobran koji ima klizni pravougaonik, vreme otvaranja bilo bi mnogo duže.

Razlika između unutrašnjeg (u kupoli) i spoljnog pritiska (na spoljnoj površini kupole) Δp_B je tačnije prikazana jednačinom (17.10) u kojoj je takođe obuhvaćena sila uzgona F :

$$\Delta p_B = \rho r \frac{d^2 r}{dt^2} + \frac{3\rho}{2} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 + \frac{F}{2\pi r^2} \quad (18.10)$$

Drugi izvod poluprečnika po vremenu predstavlja u fizičkom smislu ubrzanje širenja (otvaranja) padobrana. On u početnoj fazi otvaranja ima veoma malu vrednost, tako da možemo zanemariti prvi član na desnoj strani jednačine (18.10) i dobiti:

$$\Delta p_B = \frac{3\rho}{2} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 + \frac{F}{2\pi r^2} \quad (18.11)$$

Ako ovu jednačinu izjednačimo sa jednačinom (18.5), koja se takođe odnosi na razliku pritiska na unutrašnjoj i spoljnoj površini kupole i uredimo, dobićemo:

$$7 \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 = u_0^2 - \frac{F}{\rho \pi r^2} \quad (18.12)$$

Pošto je $r = f(F)$, jednačina (18.11) se ne može rešiti, ako ne poznajemo ovu zavisnost. Na to utiču mnogi faktori, kao što su: masa tereta (padobranca), elastičnost užadi, kaiševa (traka) i tkanine, poroznost tkanine, veličina otvora na kupoli itd. Međutim, ako silu F redukujemo na teret (težina padobranca) i posmatramo stanje neposredno pre nego što se padobran počne otvarati ($(dr/dt = 0)$), možemo odrediti minimalnu početnu brzinu tereta u_{i_0} , na kojoj se padobran otvara. To se može izraziti sledećom jednačinom:

$$u_{i_0} \geq \left(\frac{F}{\rho \pi r^2} \right)^{0,5} \quad (18.13)$$

Stoga je za otvaranje padobrana potreban dinamički pritisak koji je rezultat padanja (kretanja) kupole kroz vazduh i veći je od pritiska izazvanog zatezanjem užeta (redukovan na sferni deo kupole padobrana). Brzina otvaranja padobrana, koja je data jednačinom (18.12) manja je od brzine koja je data jednačinom (18.6). Zbog toga će i vreme otvaranja biti duže nego u jednačini (18.7).

Spoljni pritisak odupire se povećanju (otvaranju) kupole. Može se dokazati da se pritisak na površini sfere, koja se širi, može opisati sledećom jednačinom:

$$\Delta p = \frac{3\rho}{2} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 \quad (18.14)$$

Poluprečnik kupole raste, sve dok se ne postigne poluprečnik izjednačenja. To se događa onda kada platno kupole može da se suprostavi pritisku na obodu kupole. Kupola se i dalje širi, ali protiv unutrašnjeg pritiska deluje pritisak na obodu kupole, a ne spoljni pritisak. U slučaju kada postoji klizni pravougaonik, pritisak na obodu kupole se veoma povećava (linija na kojoj je kupola povezana konopima) i zbog toga se usporava otvaranja kupole.

Pritisak na spoljnoj površini kupole koči otvaranje padobrana. Kako se padobran širi, on potiskuje spoljni pritisak u radijalnom smeru kupole, dok se ne dostigne ravnotežni poluprečnik r_E . Zbog elastičnosti tkanine, kaiševa i užadi, kupola se takođe širi iznad ove vrednosti poluprečnika. Na određenoj vrednosti $r > r_E$, ekspanzija kupole se zaustavlja. Tada počinju da deluju napetosti u tkanini u suprotnom smeru. To je moguće zato što se smanjuje i brzina pada, što smanjuje i silu uzgona, koja otvara padobran. Možemo pretpostaviti da se brzina širenja kupole preko krajnjeg poluprečnika r_E smanjuje sve dok se ne postigne r_{max} . U tom trenutku, kupola počinje da se smanjuje zbog delovanja unutrašnjih naprezanja u tkanini. Ta pojava povećava brzinu padanja. Ovaj proces oscilira (sa sve manjim amplitudama) oko vrednosti r_E , sve dok se ne postigne vrednost $r = r_E$. U trenutku kada naprezanja na ivici (obimu) kupole znatno smanje brzinu širenja kupole, spoljni pritisak menja smer, što izaziva trzaj prilikom otvaranja padobrana. Promena smera delovanja vanjskog pritiska se događa zbog inercije. Kako se kupola širi, ona gura slojeve vazduha od površine kupole u radijalnom smeru. Zbog inercije vazdušne mase, na kupoli se stvara spoljni pritisak. Kada se brzina širenja kupole značajno smanji zbog delovanja naprezanja na njenoj ivici, vazduh na spoljnoj površini kupole i dalje zadržava prethodnu brzinu radijalnog kretanja u odnosu na površinu kupole. Posledica toga je to da je stanje na površini kupole pomalo slično slabijem vakuumu, što omogućava da se kupola širi preko graničene vrednosti radijusa r_E . Ovaj mehanizam je posebno interesantan zbog jačine tkanine. Tkanina je najviše opterećena u trenutku udara, kada spoljni pritisak menja smer delovanja. Klizni pravougaonik smanjuje veličinu trzajne sile i veličinu elastične i eventualno viskoelastične deformacije tkanine. Pošto se jačina tkanine zbog deformacije, uzrokovane udarom, smanjuje prilikom svakog otvaranja, broj skokova sa određenim padobranom je ograničen. Ako je u konstrukciji padobrana prisutan klizni pravougaonik, broj skokova (vreme korištenja) sa određenim padobranom se znatno povećava.

18.3.4.2. Sila otpora

Sila otpora, koja nastaje zbog brzine kupole padobrana se može definisati sledećom jednačinom

$$F_m = \frac{d}{dt} m'v = m' \frac{dv}{dt} + v \frac{dm'}{dt} \quad (18.15)$$

gde su:

- F_m - sila, koja nastaje zbog promene količine kretanja vazduha u kupoli,
- v - brzina kupole,
- $m' - (2/3) \rho \pi r^3$.

Padobran i padobranac čine jedno telo i jednačina (18.15) važi ako se padobran i padobranac kreću istom brzinom v . Ali to nije tačno. Brzina v se sastoji od brzine padobranca (ili tereta) u_t i brzine kupole v_k . Relativna brzina kupole v_k (s obzirom na brzinu padanja) pozitivna je ako se kupola kreće u pravcu kretanja tereta, i negativna ako zaostaje.

Između težišta tereta i središta kupole postoji udaljenost s (vidi sliku 18-7). Kada se padobran otvori, udaljenost s se menja zbog elastične deformacije užadi sa kojima je padobranac povezan sa kupolom, kao i zbog deformacije (produženja - rastezanja) padobranca. Zbog toga je i ukupna brzina manja. Zbog uticaja deformacije užadi, jednačina (18.15) se proširuje za četiri člana sa njene desne strane. Budući da su deformacije zaista male i pošto se pojavljuju drugi izvodi, nećemo napraviti veliku grešku ako ostanemo kod jednačine (18.15). Ako želimo odrediti veličinu tereta koji padobran može podneti, odnosno ako ukupnu silu otpora F svedemo na teret, jednačini (18.15) dodajemo član $\Delta p_B \pi r^2$. Uzimajući u obzir vrednost za m' , možemo napisati:

$$F = \Delta p_B \pi r^2 + \frac{2}{3} \rho \pi r^3 \frac{du_t}{dt} + 2u_t \rho \pi r^2 \frac{dr}{dt} \quad (18.16)$$

Kao što je ranije spomenuto, zanemarili smo deformacije užadi i tereta u jednačini (18.16). Ukupna sila otpora F , redukovana na teret, povećava se sa povećanjem brzine tereta u_t i širenjem (otvaranjem) padobrana - promenom poluprečnika kupole po vremenu. Kada se padobran konačno otvori, kupola ima konačni poluprečnik r_E i on se više ne menja. To znači da poslednji član na desnoj strani jednačine (18.16) otpada jer je $dr/dt = 0$. Kada padobran dostigne konstantnu brzinu (du_t/dt), otpada i drugi član na desnoj strani jednačine (18.16) i ostaje samo prvi član na desnoj strani jednačine (18.16) (uporedi sa jednačinom (18.11)).

Veličina padobrana je iz praktičnih razloga ograničena. Međutim, zbog strukturnih karakteristika tkanine, pritisak Δp_B je takođe ograničen. Uzimajući u obzir izdržljivost na kidanje, silu naknadnog kidanja i raspućnu jačinu tkanine od koje je izrađena kupola padobrana, možemo izračunati veličinu tereta koji padobran određene veličine može da nosi. Međutim, promena brzine tereta i promena brzine otvaranja padobrana moraju biti u određenim granicama. Iz jednačine (18.6) vidi se da je brzina otvaranja padobrana proporcionalna početnoj brzini u_0 . To je brzina padobrana i padobranca (tereta) u trenutku, kada se padobran počne otvarati. Zavisi od toga da li će padobranac odmah kada skoči, otvoriti padobran, ili će ga otvoriti kasnije, kada brzina veoma naraste. Pri velikim brzinama padanja padobrana, brzina otvaranja će takođe biti velika. To izaziva veliku promenu brzine pada ili jak trzaj, što znači veliku vrednost sile otpora. Ovaj trzaj sprečava klizni pravougaonik. Stoga, da bi se uzeo u

obzir uticaj kliznog pravougaonika, treba u jednačinu (18.6) uvesti izraz kojim bi iskazali smanjenje brzine otvaranja padobrana.

U jednačinama (18.10) i (18.11) zanemarili smo elastične deformacije padobrana - naročito užadi i elastičnu deformaciju padobranca. Kako elastična deformacija užadi utiče na brzinu tereta u_t , može se videti iz jednačine (18.17).

$$u_t = u_{t_0} \left(1 - \frac{K}{m_t u_{t_0}} \int_0^t e dt + \frac{gt}{u_{t_0}} \right) \quad (18.17)$$

gde su:

- K - otpor svih užadi protiv deformacije, N/m,
- e - elastična deformacija užeta, cm;
- g - gravitacijsko ubrzanje; m/s²,
- u_{t_0} - početna brzina tereta, m/s;
- m_t - masa tereta, kg.

Kada u jednačini (18.17) ne bi bilo drugog člana na desnoj strani, brzina tereta bi se povećavala prema zakonu slobodnog pada. Parametar K mora imati mnogo veću vrednost od mase tereta m_t . Vrednost parametra e , međutim, ne sme biti veća od 2 % ili nekoliko centimetara ($e = F/K$). Što je veća ukupna sila otpora F , veća je vrednost elastične deformacije e ($K =$ konstanta za datu vrstu užadi) i tim je veća vrednost drugog člana na desnoj strani jednačine (18.17). Ova vrednost raste sa vremenom t . Sa prirastom vremena, vrednost poslednjeg člana raste. Iz ovoga možemo zaključiti da porast mase tereta smanjuje vrednost drugog člana, ili povećanje deformacije (povećanje sile otpora) povećava vrednost ovog člana, odnosno smanjuje brzinu tereta.

18.3.4.3. Protok vazduha kroz kupolu i pritisak Δp_B u kupoli

Ako uzmemo kupolu kao sferu, vazduh prolazi kroz osnovnu površinu kupole zbog njenog širenja. Čak i u ovoj fazi, deo vazduha zaista prolazi kroz tkaninu i kroz otvor na kupoli. Kada se padobran u potpunosti otvori, vazduh struji samo kroz tkaninu i otvor kupole. Protok mase kroz tkaninu kupole obično se definiše sledećom jednačinom:

$$\frac{dm_A}{dA} = C(2\rho\Delta p)^{0,5} \quad (18.18)$$

gde su

- m_A - protok mase vazduha kroz tkaninu kupole u jedinici vremena kg/s;
- A - površina kupole (tkanine), m²;
- C - koeficijent poroznosti tkanine;
- Δp - razlika pritisaka na unutrašnjoj i vanjskoj površini tkanine sfernog dela kupole, N/m².

U literaturi se često navodi da je $C = 0,05$. Ova vrednost je dobijena korišćenjem gore pomenutih jedinica u jednačini (18.18). Ako je kupola pravilna sfera (vidi sliku 18-8), diferencijal površine kupole dA možemo izraziti sledećom jednačinom:

$$dA = 2\pi(r \sin \varphi)rd\varphi \quad (18.19)$$

Uzimajući u obzir jednačinu (18.19), jednačinu (18.18) možemo transformisati u sledeći oblik:

$$\frac{dm_k}{d\varphi} = 2\pi r^2 C \sin \varphi (2\rho\Delta p)^{0,5} \quad (18.20)$$

Na osnovu rezultata istraživanja podvodnih eksplozija možemo napisati:

$$\Delta p = \Delta P \sin \varphi \quad (18.21)$$

gde je ΔP amplituda pritiska u odnosu na ekvatorijalnu ravninu kupole. U blizini ekvatora, pritisak ΔP_B je u ravnoteži sa spoljnim pritiskom, koji odoleva širenju kupole. Uzimajući u obzir jednačinu (17.21), jednačina (17.20) se može napisati u sledećem obliku:

$$dm_k = 2\pi r^2 C (2\rho\Delta P \sin^3 \varphi)^{0,5} d\varphi \quad (18.22)$$

Delimičnim integralom te jednačine dobijamo:

$$m_k = 2\pi r^2 C (2\rho\Delta P)^{0,5} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^2 \varphi d\varphi \quad (18.23)$$

Pošto se integral u jednačini (18.23) može rešiti numeričkim integrisanjem i ima vrednost 0,882, dobijamo:

$$m_k = 1,764\pi r^2 C (2\rho\Delta P)^{0,5} \quad (18.24)$$

Pored protoka kroz tkaninu, vazduh prolazi i kroz otvor (ili dva otvora - vidi sliku 18-1). Ako je A_v površina otvora, uzimajući u obzir Bernulijev efekat (pad pritiska - povećanje brzine), dobijamo:

$$0,5\rho u_v^2 = \Delta P + \Delta P_B + 0,5\rho u^2 = \Delta P + 0,5\rho u_0^2 \quad (18.25)$$

U jednačini 18.23 možemo izraziti u_v (linearnu brzinu prtoka vazduha kroz otvor):

$$u_v = \left(\frac{2\Delta P}{\rho} + u_0^2 \right)^{0,5} \quad (18.26)$$

Protok mase vazduha m kroz otvor površine A_v je:

$$m_v = \rho A_v u_v \left(\frac{2\Delta P}{\rho} + u_0^2 \right)^{0,5} \quad (18.27)$$

Primerenije je ako amplitude pritiska ΔP izrazimo silom F_m :

$$dF_m = 2\pi r^2 \Delta P \sin \varphi d\varphi \quad (18.28)$$

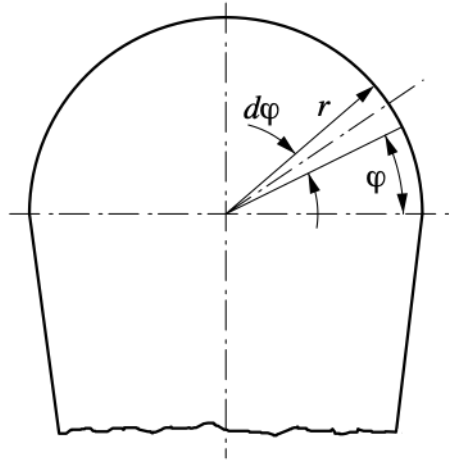
Integralom te jednačine dobićemo:

$$F_m = 0,5\pi^2 r^2 \Delta P \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^2 \varphi d\varphi = 0,5\Delta P; \quad \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^2 \varphi d\varphi = \frac{\pi}{4} \quad (18.29)$$

$$\Delta P = \frac{2F_m}{\pi^2 r^2} \quad (18.30)$$

Uzimajući u obzir jednačinu 18.24, jednačine (18.18) i (18.24) se mogu napisati u sledećem obliku:

$$m_k = 3,528Cr(\rho F_m)^{0,5} \quad (18.31)$$



Slika 18-8: Geometrija kupole prilikom otvaranja padobrana

$$m_v = \rho A_v \left(\frac{4F_m}{\pi^2 r^2 \rho} + u_0^2 \right)^{0,5} \quad (18.32)$$

Sledeća jednačina važi za konstantan hemisferni (polukružni) balon (padobran):

$$\rho \frac{d}{dt} \left(\frac{2}{3} \pi r^3 \right) + m_k + m_v = \rho \pi r^2 u \quad (18.33)$$

Uzimajući u obzir jednačine (18.31) i (18.32), dobijamo:

$$2\rho\pi r^2 \frac{dr}{dt} + 3,528Cr(\rho F_m)^{0,5} + \rho A_v \left(\frac{4F_m}{\pi^2 r^2 \rho} + u_0^2 \right)^{0,5} = \rho\pi r^2 u \quad (18.34)$$

Jednačina (18.34) je važna za određivanje konačne brzine padobrana. Sadrži sve parametre koji utiču na krajnju brzinu padobrana. Naročito nas zanima kako na brzinu padobrana utiču struktura tkanine (poroznost) i konstrukcija padobrana (veličina padobrana, poluprečnik, veličina otvora) zajedno sa ostalim parametrima.

18.3.4.4. Konačna brzina padobrana

Brzina padobranca prilikom otvaranju padobrana varira u skladu sa jednačinom (18.27). Promena brzine prikazana je na slici 18-9. U početnoj fazi ($t = 0$), sila otpora je relativno mala pa je i promena brzine mala. Kako se sila F povećava, brzina padobranca se naglo smanjuje. Zbog gore navedenih efekata, sila F se veoma brzo smanjuje, što posebno važi za sferni padobran bez kliznog pravougaonika. Može doći do takvog stanja da je $F < G_t$ (G_t masa padobranca), ili čak $F = 0$. U tom

slučaju imamo slobodan pad: brzina padanja raste. Ali opet se - u veoma kratkom vremenu - uspostavlja stanje sila koje usporava padanje, i kada je padobran potpuno otvoren, padobranac pada određenom brzinom.

Kada se padobran potpuno otvori, u jednačini (18.10) je $dr/dt = 0$; $d^2r/dt^2 = 0$, $r = r_E$; $F = G_t$ i ostaje samo poslednji član na desnoj strani jednačine (18.31):

$$\Delta p_B = \frac{G_t}{2\pi r_E^2} \quad (18.35)$$

Sa druge strane, jednačina (18.12) se može uzeti u obzir prilikom transformacije jednačine (18.15), u kojoj zamenimo u_0 sa u_k (pošto pretpostavljamo da se padobran potpuno otvorio i padobranac pada konstantnom brzinom u_k) i dobijemo:

$$\Delta p_B = 0,5\rho u_k^2 - 0,5\rho u^2 = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{K}{u_{t_0} m_t} \int_0^t e dt - \frac{gt}{u_{t_0}} \right)^2 - \frac{1}{2} \rho u^2 \quad (18.36)$$

Brzinu u možemo dobiti iz jednačine (18.32), ako uzmemo u obzir da je $dr/dt = 0$; $u_0 = u_k$; $r = r_E$ i $F_m = G_t$

$$u = \frac{1}{\rho\pi r_E^2} 3,528 C r_E (\rho G_t)^{0,5} + \rho A_v \left(u_k^2 + \frac{4G_t}{\rho\pi^2 r_E^2} \right)^{0,5} \quad (18.37)$$

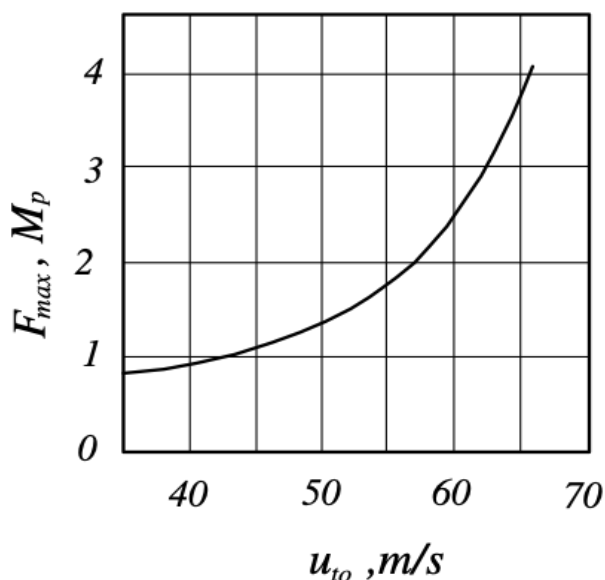
Uzimajući u obzir jednačine (18.35) i (18.37), jednačina (18.36) može se napisati u sledećem obliku:

$$\frac{G_t}{2\pi r_E^2} = 0,5\rho u_k^2 - 0,5\rho \left[3,528 C r_E (\rho G_t)^{0,5} + \rho A_v \left(u_k^2 + \frac{4G_t}{\rho\pi^2 r_E^2} \right)^{0,5} \right]^2 \quad (18.38)$$

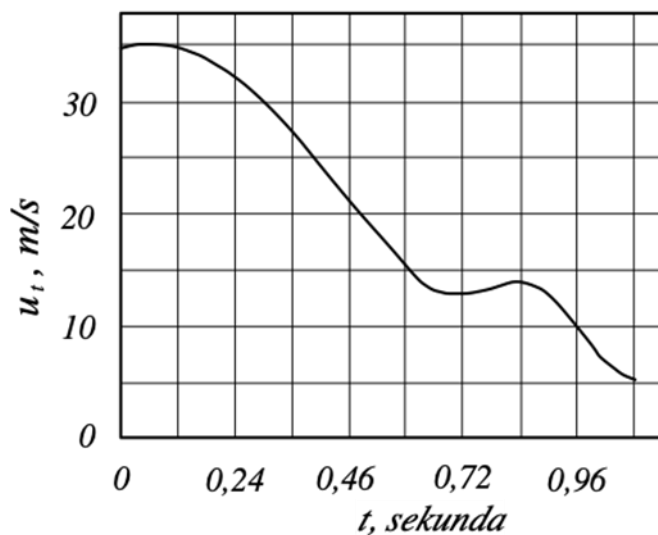
Iz jednačine (18.38) možemo zaključiti da ju je veoma teško rešiti po u_k . Ali, ako je C reda veličine 0,05 i manje, a $A_v \ll 1$, što je otprilike stvarno stanje kod padobrana, onda možemo zanemariti drugi član na desnoj strani jednačine i uzeti da je $\rho = 1,226 \text{ kg/m}^3$, pa ćemo dobiti:

$$u_k = 1,597 \frac{G_t^{0,5}}{r_E} \quad m/s \quad (18.39)$$

Slike 18-9 i 18-10 su samo ilustracije, simulirane na malom padobranu prečnika 2 m [1]. Drugi podaci su: $A_v = 0,00785 \text{ m}^2$; $K = 7440 \text{ N/m}$; $C = 0,15$; $G_t = 3 \text{ kg}$; početno relativno zatezanje užeta $E_0 = 0,004$; $p = 1,226 \text{ kg/m}^3$, $u_{t0} = 50 \text{ m/s}$. Ako je G_t u N, onda je $C = 0,05$



Slika 18-9: Brzina padobranca u fazi otvaranja padobrana



Slika 18-10: Promena maksimalne sile koja deluje na padobranca, u zavisnosti od početne brzine padanja

18.3.4.5. Tkanine za padobrane

Tkanina namenjena za izradu padobrana je veoma zahtevan proizvod [6]. Kvalitet tkanine mora biti standardizovan, odnosno propisan. Vrednosti parametara kvaliteta mogu odstupati od propisanih samo u uskim granicama. Loš kvalitet može dovesti do nesreće pri doskoku padobranca (prevelika poroznost padobrana, nedovoljna jačina, itd.). Zbog toga ćemo prikazati kvalitet četiri uzorka tkanine

za padobrane uzetih iz dva stara padobrana (po dva uzorka iz svakog padobrana). Rezultati ispitivanja kvaliteta su prikazani u tabeli 18-1. Moramo uzeti u obzir činjenicu da su padobrani već bili otpisani, što znači da su vrednosti parametara kvaliteta nove tkanine koja opisuje jačinu veće, a one koje opisuju poroznost niže, od vrednosti u tabeli 18-1. Sve tkanine su izrađene od PA multifilamente pređe.

Uzorci 1 i 3 su uzeti iz jedne, a uzorci 2 i 4 iz druge tkanine. Među uzorcima iste tkanine postoji samo razlika u boji. Kao što se može videti iz tabele 18-1, srednji hidraulični prečnik pora je manji od 20 mikrometara, što znači da su tkanine veoma guste. Vrednosti koeficijenata poroznosti C su manje od 0,015. Kod uzorka 3 je izračunata vrednost malo preniska u odnosu na vrednost kod uzorka 1. Kvadrati u prepletaju platna (14 * 14 niti) su okruženi „bordurrom” u ripsu (4 niti osnove i 4 niti potke). U prepletaju platno je oko 60 % površine tkanine.

Tabela 18-1: Vrednosti parametara kvaliteta tkanina, namenjenih za izradu padobrana (prepletaj tkanine je kombinacija platna i ripsa) [7]

Parametri kvaliteta	Jedinica merenja	Uzorak				
		1	2	3	4	
Finoća osnove	tex	4,0	8,5	5,0	9	
Finoća v potke	tex	4,6	9,0	5,0	9	
Zavoji	Z/m	308	192	300	185	
Težina tkanine	g/m ²	47	74	49	71	
Debljina tkanine	mm	0,081	0,131	0,078	0,134	
Prekidna jačina osnove	daN	36	83	40	70	
Prekidna jačina potke	daN	39	70	40	57	
Rastezanje osnove	%	36	27	32	25	
Rastezanje potke	%	29	33	32	29	
Probojna jačina	daN	35	69	37	66	
Rasteg kod proboja tkanine	%	13	13	13	13	
Sila produženog kidanja osnove	daN	4	5	5	5	
Sila produženog kidanja potke	daN	4	5	5	6	
Gustina po osnovi	niti/cm	48	44	50	45	
Gustina po potci	niti/cm	45	44	50	45	
Parametri poroznosti	A	-	13,50	9,63	10,77	8,87
	b	-	0,691	0,671	0,738	0,704
	d	µm	17	14	13	12
	P	%	0,49	0,25	0,31	0,21
	C	-	0,0133	0,0095	0,0095	0,0085

Literatura

1. El Mogahzy Y. 2009. Engineering Textiles. Integrating the Design and Manufacture of Textile Products. The Textile Institute, Woodhead Publishing: 560 str.
2. Scott R. A. 2000. Tekstiles in defence. V: Horrocks A. R., Anand S. C. Handbook of Technical Textiles. The Textile Institut, Cembridge, Woodhead Publishing Limited: 425–456.
3. Flis V. 2004. Padalstvo za začetnike. Maribor, Obzorja, založništvo in izobraževanje: 287 str.
4. Sutton O. G. 1984. Mathematics in action: applications in aerodynamics, statistics, weather prediction, and other sciences. New York, Dover Publications: 236 str.
5. Dovedan Z. 1979. Prilog teoriji otvaranja padobrana. Zagreb. Tehnički školski centar kopnene vojske JNA – Tehnička vojna akademija KoV: 52 str.
6. Citoğlu F., Esi B. 2017. Parachute fabric and its manufacturing process. International Journal of Science, Environment and Technology, 6 (5): 3214–3224. Jakšić D. 1994. Analiza kakovosti tkanin, namenjenih za izdelavo padal, Ljubljana: Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Oddelek za tekstilno tehnologijo: 27 str.

19. KONSTRUKCIJA TEKSTILIJA

19.1. Opšte

Tekstilije, koje obrađujemo u ovoj glavi, predstavljaju svi proizvodi proizvedeni od tekstilnih vlakana. Vlakna su polazna sirovina koja nije proizvod tekstilne industrije u klasičnom smislu

Proizvodnju hemijskih vlakana obično ubrajamo u hemijsku industriju. Proizvodnja prirodnih vlakana je najčešće u području poljoprivrede.

Tekstilna industrija ne obuhvata proizvodnju vlakana, ali je njihov glavni korisnik. Zbog toga utiče na njihovu količinu, kvalitet i opšti asortiman. Kakva treba biti vrsta i kvalitet vlakana, određujemo induktivnim postupkom. Najpre polazimo od projektnih zahteva, koji nas ograničavaju u pogledu kvaliteta gotovog proizvoda, odnosno kompleta, ukoliko se radi o odeći. Konstrukcija gotovog proizvoda ili kompleta treba biti optimalna u pogledu projektnih zahteva. Gotovi proizvodi ili kompleti se izrađuju od repromaterijala (poluproizvoda). Njih biramo tako što krajni proizvod ili komplet dobije osobine koje su optimalne u pogledu projektnih zahteva. Šta podrazumevamo pod repromaterijalima zavisi, pre svega, od toga šta je u proizvodnom procesu konačni proizvod. Ono što je za jednoga proizvođača konačni proizvod, za drugoga je repromaterijal. Ako uzmemo najčešći primer – odeću, ona je konačni proizvod. Naravno, tu su i njeni sastavni delovi: tkanine, pletenine, konac, trake, patent- zatvarači („rajsferšlusi”), dugmad i slično, koji su sa stanovišta konfekcije repromaterijali. Za proizvodnju navedenih repromaterijala potrebne su određene sirovine. Po toj logici bi predivo bilo sirovina za izradu konca, tkanina ili pletenina. Ipak, pređa se obično ubraja u poluproizvode a ne u sirovine. U tekstilnoj industriji se samo vlakna ubrajaju u sirovine; boje, sredstva za apreturu, sredstva za pranje i sl. su pomoćna sredstva. Na osnovu toga razlikujemo sirovine i pomoćna sredstva, poluproizvode i proizvode različitog stepena dorade, i gotove proizvode. Prilikom konstruisanja gotovog proizvoda obično upotrebljavamo deduktivnu metodu. To znači da idemo od potrebnih parametara kvaliteta konačnog proizvoda ka sirovinama i pomoćnim sredstvima. Ponekad je preporučljivo razmatrati više faza istovremeno, posebno onda kada postoji veći broj mogućih rešenja. Pored toga, česta su različita ograničenja kao: nepotpunost mašinskog parka, pomanjkanje odgovarajućih sirovina, pomoćnih materijala i sl. U takvim situacijama pokušavamo da se, što je moguće više, približimo optimalnoj konstrukciji pomoću zamena, delimičnih promena pojedinih elemenata konstrukcije itd.

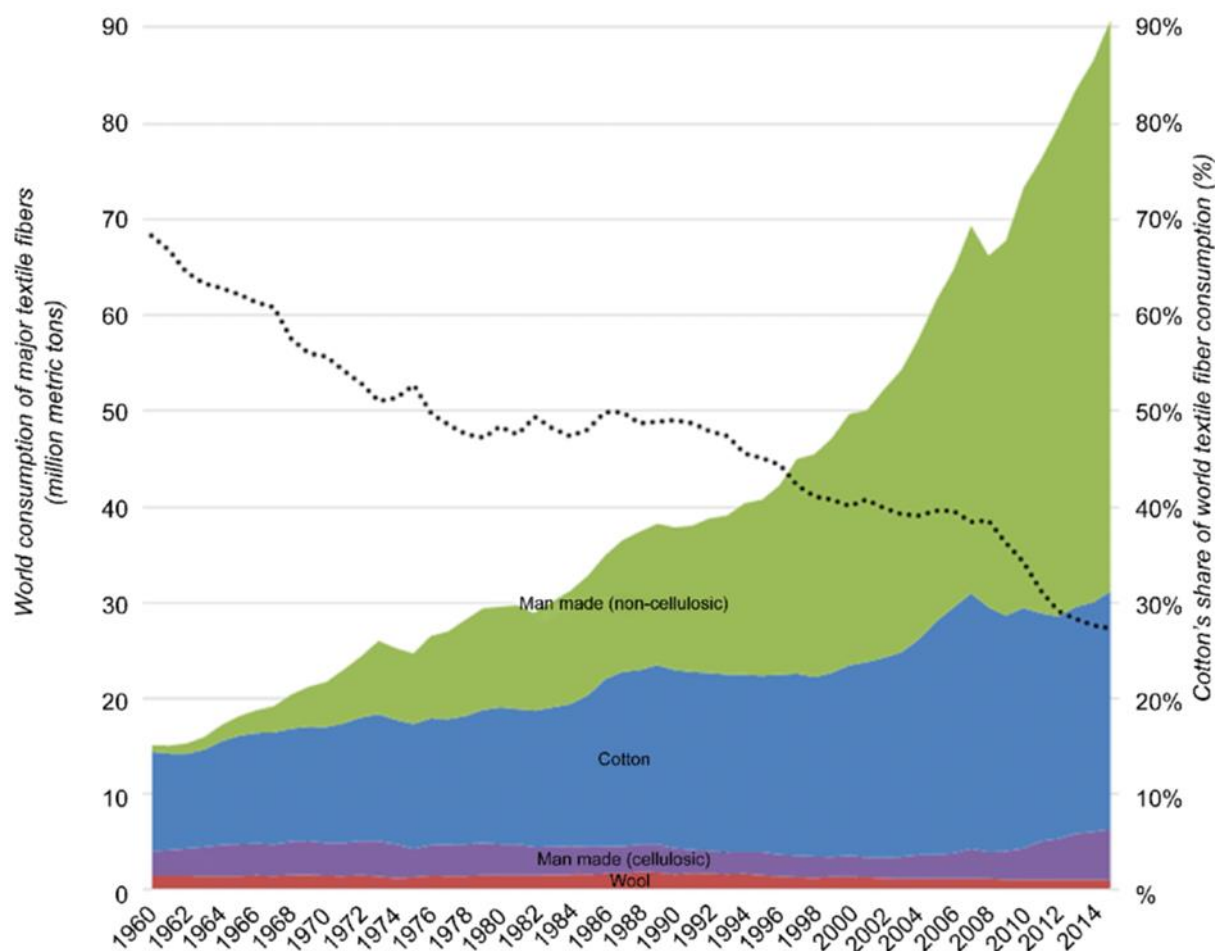
U nastavku ćemo pokušati opisati izradu poluproizvoda i konačnih proizvoda, koji imaju unapred određene konstrukcijske karakteristike. Pri tom ćemo obrađivati čitavu problematiku uopšteno, ali dovoljno namenski, da bi uvid u sistem konstruisanja i izbora načina proizvodnje tekstilnih proizvoda bio jasan.

19.2. Izbor vlakana

Pre drugog svetskog rata izbor je bio veoma jednostavan. Na raspolaganju su bile samo četiri vrste vlakana: pamuk, vuna, prirodna svila i hemijska vlakna iz regenerisane celuloze, pre svega viskoznog tipa. Danas je sasvim drugačije. Udeo prirodnih vlakana opada zbog brzog povećanja proizvodnje hemijskih vlakana. Nije se povećao samo udeo i apsolutna količina hemijskih vlakana, nego se

povećao i broj i vrsta hemijskih vlakana, kao i broj tipova u pojedinim vrstama. Upotreba velikog broja vrsta i tipova vlakana otežava pravilan izbor za određeni proizvod.

Potrošnja tekstilnih vlakana se može podeliti na tri osnovna područja: odeća, oprema boravišnog prostora (dekorativna roba, posteljina, podne i zidne obloge) i tehničke tekstilije. Za odeću se potroši približno 65 % svih tekstilnih vlakana, za opremu prostora za boravljenje 20 % i za tehničke tekstilije 15 %. Neke razvijene države već sada imaju drugačiju strukturu potrošnje tekstilnih vlakana. Japan troši za tehničke tekstilije više od 50 % vlakana. Iz toga, kao i iz opšteg trenda u razvijenim državama, možemo zaključiti da se struktura upotrebe tekstilnih vlakana menja. Pritom narasta udeo vlakana koja se troše za izradu tehničkih tekstilija.



Slika 19-1: Svetska potrošnja tekstilnih vlakana i trendovi tržišnog učešća pamuka u periodu 1960-2014¹

Wool – vuna; cotton – pamuk; man made (cellulosic) – sintetska celulozna vlakna, man made (non-cellulosic) – sintetska necelulozna vlakna

Potrošnja tekstilnih vlakana u svetu se izrazito povećava, uglavnom zbog sve veće potrošnje sintetičkih vlakana. Oko 70 % svih vlakana se preradi u tkanine, ostalo u pletenine, vlaknovine itd. Tkanine znači još uvek preovladavaju u proizvodnji tekstilnih proizvoda. Zato ćemo detaljnije obraditi konstrukciju tkanina.

¹ https://www.researchgate.net/figure/World-consumption-of-major-textile-fibers-and-variation-of-cottons-market-share-6_fig1_309520719

19.2.1. Izbor vlakana za proizvodnju odeće

Prilikom ovog izbora moramo uzeti u obzir više aspekata: psihološki, termoizolacijski, estetski, ekonomski, funkcionalni itd. Koji aspekt će prevladati zavisi takođe od namene odeće (dečja, svakodnevna, sportska, radna, terenska, vojna uniforma, posebna odeća itd.). Izbor vrste vlakana zavisi takođe od položaja sloja odeće (sloj na površini kože, termoizolacijski sloj, gornji sloj).

To bi bio najuopšteniji pristup, s obzirom na položaj sloja ili dela sloja u odeći. Radi toga ćemo analizirati uticaj različitih aspekata i namene odeće na izbor vrste i tipa vlakana u određenom sloju odeće. Počnimo sa slojem koji je u neposrednom dodiru sa kožom. U tom sloju možemo izdvojiti tri različita dela: donje rublje i košulja, čarape i eventualno pantalone ili suknja. Iskustvo pokazuje da donji ekstremiteti nisu previše osetljivi na vrstu vlakana; ona ne smiju biti previše gruba, odnosno slabo savitljiva. Približno isto važi i za gornje ekstremitete (ruke). Ostala površina tela je osetljivija. Neki ljudi su veoma osetljivi na pojedine vrste hemijskih vlakana. Pojavni oblik te osetljivosti je alergija (blaga upala površine kože, osećaj nervoze i opšta slabost). Takvu reakciju prouzrokuju vlakna koja apsorbuju mali procenat vlage i skupljaju veću količinu statičkog elektriciteta, koji nastaje kao posledica trenja. Te osobine imaju PA, PES i slična vlakna. Odlične apsorpcijske osobine imaju pamuk, viskozna hemijska vlakna, vuna i prirodna svila. Zbog isparavanja znoja, ovaj sloj je najčešće u zasićenoj atmosferi. Pošto pod tim uslovima prirodna vlakna apsorbuju 8 do 30 procenata vlage, računato na suhu masu, u njima se ne pojavljuje statički elektricitet i koža se ne nadražuje.

Prilikom izbora vlakana za sloj odeće, koji je u neposrednom dodiru sa površinom kože, moramo uzeti u obzir i uslove održavanja (pranje ili hemijsko čišćenje). Pošto je hemijsko čišćenje skupo, koristi se pranje na temperaturi od 40 °C do 95 °C, kao najčešći postupak održavanja donjeg rublja. Prirodne svile ima veoma malo, a vuna je postala izuzetno dragocena, ove dve vrste prirodnih vlakana možemo izdvojiti kao ekonomski nedostižne za upotrebu za donje rublje ili čak i za košulje. Ostaje nam samo pamuk i viskozna hemijska vlakna. Količina proizvedenog pamuka stagnira, njegov udeo u potrošnji tekstilnih vlakana se smanjuje. Sa druge strane stanovništvo narasta. Ako uzmemo u obzir te činjenice, čisti pamuk će se ređe upotrebljavati za donji veš i košulje. Jedina realna perspektiva je znači njegovo mešanje sa hemijskim dlakama i izrada hemijskih vlakana, koja imaju približno slične fiziološke osobine kao pamuk i bolje fizičko-mehaničke osobine od viskoznih vlakana. Takva hemijska vlakna se proizvode već duže vreme.

Mešavine hemijskih vlakana sa pamukom su manje-više standardizovane. Udeo pojedinih vlakana je izabran tako da proizvodu sa stanovišta upotrebe daje optimalne osobine i cenu. Mešavinu ponekad uslovljava i tehnološki proces, npr. kada se različite vrste vlakana mešaju u obliku traka na razvlačicama. Pored fiziološke podobnosti mešavine, moraju hemijska vlakna u njoj biti stabilizovana da ne menjaju dimenzije (dužinu) u procesu nege (pranja). Druge osobine nemaju značajniju vrednost. Kod košulje je takođe bitan estetski izgled. Zbog toga ne sme doći do pilinga, što znači da kvalitet hemijskih vlakana mora stvarno odgovarati nameni.

Drugi sloj je obično termoizolacijski. Vlakna, koja bi trebali izabrati za izradu ovog sloja, moraju imati što manju vrednost koeficijenta toplotne prevodnosti i što veću voluminoznost. To ne znači samo manju specifičnu gustinu vlakana nego, pre svega, njihovu kovrdžavost koja omogućava izradu voluminozne pređe. Zbog toga za ovaj sloj nisu pogodna pamučna vlakna i viskozna hemijska vlakna.

Pogodna su vuna i kovrdžava sintetička vlakna, pre svega manje kvalitetna vuna u mešavini sa hemijskim vlaknima.

Gornji sloj je najzahtevniji i najraznovrsniji. Za izradu gornjeg sloja nisu pogodne sve vrste i tipovi vlakana, izuzev ako je to ekonomski opravdano. U pogledu namene odeće, takođe su različiti zahtevi za kvalitet vlakana od kojih treba biti proizveden gornji sloj odeće ili delovi gornjeg sloja odeće. Svakodnevna odeća, bez obzira na to da li je muška, ženska ili dečja, mora imati značajno naglašenu estetsku komponentu. To možemo postići bilo kojom vrstom vlakana ako ih izložimo određenim tehnološkim postupcima u fazi proizvodnje tekstilija (pređe, tkanine ili pletenine). Vlakna takođe moraju dobro podnositi fazu šivenja odeće da ne bi došlo do oštećenja vlakana u pređi, odnosno tkanini ili pletenini. Hemijska vlakna, namenjena za izradu gornjeg sloja odeće, među koje ubrajamo i ogrtače vetrovke i sl., pretežno su kovrdžana (teksturirana) vlakna (ogrtač) ili pretežno glatki multifilament (vetrovka). Konstrukcija tekstilija za izradu gornjeg sloja odeće se prilagođava atmosferskim prilikama kojima je ta odeća namenjena (leto, jesen, zima, vetar, kiša i sl.).

19.2.2. Izbor vlakana za opremanje prostora za boravljenje

Najpre ćemo definisati termin „oprema prostora za boravljenje”, sa fokusom na tapaciranje pokućstva i saobraćajnih sredstava (automobili, autobusi, putnički vagoni, brodovi, putnički avioni i sl.), podne i zidne obloge, posteljinu i sl.

Tekstilije koje upotrebljavamo za opremanje stanova, a pre svega javnih prostora (bolnice, hoteli, domovi za stare, tapaciranje saobraćajnih sredstava i sl.) moraju biti negorive. To obično znači da se ne zapale dok koncentracija kiseonika ne dostigne 25 %, odnosno da se ugase ako odstranimo plamen ili telo zagrejano na veoma visoku temperaturu. U Evropskoj uniji ovo područje reguliše Direktiva 2001/95 / EC Evropskog parlamenta i Saveta od 3. decembra 2001. o opštoj bezbednosti proizvoda [1].

Negorivost se može postići kod sintetičkih hemijskih vlakana a da im se ne smanji vrednost tekstilno-tehnoloških parametara i upotrebnih osobina. Pogledajmo najpre posteljinu. To su čaršavi, jastuci, presvlake za jastuke i ćebad, prekrivači (u većini slučajeva su to bila ćebad). Ranije su jastuci bili punjeni perjem, danas tu ulogu imaju različita vlakna ili poliuretanska pena. Ako koristimo vlakna, moraju imati dovoljno veliku otpornost na pritisak, veliku voluminoznost i kovrdžavost, te nisku cenu. Za tu namenu su najprikladnija sintetička hemijska vlakna koja imaju odgovarajuću elastičnost i kovrdžavost. Kovrdžavost postižemo odgovarajućom termičkom obradom, odnosno teksturiranjem. Ponekad za punjenje jastuka koristimo sekundarne sirovine (otpaci prilikom predenja, ili čak i prilikom konfekcioniranja). Kvalitet takvih jastuka je prilagođen tome. On se ogleda pre svega u neodgovarajućoj elastičnosti punjenja i sklonosti ka deformacijama.

Posebno treba obraditi presvlake za jastuke i čaršave. One bi se trebale lako prati i ne bi smele nadraživati delove kože sa kojima dolaze u neposredan dodir. Poseban zahtev može biti negorivost. Pored toga se pretpostavlja određena jačina, što manje skupljanje prilikom pranja, otpornost na trenje i sl. Osim gorivosti, sve te osobine imaju pamuk i fini lan. Pošto je pamuka malo a lana još manje, za izradu čaršava se upotrebljavaju pre svega mešavine pamuka i hemijskih vlakana. U nekim slučajevima se čak koriste sama sintetička hemijska vlakna. U tom slučaju je preporučljivo da je pidžama pamučna ili proizvedena od mešavina pamuka i sintetičkih vlakana.

U krevetninu takođe ubrajamo termoizolacijske slojeve, koje najčešće čine ćebad. Ranije su se upotrebljavali pokrivači punjeni perjem. U novije vreme perje nije dostupno u dovoljnim količinama i takvi pokrivači se malo proizvode. Koriste se i prošiveni pokrivači koji su debeli nekoliko centimetara i najčešće napunjeni sekundarnim tekstilnim sirovinama. Ćebe, kao termoizolacijski sloj, jeste najpogodnije. Dovoljno je tanko pa možemo po potrebi dobiti višeslojnu (veći broj ćebadi) termoizolaciju. Ćebad su, u poređenju sa prošivenim pokrivačima i pokrivačima od perja laka zbog svoje konstrukcije, savitljiva su, dobro se prilagođavaju telu i ne omogućuju formiranje „ventilacijskih” otvora.

Kod ćebadi termoizolacijsku ulogu obično ima potka. Tu ulogu može imati i osnova. U prvom slučaju osnova može biti pamučna, od mešavine pamuka i hemijskih vlakana ili od čistih hemijskih vlakana (takođe i od čistih viskoznih vlakana). Za proizvodnju kvalitetnih ćebadi koristimo za izradu potke vunu, mešavinu vune i sintetičkih (hemijskih) vlakana ili čista sintetička hemijska vlakna. Vlakna moraju biti voluminozna kao vuna, što se postiže upotrebom kovrdžavih vlakana. Za izradu lakih letnjih ćebadi se mogu upotrebiti ista vlakna kao za proizvodnju kvalitetnih debelih ćebadi ili se koriste sekundarne sirovine za manje kvalitetnu ćebad. Ćebad sa bukle osnovom su frotirna ćebad, koja se mogu upotrebiti i kao čaršavi ako je osnova pamučna bukle pređa. Potka i temeljna osnova mogu biti proizvedeni od manje kvalitetnih sirovina, koje mogu sadržati određen postotak sekundarnih sirovina. S obzirom na to da se frotirne deke (ćebad) peru, ne preporučuje se upotreba vunениh vlakana (ni u delu sekundarnih sirovina).

Upotreba tekstilija za tapaciranje je veoma višestrana. Tapaciramo pokućstvo za stanovanje, uredski nameštaj, sedišta u prometnim sredstvima i slično. Tekstilije za tapaciranje moraju biti otporne na gužvanje, trenje, prljavštinu, promenu izgleda zbog promene boje i izlizanosti. Pored toga moraju omogućiti njegu (odstranjivanje fleka i druge prljavštine) i imati stabilan oblik. Idealnog vlakna, koje bi ispunjavalo sve navedene zahteve, nema. Najpogodnija je vuna, mešavina vune i sintetičkih hemijskih vlakana, kao i hemijska vlakna. Pri tome treba uzeti u obzir da se to odnosi na vlakna koja su neposredno na površini tkanine ili pletenine, koje se upotrebljavaju za tapaciranje. Od prepletaja zavisi koji sistem će preovladati na površini (osnovin ili potkin efekat). Ako je osnova mnogo finija od potke a potka je pritom dekorativni element (potkin efekat), onda za osnovu možemo upotrebiti bilo koje vlakno, čak i viskozno, jer ima ulogu armature i ne dolazi do izražaja na površini tkanine. Iz toga je očigledno da ima mnogo različitih slučajeva i da moramo svaki analizirati, uzimajući u obzir najvažnije aspekte upotrebe, i na osnovu takve analize izabrati najprimereniju vrstu vlakana.

U sledeću skupinu spadaju zavese. One su većinom izložene direktnoj sunčevoj svetlosti. Zbog velike površine nisu pogodne za peglanje i moraju lepo „padati”. Bez obzira na konstrukciju (tkanine, pletenine ili sukljanka-perling tkanine, koje su namenjene za zavese), vlakna od kojih su zavese proizvedene moraju biti otporna na uticaj direktne sunčeve svetlosti i, po mogućnosti, na gužvanje. Tim zahtevima odgovara pre svega vlakno PES, delimično PAN pa i drugi tipovi PA i PP vlakana, koji su stabilizovani na degradacijski učinak sunčeve svetlosti. U današnje vreme bi bilo nesmotreno upotrebljavati za zavese pamuk, još manje vunu. Hemijska viskozna vlakna nisu pogodna zbog relativno slabe dimenzijske stabilnosti, prevelikog gužvanja i slabe postojanosti na sunčevu svetlost.

Veoma značajna grupa su tekstilije za podne i zidne obloge. Zidne obloge mogu imati estetsku, zvučno-izolacijsku i termoizolacijsku funkciju, ili sve tri navedene funkcije istovremeno. S obzirom

na to, najpogodnija su sintetička voluminozna hemijska vlakna. Obavezno treba uzeti u obzir negorivost zidnih obloga. Bez obzira na to što kod nas još nemamo propise u pogledu negorivosti zidnih obloga, moramo uzeti u obzir činjenicu da su gorive zidne obloge opasne po život ljudi, posebno u velikim hotelima, javnim prostorima itd. Zato je poželjno da se za izradu zidnih obloga koriste negoriva sintetička hemijska vlakna.

Podne obloge, u užem smislu, jesu tekstilije kojima smo zamenili parket, brodski pod i sl. Tepih je po svojoj funkciji pre estetski dodatak nego podna obloga, uprkos tome što ima i tu funkciju (makar na površini na kojoj je položen). Podne obloge imaju iste funkcije kao zidne obloge. Poželjno je takođe da su negorive. Za razliku od zidnih obloga, podne obloge su izložene habanju, pritisku, prljavštini, češćem čišćenju i sl. To znači, da vlakna namenjena za izradu podnih obloga moraju biti elastična (otporna na deformacije pod pritisakom), otporna na habanje i piling, kao i na brzo prljanje. Pošto je potrošnja podnih obloga velika i veoma naglo se povećava, vlakna moraju biti relativno jeftina i dostupna. Ako uzmemo u obzir navedene zahteve, pamuk i viskozna hemijska vlakna nisu pogodna. Vuna je nekada bila ekskluzivna tekstilna sirovina za izradu tepiha, koji su korišteni kao podne obloge, ali danas vune nema u dovoljnim količinama i zamenjuju je sintetička hemijska vlakna. To važi, pre svega, za kvalitetne podne obloge, izrađene tafting tehnikom. Za manje kvalitetne podne obloge, izrađene tehnikom iglanja, mogu se upotrebiti i sekundarne tekstilne sirovine koje su najčešće mešavina različitih tekstilnih vlakana.

19.2.3. Izbor vlakana za tehničke tekstilije

Tehničke tekstilije je vama teško definisati. Neke možemo svrstati i u grupu odeće i u tehničke tekstilije istovremeno. To su pre svega posebna zaštitna odeća: odeća ili delovi odeće za zaštitu od projektila, zaštitna odeća od vatre, termičkog udara, od otrovnih hemikalija ili bojnih otrova, odeća kosmonauta i slično. Posebna odeća nije rasprostranjena i njenu upotrebu uslovljava posao. U posebnim okolnostima možemo je ubrojiti u tehničke tekstilije.

19.2.3.1. Radna odeća

U posebnu odeću možemo uvrstiti radnu odeću za rad u agresivnoj atmosferi kao što je kisela ili bazna, ili odeću za rad sa kiselinama ili bazama. U tom slučaju moramo izabrati vlakna koja su otporna na datu agresivnu atmosferu. U tu svrhu koristimo neke vrste sintetičkih hemijskih vlakana. Ponekad odeća mora biti negoriva (vatrogasna i pilotska odeća, uniforme tenkista i sl.). U tom slučaju odeća ili uniforma moraju biti izrađene od negorivih vlakana. Obrada tkanina apreturim sredstvima protiv gorenja se pokazala kao malo efikasna. Takve apreture negativno utiču na druge parametre kvaliteta i obično nisu dovoljno trajne. Zbog toga se u novije vreme upotrebljavaju različiti aditivi koji se dodaju talini ili rastopini od kojih se izrađuju sintetička hemijska vlakna. Ti aditivi usporavaju gorenje. Tako dobijemo permanentno negoriva vlakna kod kojih drugi parametri kvaliteta nisu bitno oslabljeni. Pored toga, aromatski poliamidi su već sami po sebi negorivi, ali je cena tih vlakana zasad izuzetno visoka i upotrebljavaju se samo tamo gde druga vlakna zaista nisu odgovarajuća (temperature 250 °C do 400 °C i sl.).

Kao što smo već naveli, među posebnu odeću možemo ubrojiti i odeću koja štiti od projektila koji imaju nisku kinetičku energiju (brzine do 400 m/s). Takvu zaštitnu odeću (ili samo zaštitni prsluk) upotrebljavaju pojedine armije i posebne sigurnosne jedinice policije. Najznačajnija osobina vlakana koje koristimo za takvu odeću je visoka vrednost početnog modula elastičnosti (visoko modularna

vlakna). Za njihovu deformaciju je potrebna veoma velika količina kinetičke energije, što znači da se mogu uspešno odupirati projektilima koji imaju brzinu do 400 m/s. Visok početni modul imaju dobro orijentisani aromatski poliamidi (Kevlar, Nomeks, Tvaron, Teknora, i sl.) i poliestersko vlakno – Spektra, od kojih se prave različite vrste mreža. Mreže se mogu upotrebljavati kao zavese, za odbranu od insekata ili kao ukras (različite vrste čipki) Mreže koje upotrebljavamo za tehničke namene su ribarske mreže kao i maskirne mreže. Maskirnim mrežama se prekrivaju različita oružja, transportna sredstva i manji vojni objekti, koje tako zamaskiramo pred neprijateljem. Pošto maskirne mreže nisu izložene opterećenjima, možemo ih izrađivati od vlakana koja imaju manju prekidnu jačinu (PAN vlakna i sl.) Ova vlakna su takođe otporna na atmosferilije, sunčevu svetlost i mikroorganizme. Sa druge strane se lako boje, što je veoma važno zbog bojenja u maskirne svrhe.

19.2.3.2. Ribarske mreže

Ribarske mreže su izložene velikim opterećenjima na zatezanje, agresivno delovanje morske vode i sunčevih zraka (za vreme sušenja ili skladištenja na palubi ribarskog broda). Ovim zahtevima najbolje odgovaraju stabilizovana PA vlakna, PES vlakna kao i stabilizovana PP vlakna. Ranije su za ribarske mreže koristili najčešće pamuk, ali su sintetička hemijska vlakna mnogo primerenija i od njih izrađene ribarske mreže imaju nekoliko puta duži životni vek.

19.2.3.3. Tkanine za šatore, jedra i cerade

Tkanine za šatore, jedra i prekrivače-cerade možemo svrstati u jednu grupu. Ove tkanine su izrađene od grube, veoma jake pređe. Izložene su veoma velikim zateznim i raspučnim opterećenjima, kao i silama koje prouzrokuju naknadno kidanje tkanine. Pored toga, često su

plastificirane i izložene atmosferilijama i sunčevim zracima. Pošto su cerade i šatorske tkanine zategnute na konstrukciji, moraju tokom upotrebe zadržati praktično apsolutnu stabilnost dimenzija. Za tu namenu upotrebljiva su sintetička hemijska vlakna, i to tipovi koji imaju veoma visoku vrednost početnog modula elastičnosti i koja su stabilizovana protiv negativnog uticaja ultravioletnih zraka. Ova vlakna su takođe veoma otporna na uticaj mikroorganizama sa kojima šatorska tkanina dolazi u dodir preko biološki aktivne zemlje, na kojoj je šator postavljen. Iako su ranije za izradu tkanina za šatore i ponjave upotrebljavali isključivo pamuk a za izradu jedara delimično pamuk i delimično lan, danas ove vrste vlakana nisu primerene jer njihove osobine, u poređenju sa osobinama sintetičkih hemijskih vlakana, nisu odgovarajuće za izradu tih artikala.

Ovde još moramo navesti da je tkanina za jedra takmičarskih jedrilica veoma specifičan proizvod. Mora biti laka, što se postiže posebnom tehnologijom izrade. S obzirom na to da se ta vrsta tkanine proizvodi u manjim količinama, nećemo je detaljnije obrađivati.

19.2.3.4. Tkanine za padobrane

U ranijim vremenima (do kraja Drugog svetskog rata i nešto posle njega) za izradu tkanine za padobrane se koristila prirodna svila, pre svega zbog izvanredne elastičnosti i jačine. Pored toga, pre Drugog svetskog rata nije bilo pogodnijeg materijala od prave svile. Najlon i perlon se još nisu proizvodili u dovoljnim količinama.

Danas se tkanine za padobrane izrađuju pre svega od PA multifilamentne pređe. PA je primeren zbog relativno male specifične mase. Ako želimo da padobrani od PA imaju duži životni vek, moramo ih

izrađivati od PA koji je stabilizovan na delovanje ultravioletnih sunčevih zraka. Možemo upotrebiti i druga sintetička hemijska vlakna, koja imaju visoku vrednost početnog modula elastičnosti. Padobrani moraju biti što lakši, uzimajući u obzir optimalne vrednosti prekidne jačine, raspućne jačine i otpornosti prema naknadnom kidanju. Pored toga, moramo uzeti u obzir poroznost. Najbolje rezultate navedenih parametara dobijamo kod tkanina koje su izrađene iz multifilamentne pređe. Štapelna vlakna se zbog toga ne upotrebljavaju.

19.2.3.5. Tkanine za filtraciju gasova i tekućina

U sledeću skupinu tehničkih tekstilija možemo razvrstati tekstilne filtere (tkanine i vlaknovine) za mokru ili suhu filtraciju. Za pravilan izbor vrste vlakana od odlučujućeg značaja je temperatura filtracije i agresivnost gasova, tekućina ili čvrste tvari, koje filtriramo. Uslovi filtriranja su toliko različiti da praktično možemo upotrebiti sve vrste vlakana za izradu tekstilnih filtera. Prvi ograničavajući faktor je temperatura. Ona se pre svega javlja prilikom filtriranja vrućih gasova. Prirodna vlakna možemo upotrebiti samo kod nižih temperatura, vunu približno do 60 °C i pamuk do 100 °C.

Za temperature od 100 °C do 150 °C su odgovarajuća PES vlakna a iznad 150 °C do 250 °C aromatična poliamidna vlakna (Nomeks, Kevlar itd.); iznad 250 °C koristimo pre svega ugljenična i staklena vlakna. Danas se više ne upotrebljavaju azbestna vlakna jer se njihova proizvodnja napušta zbog štetnosti za zdravlje rudara i drugih koji dolaze u dodir sa njima.

Vunena vlakna se još delimično koriste za izradu tekstilnih filtera koje koristimo u industriji papira. Vunu zamenjujemo sintetičkim hemijskim vlaknima.

Pamuk se koristi pre svega za izradu tkanina od kojih se izrađuju vreće za filtriranje prašine iz atmosfere u industrijskim pogonima i u prehrambenoj industriji, takođe (fabrike šećera, rafinerije jestivog ulja i sl.) Ponekad se tkanina upotrebljava kao armatura na koju se talože fina vlakna, koja čine filterski sloj, jer bi inače sama tkanina bila pregruba - preslab efekat filtracije (rafiniranje jestivog ulja). U novije vreme se sve češće upotrebljavaju vlaknovine za tekstilne filtere. Ipak kod visokih pritisaka i do 1 MPa (ovako visok pritisak se koristi prilikom filtracije mase u keramičkoj industriji), upotrebljavamo tkaninu (pošto ona takav pritisak može podneti), koja mora biti veoma gusta. Izrađujemo je iz multifilamentne PES pređe. Ova vlakna moraju imati veoma visoku vrednost početnog modula elastičnosti. Vrstu vlakana takođe bismo po kriterijumu agresivnosti tvari koju filtriramo (kisela ili bazična). Aromatični poliamidi su odgovarajući za filtriranje vrućih i agresivnih gasova. Ako temperatura gasova prelazi 150 °C, radije ćemo upotrijebiti PES vlakna jer su jeftinija. Pritom moramo uzeti u obzir i životni vek, i troškove zamene vreća za filtraciju, jer se može pokazati da su inače skuplja vlakna jeftinija zbog manjih proizvodnih troškova.

19.2.3.6. Tkanine za pogonske kaiševe, transportne trake i slično

U tehničke tekstilje ubrajamo i razne vrste traka i užadi, transportne trake, pogonske remene, kord za gumu i sl. Ovi proizvodi moraju podnositi velike natezne sile i, u nekim slučajevima, moraju biti otporni na trenje. Ovakve osobine nude neka hemijska vlakna u obliku multifilamenta, ali samo oni tipovi, koji imaju visok stepen orijentacije i zbog toga visoku početnu vrednost modula elastičnosti.

19.3. Konstrukcija pređe

19.3.1. Opšte

Veoma je važno da postavimo kriterijume za izbor optimalnog kvaliteta pređe za određenu svrhu. Pod tim se podrazumeva pređa u širem smislu te reči, znači mono i multifilamentna pređa, koja se dobija pređenjem hemijskih vlakana iz rastvora ili taline. Mono i multifilamentna pređa se koristi za proizvodnju ravnih tekstilnih proizvoda direktno ili se pre doradi. Multifilamentna pređa je veoma često kovrdžana (teksturirana) da bi se povećala zapremina i poboljšao opip pređe. Monofilamentna pređa se takođe često termički obrađuje da bi se dobila željena konfiguracija i osobine.

Monofilamentne možemo oblikovati u spirale, od kojih se pravi posebna vrsta filtera. Takođe se mogu koristiti kao nerastegljive opruge galirnih šnjura na žakar mašinama. Za takve namene se koristi gruba monofilamentna pređa. Od finijih monofilamentnih prediva izrađuju se tkanine za različite filtere, među koje ubrajamo i različite vrste sita. Takve tkanine su veoma ujednačene i imaju veliku jačinu. Veoma je teško tkati guste tkanine iz monofilamentne pređe jer pređa ima nizak koeficijent trenja na relativno glatkoj površini. Kada je potreban veoma gust filter - sa malim prosečnim hidrauličnim prečnikom pora - na primer, ispod 10 mikrometara – termički obrađujemo tkanine izrađene od finijih monofilamentnih prediva. Tkanina se propušta preko kalendera, čiji se cilindri zagrevaju do temperature veće od temperature omekšavanja monofilamentne pređe. Pređa omekšava i deformiše se pod pritiskom - širi se u ravni tkanine. Time se smanjuju pore u tkanini, i čak se niti delimično zalepe jedna za drugu. To povećava stabilnost konfiguracije tkanine

U užem smislu reči, pređa je ispredena od štapelnih vlakana u predionicama, bez obzira na tehnologiju pređenja (prstenasta predilica OE-predenje, frikcijsko pređenje, aerodinamički postupak pređenja). Često smo ograničeni u izboru tehnologije. Obično imamo predionicu koja ima instaliranu određenu tehnologiju i tu ne možemo mnogo da menjamo. Postoje i predionice u velikim tekstilnim kombinatima koji imaju kapacitete u više tehnologija ili mogu izvoditi više postupaka u jednoj tehnologiji (češljani, polučešljani, kardirani-vlačeni ili vigonj postupak).

Konvencionalna tehnologija pređenja, sa prstenastom predilicom na kraju tehnološkog procesa pređenja, ima određene prednosti u odnosu na druge tehnologije, s obzirom na neka svojstva pređe, ali je proizvodnja jednog predioničkog radnog mesta mnogo manja nego kod novijih tehnologija. Uopšteno, češljani postupak pređenja omogućava dobru orijentaciju vlakana duž ose pređe, visoku jačinu i ravnomernost pređe te njenu malu voluminoznost. Vlačnim (kardiranim) postupkom pređenja dobijamo pređu u kojoj je orijentacija vlakana duž ose pređe manja nego kod češljane

pređe; manja je ravnomernost i jačina a veća voluminoznost pređe. No, kardirani postupak ne omogućava proizvodnju veoma finih pređa. Isto se odnosi i na vigonj pređu, koja se obično prede od sekundarnih tekstilnih sirovina.

Tehnologija pređenja otvorenim krajem (OE) ne omogućava pređenje pređe finije od 17 tex (približno isto kao i kardirani postupak). Pređa je ravnomerna i voluminozna, ali ima manju jačinu nego slična pređa ispredena na prstenastoj predilici, dok kardirana pređa ima mekši opip.

Frikcijsko pređenje je takođe jedna od najnovijih tehnologija pređenja. Pređa predena ovom tehnologijom je prilično kruta (omotač je više zapreden od jezgre pređe). Zbog prevelike krutosti,

ova pređa nije pogodna za izradu ravnih tekstilija kod kojih je poželjna prilagodljivost. Pored toga, jačina ove pređe je niža od jačine sličnih prediva koja su predena na prstenastoj predilici.

Aerodinamičko pređenje omogućava visoku produktivnost predioničkog mesta i odsustvo delovanja mehanizama (u mašinskom smislu) u polju za pređenje. Pređa nastaje pravilnim kretanjem vazduha u cevki za pređenje. Loša strana ove tehnologije je znatna potrošnja energije. Pređa je prilično ujednačena, a vlakna u njoj su prilično dobro paralelizovana. To daje jačinu pređe na nivou jačine klasične pređe, proizvedene na prstenastoj predilici. Moguće je presti srednje fine i fine pređe.

Najnovija tehnologija pređenja je „kompaktno pređenje”. U polju za pređenje vlakna se vode preko površine cilindra, koji ima veoma gustu mrežu rupica. Na jednom delu se stvara podpritisak koji lepi vlakna na površinu cilindra. Zbog toga se vlakna paralelizuju. Ona su vakuumski „učvršćena” na površini cilindra. Ovo stanje onemogućava rasipanje smeru vlakana. Sva su usmerena u pravcu strujanja zraka u polju pređenja. U isto vreme, vlakna se zatežu. Kada pritisak, zbog prepreke u cilindru koja sprečava uticaj vakuuma, prestane da deluje na dalje strujanje zraka i „lepljenja” vlakana preko cilindra, vlakna se „odlepe” sa površine cilindra i istovremeno se zapredu u pređu. Budući da su još uvek vakuumski na cilindar pričvršćena jednim krajem, ne mogu se deparalelizovati ni skupiti - skovrdžati. Vlakna u pređi su dobro paralelizovana i izravnana. Zbog toga ova pređa ima veću gustinu nego klasična prstenasta pređa. Veće je iskorišćenje pojedinačne jačine vlakana.

19.3.2. Konstrukcijske karakteristike pređa namenjenih za proizvodnju odeće

Veoma je teško odrediti kvalitet pređe namenjene za proizvodnju tkanina i pletenina koje koristimo za izradu delova odeće. Kao osnova mogu se uzeti tri kriterijuma: vrsta odeće (dečja, muška ženska, radna, uniforme, specijalna odeća, itd.), položaj posmatranog dela odeće u kompletu (prvi sloj - direktno na koži, termoizolacioni sloj, spoljni sloj, posebni delovi odeće itd.) i vrsta ravnog proizvoda od kojeg se izrađuje određeni komad odeće (tkanina, pletenina itd.).

Ako uzmemo u obzir vrstu odeće, onda se može zaključiti da ovaj kriterijum nije najprikladniji za izbor vrste i kvaliteta pređe. To je zato što se uloga pojedinih delova odeće razlikuje u zavisnosti od veoma različitih uslova upotrebe, zbog čega su praktično upotrebljive sve vrste i kvaliteti pređe osim veoma grubih. Bolji kriterijumi su položaj u odeći i vrsta ravnog proizvoda. Za donje rublje se uglavnom koristi pletenina. Žensko donje rublje je izrađeno uglavnom od fine multifilamentne pređe; međutim, ako je donje rublje izrađeno od predene pređe (pamuk i njegove mešavine sa hemijskim vlaknima), to može biti fina i srednje gruba pređa. Zavoji su obično manji od standardnih za određenu finoću pređe. To rezultira većom voluminoznošću pređe i ugodnijim, mekšim opipom pletenine. U većini slučajeva je muško i dečje donje rublje izrađeno od pletenine koja je ispletana od mekane pređe sa malo zavoja.

Košulje su granični predmet odeće između donjeg i termoizolacionog sloja, i pretežno su izrađene od tkanine. Udeo košulja proizvedenih od pletenine je u porastu, ali je još uvek relativno mali. Pletene košulje su uglavnom izrađene od multifilamentne pređe, a ređe od predene pređe. Tkanine za košulje su uglavnom izrađene od predene pređe. Finoća pređe je obično u intervalu od 10 do 50 tex. Pređa, koju koristimo za izradu tkanina, izložena je znatnim naprezanjima u procesu tkanja i zbog toga joj dajemo više zavoja nego pređi, koja se koristi za izradu pletenina. Kao što vidimo, za donje rublje i košulje se mogu upotrebiti veoma različiti kvaliteti pređe. Za koji kvalitet ćemo se odlučiti zavisi od željenog kvaliteta gotovog proizvoda. Da bismo sašili debele košulje od flanela, koristićemo grubu

kardiranu pređu sa malo zavoja, da možemo lakše čupaviti tkaninu. Sirovina može biti čak i vuna ili mešavina vunениh, hemijskih i pamučnih vlakana. Za vrhunski kvalitet pređe koristićemo kvalitetan dugovlaknati pamuk i veoma finu češljanu ili končanu pređu. U budućnosti će biti uobičajena upotreba multifilamentne teksturirane pređe, ispredene od posebnih hemijskih vlakana koja ne izazivaju loš fiziološki osećaj na površini kože.

Termoizolacioni sloj se može podeliti na više delova. Kvalitet pređe će takođe varirati za svaki komad. Možemo posmatrati odvojeno pokrivalo za glavu (zaštita glave), termoizolacioni sloj odeće u užem smislu reči (zaštita trupa i udova), te rukavice i čarape (zaštita pesnica, nožnih prstiju i stopala). Pređa se može koristiti za izradu termoizolacijskih slojeva kao što su: rukavice, čarape, džemperi itd. ili za ojačanje (vezivna osnova i potka) i termoizolacijski sloj (čupavljena osnova ili potka). Pređa, koja se koristi za izradu termoizolacionog sloja mora biti meka i voluminozna. Voluminozna pređa može biti izrađena samo od vune ili teksturiranih hemijskih vlakana. Osim čarapa i eventualno rukavica (ako nema tankih zaštitnih rukavica od tkanine), termoizolacioni sloj nije često izložen habanju. Pored toga, pređa može biti sa malo zavoja i nije nužno da je otporna na habanje, osim kada se delovi, napravljeni od takve pređe, koriste za izradu gornjih delova odeće. U većini slučajeva pređa je gruba ili srednje gruba, a obično je izrađena iz štapelnih vlakana. Jačina pređe nema veći značaj. Međutim, vanjski sloj odeće može biti veoma različit, u zavisnosti od svrhe upotrebe i konstrukcije materijala od kog je izrađen. Taj sloj najčešće čini odeća u užem smislu te reči. U većini slučajeva, konvencionalna muška i ženska odeća je izrađena od češljane končane pređe, koja je ranije bila pretežno izrađena od vune. Danas se uglavnom upotrebljava pređa od mešavine vune i hemijskih vlakana, a za pletenu odeću od pamuka ili mešavine.

Takođe, gornje delove odeće - muške i ženske kapute ne proizvodimo više od teških vunениh tkanina. Oni su bili izrađivani od grube ili srednje grube vunene pređe, a težili su do četiri ili više kilograma. Sada se prave od lakših tkanina izrađenih od kardirane, polučešljane ili češljane vunene pređe, poluvunene pređe ili hemijskih vlakana vunenog tipa. Ovakvi ogrtači su lagani i pogodni za prelazne periode (kasna jesen i rano proleće), a nose se i zimi kada nije previše hladno. Ako je zima hladna, prikladan je ogrtač od pamučne tkanine sa termoizolacijskim uloškom. Da bismo takav ogrtač napravili, obično koristimo finu češljanu i končanu pređu od mešavine pamuka i hemijskih vlakana ili od čistih hemijskih vlakana. Za proizvodnju različitih tipova vetrovki i jakni obično koristimo kovrdžanu ili nekovrdžanu multifilamentnu pređu od hemijskih vlakana.

Čarape su specifičan deo odeće. Uglavnom imaju toplotno-izolacijsku, a kod žena i estetsku funkciju. Žene nose dokolenice, natkolenice ili pantalona-čarape (hula-hop). One su najčešće izrađene od kovrdžane fine PA multifilamentne pređe. Normalne muške čarape mogu biti izrađene od kovrdžave PA multifilamentne pređe, koja je obično grublja od pređe koja se koristi za izradu ženskih čarapa i hula-hop čarapa. Za te čarape koristimo i srednju finu predenu pređu pamučnog tipa, proizvedenu od pamuka i mešavine pamuka i hemijskih vlakana, a za zimske čarape pređu vunenog tipa od vune i mešavine vune i hemijskih vlakana. Čarape su pletene, što omogućava dobro prijanjanje stopalu (ne kliže se).

Veoma veliki problem je zaštita šaka. Naravno, ovo se posebno odnosi na izuzetno hladno okruženje i slab intenzitet ljudske aktivnosti. U našem podneblju toplotna izolacija šaka i prstiju ruku ne predstavlja poseban problem. Rukavice imaju ne samo funkciju toplotne izolacije, već i estetsku i

higijensku (tanke, pletene ženske rukavice koje se mogu nositi u bilo koje vreme, lagane muške pletene rukavice - za posebne svečane prilike) i zaštitnu (zaštita ruku kod određenih vrsta radova u građevinarstvu, miniranje, hirurške intervencije itd.). Nas uglavnom zanima rukavica, odnosno njeni delovi, koji su izrađeni od tekstilnih vlakana. Tako je obično uložak u kožnim rukavicama izrađen od srednje fine vunene pređe, končane sa malo zavoja i čupavljene. Tekstilne rukavice su pletene, izrađene od grube, srednje fine ili veoma fine pređe, koja je obično končana. Koju pređu ćemo koristiti zavisi od namene rukavica. Ako imaju estetsku i delimično higijensku funkciju, izrađujemo ih od veoma fine končane pređe. Međutim, ako su predviđene za funkciju toplotne izolacije, izrađuju se od grube ili srednje fine pređe sa malo zavoja. Ponekad koristimo dvoslojne rukavice, kod kojih je gornji sloj izrađen od guste tkanine otporne na habanje. Za izradu ove tkanine koristi se uobičajena, fina ili srednja fina končana pređa sa normalnim brojem zavoja.

Pokrivala za glavu su veoma različita - od šešira do ski-kape. Kape su obično izradene od tkanine ili pletiva. Pređa je gruba ili srednje fina, mekana, standardna ili končana. Ova pređa je voluminozna, poput pređe za izradu rukavica i ima dobra svojstva toplotne izolacije.

19.3.3. Konstrukcijske karakteristike pređa namenjenih za proizvodnju robe za opremanju prostora za boravljenje

Tekstilije, koje su namenjene opremanju prostora za boravljenje su tekstilije za tapaciranje, posteljinu, zidne i podne obloge, zavese, itd. Tekstilije za tapaciranje se često nazivaju dekorativna roba, koja mora biti posebno otporna na habanje i čupavljenje. Iz tog razloga koristimo grubu ili srednje finu kardiranu, polučešljanu ili češljanu pređu, koja u većini slučajeva ima uobičajene zavoje. Često koristimo i veoma kovrdžavu pređu ili efektni konac koji tkanini daju poseban izgled. Ovo se odnosi na sistem niti koji stvara površinski efekat. Sistem niti koji se u većoj meri ne pojavljuje na površini ima ulogu armature. Odgovarajuća jačina i stabilnost su od ključne važnosti, a estetski efekat je manje važan. Takav osnovni ili vezivni sistem u većini slučajeva čini srednje fina kardirana i končana pređa. Multifilamentna pređa se takođe koristi za tapaciranje, ali u manjem obimu.

Zavese su posebna grupa tekstilija. Izrađene su od veoma lagane tkanine, pletenine ili tkanine sa ukrštenom osnovom (sukljanka-perling), ili od veoma teške tkanine, u zavisnosti od funkcije. Kvalitet pređe je primeren tome. Ona može biti multifilamentna, predena ili končana. Jedino opterećenje koje podnosi zavesa je njena težina. Stoga jačina prediva koje se koristiti za zavese nije bitna. Važna je samo otpornost na istezanje prilikom kačenja (scena u pozorištu) i na pranje. U skladu s tim, izabraćemo odgovarajuću pređu, njene zavoje, karakteristike vlakana itd. Obično se koristi jednožična ili končana pređa sa normalnim brojem zavoja. Kod efektnih pređa, zavoje diktira željeni izgled pređe, što znači da pređa takođe može biti sa malo ili veoma mnogo zavoja.

U trećoj grupi ćemo obrađivati posteljinu. Ona se grubo može podeliti u dve grupe: čaršavi i navlake, te ćebad i prekrivači uopšte. Za čaršave i navlake koristimo lagane tkanine izrađene od srednje fine ili fine jednožične ili končane pređe. Pređa većinom ima standardne zavoje, izrađena po kardiranom, polučešljanom ili češljanom postupku. U novije vreme se takođe koristi multifilamentna pređa. Prekrivači su obično izrađeni od dva različita kvaliteta pređe. U osnovi je to uglavnom gruba ili srednje fina končana pređa napravljena po kardiranom postupku. Pređa obično ima standardne zavoje. Za potku se, međutim, koristi gruba pređa sa malo zavoja, proizvedena po vignon ili kardiranom

postupku. Potka je po pravilu čupavljena i veoma voluminozna zbog čega će pokrivač imati visoku vrednost toplotne izolacije, posebno ako i vlakna imaju visoke vrednosti toplotne izolacije.

19.3.4. Konstruktivske karakteristike pređa namenjenih za tehničke tekstilije

Tehničke tekstilije mogu se uslovno klasifikovati i kao posebna odeća ili delovi odeće. Konstrukcija pređe za izradu ove odeće se ne razlikuje značajno od konstrukcije pređe koja se koristi za druge vrste odeće; sve što je potrebno je da bude ravnomernija. Razlika je uglavnom u kvalitetu korišćenih vlakana. Iz tog razloga nećemo detaljnije obrađivati pređu koja je namenjena proizvodnji specijalnih odevnih predmeta ili delova odeće.

Sledeća grupa su mreže (ribolovne, kamuflažne, itd.). Kako su ribarske mreže izložene velikim opterećenjima, pređa mora imati veliku jačinu. Iz tog razloga, ribarske mreže su izrađene uglavnom od monofilamentne ili multifilamentne pređe. Broj monofilamenata u pređi zavisi od namene mreže.

Ako je mreža veoma velika, namijenjena ribolovu na otvorenom moru, tada je veći broj monofilamenata končan zajedno za razliku od mreža koje se koriste u priobalnim vodama. S obzirom na način upotrebe, za mreže se može koristiti i monofilament, koji se koristi za ribarenje pomoću ribarskog štapa, jer je manje osetljiv od multifilamentne pređe koja mora imati više zavoja. Pređi, koja ima 1.000 monofilamenata, možemo dati oko 90 zavoja. To je optimalno. Pređa se ne sme samouvijati („frkati”).

Mreže za maskiranje su takođe izrađene od končane pređe. U ovom slučaju, jačina pređe nije toliko bitna jer mreža nije opterećena na natezanje. Zbog toga možemo koristiti kardiranu ili mono i multifilamentnu pređu, u zavisnosti od toga kako vreme korišćenja mreže utiče na cenu; pokušavamo da nađemo optimalno ekonomsko rešenje.

Kao posebnu grupu smo pomenuli tkanine za šatore, cerade i jedra. Uzimajući u obzir činjenicu da su tkanine koje se koriste za šatore, cerade i jedra izložene visokim zateznim i raspučnim opterećenjima i opterećenjima naknadnog kidanja, što se posebno odnosi na cerade i jedra, trebalo bi da za proizvodnju ovih tkanina koristimo veoma jaku pređu. Multifilamentna končana i kablovana pređa, proizvedene od sintetičkih hemijskih vlakana otpornih na vremenske uticaje i sunčevu svetlost, najbolje odgovara. Ranije je za jedra korištena pretežno lanena končana i kablirana pređa, za ponjave (cerade) pamučne končana i kablovana pređa i za šatore pretežno pamučna končana pređa. Pamučne pređe su bile grube ili srednje fine, predene po vlačenom postupku. Pošto pamuk nije otporan na uticaj atmosferilija, sunčevu svetlost i bakterije u biološki aktivnoj zemlji, (šatori) i pošto je jačina pamučnih tkanina mnogo manja od jačine tkanina iz hemijskih vlakana iste težine, pamučna pređa je postala neodgovarajuća za proizvodnju tih tkanina.

Za izradu tkanina za padobrane upotrebljena su veoma fina multifilamentna pređa (4 tex do 9 tex). To je zbog toga da bismo dobili laku i gustu tkaninu. U poređenju sa masom je jačina tkanine veoma velika. Ipak, apsolutna jačina tkanine nije prevelika. Ovaj se nedostatak otklanja postavljanjem jakih traka u padobran, koje preuzimaju veći deo zateznih opterećenja i omogućavaju ravnomerniju raspodelu sile po površini padobrana. Kako padobran mora biti lagan, tkanina ne sme biti previše porozna i mora podneti znatna opterećenja, posebno u fazi otvaranja padobrana, pa je prikladna samo multifilamentna PA ili slična, vrlo fina pređa. Ona bi trebalo da ima što veću jačinu i početni modul

elastičnosti; time sprečavamo plastičnu deformaciju padobrana i takođe ograničavamo viskoelastične deformacije.

Tekstilni filteri su veoma važna grupa tehničkih tekstilija. Pređa se koristi za proizvodnju tkanina, za izradu tekstilnih filtera ili za proizvodnju tkanina za armaturu vlaknovina. Kvalitet prediva za proizvodnju armirajućih tkanina prvenstveno zavisi od uslova upotrebe vlaknovine. Obično je važna jačina pređe, a ne njen izgled. Konkretno koristimo grubu i srednje finu predenu pređu, koja je najčešće končana. Ređe koristimo multifilamentnu pređu, jer oštećenja pređe prilikom iglanja više utiču na smanjenje jačine tkanine nego kod predene pređe.

Međutim, kvalitet tkanih tekstilnih filtera odnosno filter-medija u uređaju za filtriranje zaista je veoma raznolik. Kvalitet pređe od koje se proizvode tkani tekstilni filteri mora biti odgovarajući. Fini i srednje fini monofilament se koristi za izradu laganih, ujednačenih i veoma čvrstih tkanina. Pomoću finih monofilamenata mogu se dobiti tkanine sa hidrauličkim prečnikom pora manjim od 20 mikrometara. Još manje pore se mogu dobiti ako je površina tkanine termički obrađena i istovremeno izložena pritisku na kalandaru. Monofilament se spljošti, a veličina (prečnik) pora se smanjuje. Veoma često koristimo multifilamentnu pređu: veoma finu, finu, srednje grubu i grubu; jednožičnu i končanu pređu. Predene pređe različitog kvaliteta koriste se za izradu tkanina za manje zahtevnu suhu filtraciju, uglavnom na sobnoj temperaturi, kao i za mokru filtraciju. Pod pojmom pređe različitog kvaliteta podrazumevamo kardirane, polu-češljane i češljane pređe, koje su uglavnom srednje fine, fine i standardnog broja zavoja.

Kao poslednju grupu tehničkih tekstilija možemo pomenuti trake, konopce, transportne trake, pogonske kaiševe, kord za gumu i slično. Pošto ovi proizvodi moraju da imaju visoku jačinu na kidanje, najprikladnija je multifilamentna pređa visokog početnog modula elastičnosti i odgovarajuće finoće. U većini slučajeva to je končana, ponekad čak i kablovana pređa. Čak i sa najkvalitetnijom pređom, obično ne dostižemo potrebnu jačinu pomoću jednoslojne tkanine. Zato često koristimo konstrukcije višeslojnih tkanina.

19.4. Konstrukcija tkanina

Tkaninom nazivamo ravni tekstilni proizvod zbog toga što je njegova debljina mala u odnosu na širinu, a posebno dužinu. Međutim, tkanina je ipak trodimenzionalni tekstilni proizvod i tako ćemo je tretirati, barem u nekim slučajevima. U ostalim slučajevima, dvodimenzionalni tretman će biti dovoljan. Konstrukcija tkanine mora udovoljavati projektnim zahtevima, to jest, moramo odabrati parametre konstrukcije tako da svojstva tkanine što više odgovaraju projektnim zahtevima. Osobine tkanine su funkcija osobina vlakana i pređe kao i vrednosti parametara konstrukcije same tkanine. Osnovni parametri konstrukcije odnose se na geometriju tkanine. Ovi parametri zavise od fizičko-mehaničkih osobina tkanine ili onih osobina koje su obično navedene u projektnim zahtevima. Prvo ćemo pogledati geometrijsku strukturu tkanina, a zatim zavisnost fizičko-mehaničkih osobina tkanina od nje.

19.4.1. Geometrijska struktura tkanina

19.4.1.1. Prečnik pređe

Osnovni parametar koji treba uzeti u obzir pri analizi geometrije tkanine su prečnici niti osnove i potke. Stvarni prečnik niti je vrlo teško odrediti. Zависи od vrste vlakana, odnosno oblika preseka vlakana, specifične mase, kovrdžavosti, krutosti itd. Pored toga, zависи i od vrste postupka pređenja, odnosno stepena paralelizacije vlakana u pređi, broja zavoja, finoće pređe i sila koje deluju na niti osnove i potke u procesu nastanka tkanine. Kada analiziramo geometriju tkanine, često pretpostavljamo kružni poprečni presek niti, iako se stvarni presek niti u tkanini više približava obliku elipse.

Pod pretpostavkom da je poprečni presek pređe idealan krug, prečnik pređe možemo da izrazimo sledećom jednačinom [2]:

$$d = 2,57 * 10^{-3} \left(\frac{T}{P\gamma} \right)^{3,5} \quad (19.1)$$

gde su:

- d - prečnik pređe, cm;
- T - finoća pređe, tex;
- P - poroznost pređe;
- γ - gustina vlakana, g/cm³.

Poroznost pređe je obično u granicama od 0,55 do 0,75. Za izračunavanje prečnika pređe dovoljno je uzeti srednju poroznost od 0,65. Ovo neće prouzrokovati preveliku grešku. Ako ovu vrednost stavimo u jednačinu 19.1, dobićemo:

$$\frac{d}{p} = 4,44 * 10^{-3} \left(\frac{Tn^2}{\gamma} \right)^{0,5} \quad (19.2)$$

19.4.1.2. Faktor pokrivanja

Faktor pokrivanja je osnovni parametar geometrije tkanine, koji nam govori na kojoj su međusobnoj udaljenosti niti osnove i potke. Ako nisu razmaknute jedna od druge, to je potpuno pokrivanje bez deformacije niti. Pri tom zamišljamo da je osnova u jednoj ravni, a potka u drugoj. U stvarnoj tkanini to nije slučaj. Zbog toga je izuzetno teško postići da se u jednoslojnoj tkanini postigne toliki broj niti osnove i potke koji bi značio potpunu pokrivenost ili maksimalnu vrednost faktora pokrivenosti. Kod maksimalne vrednosti faktora pokrivanja u stvarnoj tkanini, niti bi morale biti toliko deformisane da bi poprečni presek niti imao oblik elipse.

Slika 19-2 prikazuje paralelni položaj niti promera d i udaljenosti p između njih. Ova dva parametra su osnova za izračunavanje faktora pokrivanja K . Uzimajući u obzir jednačinu 19.2, odnos između prečnika niti i rastojanja između njih, možemo napisati u sledećem obliku:

$$\frac{d}{p} = 4,44 * 10^{-3} \left(\frac{T}{\gamma p^2} \right)^{0,5} \quad (19.3)$$

Sa druge strane, očigledno je da je $1/p = n$, gde je n broj niti po cm. Imajući to u vidu, jednačina (19.3) se može transformisati u sledeći oblik:

$$\frac{d}{p} = 4,44 * 10^{-3} \left(\frac{Tn^2}{\gamma} \right)^{0,5} \quad (19.4)$$

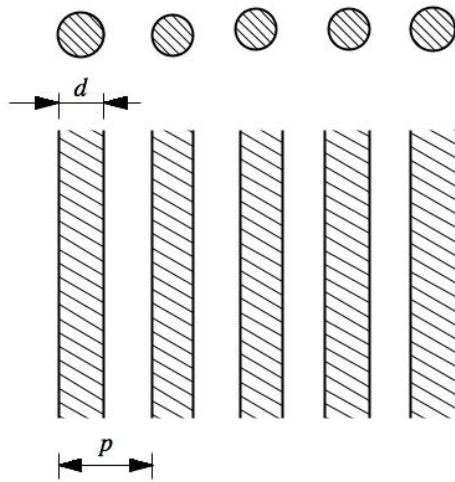
U slučaju kada je $d/p = 1$, niti se dodiruju i dobija se maksimalna vrednost faktora pokrivenosti. U jednačini (19.4), $4,44 * 10^{-3}$ je konstanta i može se označiti sa a . Faktor pokrivenosti definišaćemo sledećom jednačinom:

$$K = \frac{d}{ap} = n \left(\frac{T}{\gamma} \right)^{0,5} \quad (19.5)$$

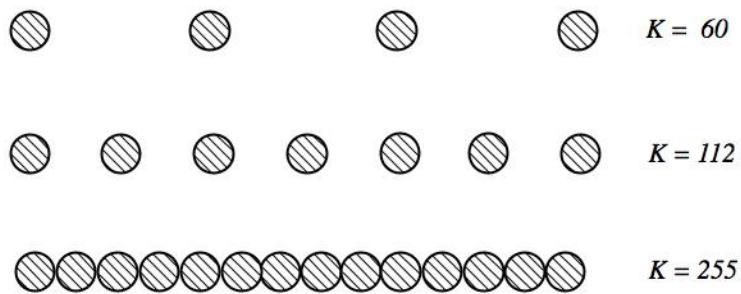
Faktor pokrivenosti izračunava se odvojeno za osnovu i potku. Faktor pokrivenosti prikazan je na slici 19-2.

U jednačini (19.4) možemo videti da je prilikom konstrukcije tkanine moguće menjati finoću pređe, gustinu pređe i sirovinu od koje je pređa ispredena. Ovo se odnosi i na osnovu i na potku. Pored toga, prepletaj se takođe može menjati.

Pomoću faktora pokrivanja osnove i potke, moguće je izračunati poroznost ili punoću tkanine. Prilikom izračunavanja punoće tkanine, moramo uzeti u obzir i površinu na kojoj se ukrštaju niti osnove i potke. Ova površina se generalno može predstaviti kao pravougaonik. Jedna strana ovog pravougaonika je prečnik osnove, a druga prečnik niti potke. Pošto je pokrivanje na ovoj površini dvostruko, potrebno je da oduzmemo jedan pravougaonik da bismo dobili realno pokrivanje, odnosno punoću tkanine.



Slika 19-2: Prečnik niti i razdaljina između niti osnove ili potke



Slika 19-3: Ilustracija vrednosti faktora pokrivanja

Punoću tkanine P možemo izračunati pomoću faktora pokrivanja osnove i potke i izraziti sledećim jednačinama:

$$\frac{K_0}{K_{\max}} = K_1; \quad \frac{K_v}{K_{\max}} = K_2 \quad (19.6)$$

$$P = K_1 + K_2 - K_1 K_2 \quad (19.7)$$

gde su:

- K_0 - faktor pokrivanja osnove;
- K_v - faktor pokrivanja votka;
- K_{\max} - maksimalni faktor pokrivanja = 225;
- P - punoća tkanine.

Kao što se vidi iz jednačina (19.6) i (19.7), punoća osnove je $P=1$. Faktor pokrivanja, odnosno punoća tkanine omogućava poređenje geometrije dve ili više različitih tkanina. Pri tome moramo uzeti u obzir činjenicu da su jednačine (19.1) do (19.7) izvedene pod pretpostavkom okruglog prečnika pređe i da je već kod jednačina (19.2) do (19.7) pretpostavljena uniformna poroznost pređe. U realnim tkaninama te dve idealizovane pretpostavke ne stoje.

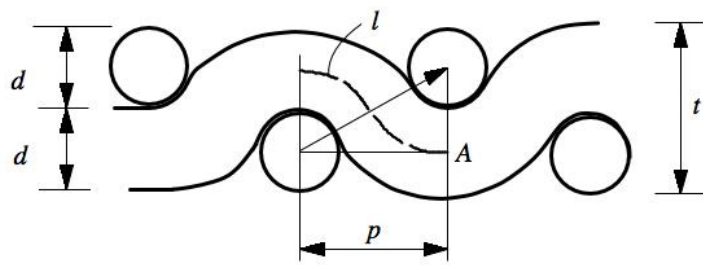
U tkaninama je po pravilu poprečni presek pređe u obliku elipse. Ukoliko je teoretska punoća tkanine $P < 1$ i ako su bile niti osnove i potke dovoljno zategnute u procesu formiranja tkanine, onda je velika verovatnoća, da je manja osa elipse poprečnog preseka pređe pravougaona na površinu tkanine. Kod veoma gustih tkanina, gde je teoretska vrednost punoće tkanine $P = 1$, velika je verovatnoća, da je duža osa elipse poprečnog preseka osnove i potke pravougaona na površinu tkanine, čak i kada niti osnove i potke nisu bile ekstremno zategnute. Bez obzira na određena neslaganja sa stvarnim stanjem, jednačina (19.7) je primeren kriterij za izbor realnih gustina osnove i potke u tkanini određene finoće pređe i vrste vlakana.

19.4.1.3. Debljina tkanine i utkanja osnove i potke

Pod izrazom geometrija tkanine označavamo međusobni položaj niti osnove i potke u tkanini. Geometrija tkanine utiče na njene fizičko-mehaničke osobine, koje su od bitnog značaja za kvalitet tkanine sa stanovišta upotrebe. Za matematičku obradu je najpogodnija tkanina koja ima istu pređu i istu gustinu u osnovi i potki i izatkana je u prepletaju platno („kvadratična”). Pored toga pređa ima idealizovan okrugli poprečni presek. Varijanta toga primera je elipsast poprečni presek pređe, ili okrugao ili elipsasti presek pređe u nekom drugom prepletaju. Dodatni problem prilikom matematičke obrade stvara razlika finoće i gustine niti osnove i potke u tkanini. Još je teža obrada geometrije višeslojnih tkanina.

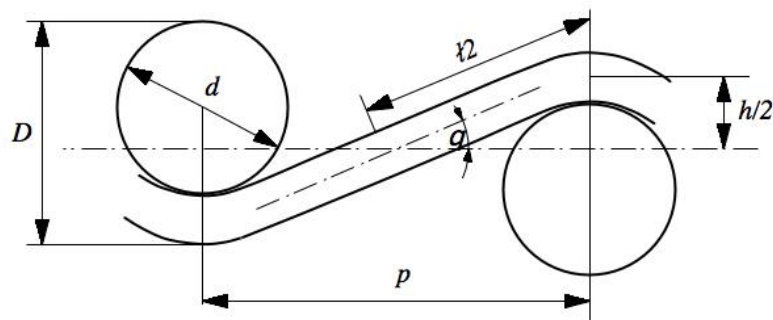
Prilikom konstrukcije tkanina svakako moramo voditi računa o utkanju osnove i potke. Najpre zbog izračunavanja potrebnih količina pređe, i drugo zbog uticaja utkanja na neke od osobina tkanine. Kod nepromenjene zategnutosti osnove i potke, utkanje će biti najveće kod tkanina tkanim u prepletaju platno. Uzmimo najjednostavniji primer - tkanina koja je izrađena od istog kvaliteta pređe u prepletaju platno i ima istu gustinu niti po osnovi i potki (odnosno iste faktore pokrivanja). Ako su potka i osnova u procesu tkanja izložene jednakom zatezanju, utkanje potke i osnove će biti isto.

Slika 19-4 prikazuje presek „kvadratične” tkanine, tkane u platnenom prepletaju. Očigledno je da je dužina $l > p$ za procenta utkanja. Parametri l i p se mogu izraziti pomoću prečnika pređe d . Kateta $AC = d$; hipotenuza $BC = 2d$. Iz Pitagorine teoreme proizlazi da je $p = 3^{0,5} = 1,732d$. Dužina l se može podeliti u dva luka koji pripadaju uglu od 60 stepeni na krugu koji ima prečnik d . Dakle, $l = 4d/6 = 2d/3$; $c = 100 = 17,3$ %. Na slici 19-3 postignuta je maksimalna moguća gustina tkanine u prepletaju platno, što znači da je maksimalno moguće utkanje u tkanini oko 17 %; gde je $t = 2d$.



Slika 19-4: Presek kvadrataste tkanine, koja ima teoretski maksimalnu gustinu pri okruglom poprečnom preseku niti

Na slici 19-4 prikazan je granični primer koji nam ne omogućava da praktično izračunamo utkanje u tkaninama. To nam samo govori da je najveće moguće utkanje osnove i potke po 17 % u slučaju kvadratične tkanine, koja ima teoretski maksimalnu geometrijsku gustinu. Zanima nas opšti slučaj, koji bi se odnosio na bilo koju gustinu i prepletaj tkanine. Kao što se može videti na slici 19-5, utkanje zavisi od visine luka, prečnika niti, broja lukova u raportu i deformacije niti, koja na slici 19-5 nije prikazana.



Slika 19-5: Peircov geometrijski model tkanine u prepletaju platno [3]

Za parametre na slici 19-4 možemo postaviti sledeće jednačine:

$$\begin{aligned} p &= (1 - D\theta) \cos \theta + \sin \theta \\ h &= (1 - D\theta) \sin \theta + D(1 - \cos \theta) \end{aligned} \quad (19.8)$$

$$h_1 + h_2 = D \quad \begin{aligned} (19.9) \\ (19.10) \end{aligned}$$

gde su:

- l - dužina niti na razdaljini p ;
- D - debljina tkanine;
- h_1 - visina luka osnovine niti;
- h_2 - visina luka potkine niti.

Visina luka i dužina niti u luku ključni su za količinu utkanja. Dužinu niti u luku je izuzetno teško odrediti ili teoretski izračunati. Ovisi o finoći niti, deformabilnosti niti, njihovoj zategnutosti u procesu tkanja itd. Uopšteno, visina luka zavisi od zategnutosti (napetosti). Na primer, ako je osnovina nit veoma zategnuta a potka veoma labava, može se dogoditi da osnovina nit leži u jednoj ravnini bez lukova; potka će imati maksimalnu visinu luka. Iz tog razloga, korisno je računati sa bezdimenzijskim parametrom H :

$$H = \frac{h_1}{h_2} \quad (19.11)$$

H može imati bilo koju vrednost između 0 i ∞ . Za ilustraciju, tabela 19-1 prikazuje 9 različitih vrednosti H [4, 5]. Osnova ima dvaput veći prečnik nego potka. Pod rednim brojem 1 je zategnuta osnova u tkanini. Ispod rednog broja 9 je zategnuta potka u tkanini. Kao što se vidi iz tabele 19-1, vrednost H raste s povećanjem vrednosti h_1 i smanjenjem vrijednosti h_2 . Na osnovu vrednosti H ne možemo direktno zaključiti o vrednostima ostalih parametara konstrukcije kanine, ali nam ona može biti korisna u nekim uslovima procene određenih parametara.

Tabela 19-1: Granične i neke međuvrednosti H (r = poluprečnik niti)

Red. broj	h_1	h_2	H	Debljina tkanine
1	0,00	$6,0r$	0,000	$8,00r$
2	$0,75r$	$5,25r$	0,143	$7,25r$
3	$1,50r$	$4,5r$	0,333	$6,50r$
4	$2,25r$	$3,75r$	0,600	$6,25r$
5	$3,00r$	$3,00r$	1,000	$7,00r$
6	$3,75r$	$2,25r$	1,667	$7,75r$
7	$4,50r$	$1,50r$	3,000	$8,50r$
8	$5,25r$	$0,75r$	7,000	$9,25r$
9	$6,00r$	0,00	∞	$10,00r$

Iz visine lukova h_1 i h_2 možemo izračunati i debljinu tkanine D . Pri tome moramo uzeti u obzir koeficijent deformacije poprečnog preseka osnove - η_1 i potki η_2 , ako debljinu tkanine izražavamo prečnikom osnove i potke.

$$D = h_1 + h_2 = d_1\eta_1 + d_2\eta_2 \quad (19.12)$$

Uzimajući u obzir jednačine (19.11) i (19.12), možemo izraziti h_1 i h_2 :

$$h_1 = \frac{H(d_1\eta_1 + d_2\eta_2)}{l + H}; \quad h_2 = \frac{d_1\eta_1 + d_2\eta_2}{l + H} \quad (19.13)$$

Vrednost koeficijenta deformacije η obično je u granicama između 0,8 i 0,9. To znači da proizvod $d\eta$ izražava vrednost kraće ose elipse poprečnog preseka.

Kao što je već spomenuto, utkanje ili skraćenje nije jednostavno izračunati. U gotovoj tkanini utkanje nije teško odrediti, ali kao što ćemo videti, veoma je teško izračunati utkanje u fazi konstruisanja tkanine. Ako pretpostavimo da je p dužina komada tkanine i l dužina niti u tom komadu, onda je $l > p$, kao što se vidi na slici 19-4. Dužina $l > BC$ je hipotenuza trougla ABC . Ipak u većini jednoslojnih tkanina ta je razlika manja nego u graničnom primeru na slici 19-4. Pod pretpostavkom da je $AC = h$ i $l \approx BC$, važi sledeća jednačina:

$$l_1 = (p_2^2 + h_1^2)^{0,5}; \quad l_2 = (p_1^2 + h_2^2)^{0,5} \quad (19.14)$$

Utkanje osnove c_1 i potke c_2 možemo definisati sledećim jednačinama:

$$c_1 = \frac{100(l_1 - p_1)}{l_1} = 100 \left(1 - \frac{p_1}{(p_2^2 + h_1^2)^{0,5}} \right) \quad (19.15)$$

$$c_2 = 100 \frac{l_2 - p_2}{l_2} = 100 \left(1 - \frac{p_2}{(p_1^2 + h_2^2)^{0,5}} \right) \quad (19.16)$$

Ako uzmemo u obzir jednačine (19.11) do (19.13) i geometrijsku gustinu p , a zanemarimo tehnološku gustinu n niti po jedinici dužine, možemo jednačine (19.15) i (19.16) transformisati u jednačinu (19.17) i jednačinu (19.18).

U jednačinama (19.17) i (19.18) pretpostavljeno je da je $n_1 = n_2 = n$. Ove dve jednačine važe samo ako je tkanina izrađena u prepletaju platno. Međutim, ako je tkanina izrađena u drugačijem prepletaju (npr. keper, atlas itd.) situacija je drugačija. Smanjuje se broj lukova u raportu, što smanjuje i utkanje.

$$c_1 = 100 \left(1 - \frac{100}{\left(10^4 + n_2^2 H^2 \eta^2 \frac{d_1 + d_2}{1 + H} \right)^2} \right)^{0,5} \quad (19.17)$$

$$c_2 = 100 \left(1 + \frac{100}{\left(10^4 + n_1^2 \eta^2 \frac{d_1 + d_2}{l + H} \right)^2} \right)^{0,5} \quad (19.18)$$

Opštu jednačinu za utkanje osnove i potke u jednoslojnoj tkanini možemo izvesti pod pretpostavkom da prilikom prelaska niti sa lica na naličje i obrnuto imamo jednu hipotenuzu. Ovo nam govori da se moramo ograničiti na raport prepletaja, da bismo dobili realan broj prolaza. Moramo uzeti u obzir činjenicu da kod nekih prepletaja broj prolaza pojedinih niti nije isti. U takvim slučajevima, utkanje se izračunava na osnovu maksimalnog broja prolaza svake niti u raportu prepletaja.

Ako je širina ili dužina raporta L_0 ili L_v , dužina niti osnove u raportu L_1 i dužina potke L_2 , tada se jednačine (19.15) i (19.16) mogu napisati u sledećem obliku:

$$c_1 = 100 \frac{L_1 - L_0}{L_1} \quad (19.19)$$

$$c_2 = 100 \frac{L_2 - L_v}{L_2} \quad (19.20)$$

Za dužine L_1 i L_2 moramo uzeti u obzir broj hipotenuza ili prelaza u ($u = 2$) i geometrijsku gustinu p (mm/nit) i broj niti u raportu, m . Geometrijska gustina se dobija iz sledeće jednačine:

$$p_1 = \frac{100}{n_1}; \quad p_2 = \frac{100}{n_2} \quad (19.21)$$

Tehnološka gustina osnove n_1 i potke n_2 izračunata je kao broj niti na 10 cm. Sada možemo napisati:

$$L_1 = u_1 l_1 + p_2 (m_2 - u_1) = u_1 (p_2^2 + h_1^2)^{0,5} + p_2 (m_2 - u_1) \quad (19.22)$$

$$L_2 = u_2 l_2 + p_1 (m_1 + u_2) = u_2 (p_1^2 + h_2^2)^{0.5} + p_1 (m_1 - u_2) \quad (19.23)$$

$$L_o = p_2 m_2; \quad L_v = p_1 m_1 \quad (19.24)$$

Jednačine (19.22) do (19.24) pojednostavićemo uvođenjem sledećih transformacija (pritom moramo uzeti u obzir činjenicu da su h_1 i h_2 definisani jednačinom (19.13):

$$a_1 = p_2 (m_2 - u_1); \quad b_1 = (p_2^2 + h_1^2)^{0.5}; \quad e_1 = p_2 m_2 \quad (19.25)$$

$$a_2 = p_1 (m_1 - u_2); \quad b_2 = (p_1^2 + h_2^2)^{0.5}; \quad e_2 = p_1 m_1 \quad (19.26)$$

Uzimajući u obzir jednačine (19.25) i (19.26), jednačine (19.19) i (19.20) možemo napisati u sledećem obliku:

$$c_1 = 100 \frac{u_1 b_1 + a_1 - e_1}{u_1 b_1 + a_1} \quad (19.27)$$

$$c_2 = 100 \frac{u_2 b_2 + a_2 - e_2}{u_2 b_2 + a_2} \quad (19.28)$$

19.4.1.4. Masa tkanine

Masa tkanine se obično izražava u g/m^2 . Veoma je teško precizno izračunati masu, jer moramo uzeti u obzir neravnomernost pređe, neravnomernost gustine pređe i veličinu skupljanja (utkanja) osnove i potke. Uz to, dolazi do gubitka ili povećanja mase u pojedinim fazama tehnološkog procesa izrade tkanina. Iz tog razloga se može izračunati samo masa sirove ili gotove tkanine. Masa sirove tkanine služi samo kao orijentacija, dok je masa gotove tkanine važan parametar jer od nje zavise neka svojstva gotove tkanine. Težina sirove tkanine se može izračunati jednačinom (19.29); masa gotove tkanine prema jednačini (19.30):

$$G_s = \frac{p_1 T_1}{100 - c_1} + \frac{p_2 T_2}{100 - c_2} \quad (19.29)$$

$$G_g = \frac{G_s \left(1 - \frac{c_3}{100}\right)}{\left(1 - \frac{u_1}{100}\right) \left(1 - \frac{u_2}{100}\right)} \quad (19.30)$$

gde su:

- G_s - masa sirove tkanine, g/m^2 ;
- p_1 - gustina osnove, niti/10 cm;
- p_2 - gustina potke, niti/10 cm;
- c_1 - utkanje osnove, %;
- c_2 - utkanje potke, %;
- T_1 - finoća pređe u osnovi, tex;
- T_2 - finoća pređe u potki, tex;
- G_g - masa gotove tkanine, g/m^2 ;
- c_3 - promena mase sirove tkanine u procesu oplemenjivanja, %;
- u_1 - skupljanje tkanine u smeru osnove u procesu oplemenjivanja, %;
- u_2 - skupljanje tkanine u smeru potke u procesu oplemenjivanja, %.

Vrednosti c_1 , c_2 , u_1 i u_2 su pozitivne ako se pređa, odnosno tkanina, skuplja. Ove vrednosti su negativne, ako se početne dimenzije pređe (pre nego što je utkamo u tkaninu) i tkanine (sirova tkanina) promene zbog rastezanja. U jednačinama 19.29) i (19.30) promeni se predznak pred tim količinama. U pogledu vrednosti c_3 stanje je nešto drugačije. Ova veličina se odnosi na promenu mase zbog gubitka mase vlakana i eventualno finoće ukoliko je osnova bila škrobljena. Takve gubitke uzimamo kao normalne i c_3 ima pozitivnu vrednost. Kao rezultat, težina gotove tkanine je manja od težine sirove tkanine, uzimajući u obzir samo ovu promenu. Međutim, često se tkanine apretiraju, zbog čega im se poveća težina. U takvim slučajevima, c_3 će predstavljati sve promene mase. Ako je količina nanosa apreture veća od gubitaka mase zbog apretiranja, c_3 ima negativnu vrednost.

Vrednosti c_1 i c_2 se izračunavaju koristeći jednačine (19.27) i (19.28). Moramo uzeti u obzir činjenicu da je veoma teško tačno izračunati teorijske vrednosti pojedinih parametara sadržanih u navedenim jednačinama. Zbog toga koristimo eksperimentalna merenja i kriterije koji su dobijeni na temelju eksperimentalnih zaključaka pod određenim uslovima. Količine u_1 i u_2 , međutim, u velikoj meri zavise od uslova oplemenjivanja zbog čega se teoretski teško mogu odrediti. To znači da se njihove vrednosti određuju uglavnom na osnovu eksperimentalnih merenja, koja važe za više različitih proizvoda istog sirovinskog sastava, ako je tok oplemenjivanja sličan.

19.4.2. Fizičko-mehaničke osobine tkanina

Fizičko-mehaničke osobine tkanina su, pre svega, jačina, elastičnost, krutost, otpornost na gužvanje, skupljanje tkanine zbog određenog tretmana tokom upotrebe, otpornost na trenje, otpornost na formiranje čvorića (pilinga) itd. Na većinu navedenih osobina možemo uticati izborom vrednosti određenih konstrukcijskih parametara, kao što su: vrsta i kvalitet vlakana, kvalitet pređe, finoća pređe, gustina niti po osnovi i potki, prepletaj itd.

Budući da nas zaista zanima kvalitet gotove tkanine, na neke fizičko-mehaničke osobine tkanina možemo uticati oplemenjivanjem. Samo su neka fizičko-mehanička svojstva tkanina, kao što su

prekidna jačina i otpornost na naknadno kidanje, detaljno istražena, posebno za tkanine izrađene u prepletaju platno, što znači da je na području uticaja konstrukcije tkanina na njihove fizičko-mehaničke osobine još mnogo toga neistraženog.

19.4.2.1. Prekidna jačina

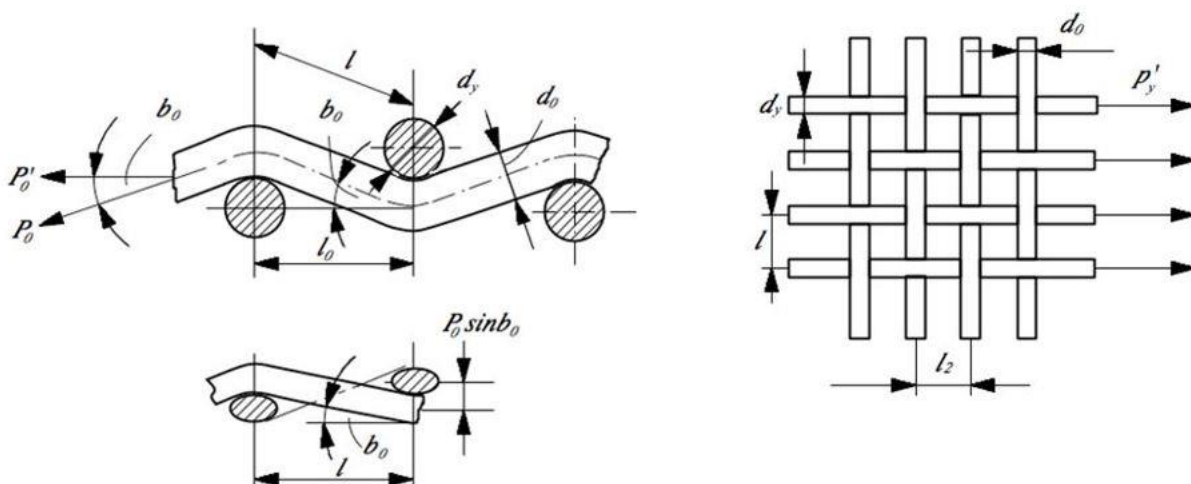
Prekidna jačina tkanine zavisi od prekidne jačine niti osnove i potke, pravca delovanja opterećenja u odnosu na osu pređe i broja niti po jedinici dužine ili širine tkanine. Ovi parametri nisu dovoljni jer niti osnove i niti potke ne leže slobodno u tkanini, već su međusobno isprepletene.

Kada opteretimo niti jednog od sistema (osnove ili potke), one se deformišu - istežu - sve dok opterećenje ne dostigne prekidnu vrednost. Na primer, ako je osnova opterećena, niti potke sprečavaju deformaciju niti osnove zbog koeficijenta trenja između niti oba sistema i normalnih sila koje stiskaju potku uz niti osnove i obrnuto, kao što je prikazano na slici 19-6. To prouzrokuje pojavu sile trenja, koja se odupire deformaciji niti. Ako to uzmemo u obzir, onda možemo napisati [6]:

$$P_1 = (P_0 + f_1)\eta \cos \beta_1 \quad (19.31)$$

$$P_2 = (P_v + f_2)\eta \cos \beta_2 \quad \text{gde su:} \quad (19.32)$$

- P_0 - prekidna jačina jedne niti osnove;
- P_v - prekidna jačina jedne niti potke;
- f_1 - sila trenja koja deluje na osnovinu nit umanjena za vrednost međusobnog trenja vlakana u osnovi;
- η - koeficijent koji uzima u obzir neravnomerno opterećenje niti ($\eta = 0,85$);
- β_1 - ugao između osi osnovine niti i smera delovanja sile na osnovinu nit;
- P_1 - prekidna jačina jedne osnovine niti u tkanini;
- P_2 - prekidna jačina jedne potkine niti u tkanini;
- f_2 - sila trenja koja deluje na nit potke, umanjena za vrijednost trenja vlakna u potkinoj niti;
- β_2 - ugao između ose potkine niti i smjera delovanja sile na potkinu nit.



Slika 19-6: Šema delovanja sila na niti osnovne i potke prilikom opterećenja i rastezanja tkanine

Sila trenja f nije jednostavno jednaka proizvodu normalne sile čija je maksimalna vrednost jednaka jačini na kidanje i koeficijentu trenja, već moramo uzeti u obzir i gustinu niti, obuhvatni ugao između niti, površinu trenja, koja zavisi od finoće pređe, deformaciju niti oba sistema itd. Sila trenja će stoga biti najveća u prepletaju platno. Pošto je veoma teško tačno uzeti u obzir uticaj svih navedenih parametara na vrednost sile trenja, možemo izraziti sve uticaje na promenu prekidne jačine niti u tkanini koeficijentom k_1 (odnosno k_2).

$$Q_1 = k_1 S_1 P_1 \quad (19.33)$$

$$Q_2 = k_2 S_2 P_2 \quad (19.34)$$

gde su:

- Q_1 - prekidna jačina tkanine u smeru osnovne;
- S_1 - gustina niti osnovne na širini ispitivanog uzorka;
- P_1 - prekidna jačina slobodne niti osnovne, koja nije utkana u tkaninu;
- Q_2 - prekidna jačina tkanine u smeru potke;
- S_2 - gustina niti potke na širini ispitivanog uzorka;
- P_2 - prekidna jačina slobodne niti potke, koja nije utkana u tkaninu.

U realnoj upotrebi tkanine, često je važna ne samo prekidna jačina, već i tok promene jačine u zavisnosti od izduženja. Niti u tkanini nisu zategnute. Sve dok se ne zategnu u pravcu delovanja sile, tkanina pokazuje mnogo nižu vrednost sile prilikom određivanja istežanja nego što bi se očekivalo, ako se ima u vidu jačina niti u tkanini koje su opterećene. Sile trenja između niti osnovne i potke nemaju bitan uticaj na otpornost tkanine na deformacije, barem dok se ne zategne sistem niti koji podnosi opterećenje. Ne postoji sila trenja dok ne dođe do klizanja između niti osnovne i potke. Kada se radi o predenoj pređi, klizanje može biti zanemarljivo ako je deformacija niti posledica

međusobnog klizanja vlakana u pređi i deformacije samih vlakana. Međutim, ako je tkanina izrađena od multifilamentne pređe, deformacije tkanine nakon potpunog zatezanja niti nisu posledica deformacije niti. I u tom slučaju je sila trenja zanemarljiva.

19.4.2.2. Istezanje kod prekida

Istezanje je prvenstveno funkcija vrste i strukture vlakana. Na primer, visoko orijentisana i kristalizovana aramidna vlakna (aromatični poliamidi) imaju veoma niske vrednosti istezanja prilikom prekida - jedva nekoliko procenata; dok ova vrednost može biti do 30 % veća kod hemijskih vlakana. Istezanje koje merimo prilikom prekida tkanine je veće od istezanja slobodne niti. Razlika nastaje zbog utkanja niti. To se može izraziti sledećom jednačinom:

$$e = e' + c \quad (19.35)$$

gde su:

- e - istezanje pri prekidu tkanine;
- e' - istezanje pri prekidu slobodne (izolovane) niti;
- c - utkanje.

Jednačina (19.35) nije primenjiva jer se nit ne može u potpunosti istegnuti, čak ni prilikom merenja prekidne jačine i istezanja prilikom prekida. To je zbog neravnomerne raspodele istezanja po celoj dužini ispitivanog uzorka. Uzorak se najviše isteže na polovini dužine (na istoj udaljenosti od dve stezaljke). Istezanje se prema stezaljkama smanjuje i po pravilu je teško primetno u neposrednoj blizini stezaljki. Ova neravnomernost istezanja se povećava sa povećanjem gustine osnove i potke, kao i sa povećanjem broja prelaza niti sa jedne na drugu stranu tkanine, što znači da je istezanje najneravnomernije kod platnenog prepletaja.

19.4.2.3. Naknadno kidanje

Za razliku od prekidne jačine, koju laboratorijski ne možemo utvrditi pod istim uslovima kakvi se pojavljuju tokom postupka upotrebe, uglavnom zbog nedovoljne širine uzorka (maksimalno do 10 cm), simulacija naknadnog kidanja u potpunosti odgovara uslovima upotrebe. Pored toga, naknadno kidanje je češća pojava nego prekid i zato je važno da se sa njim detaljno upoznamo.

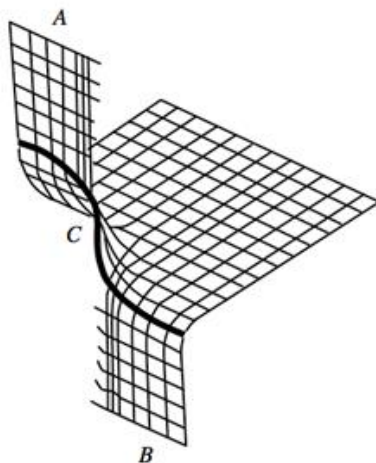
Kako teče deformacija tkanine? Proces naknadnog kidanja je prikazan na slici 19-7. Ako su u stezaljkama pričvršćeni krajevi osnovinih niti u tačkama A i B , tada otpornost na naknadno kidanje daju potkine niti. Delimično i niti osnove učestvuju u ovom procesu, ali pre svega u uskoj zoni kidanja tkanine. Ako u procesu naknadnog kidanja opterećenje trpi n potkinih niti u pravcu naknadnog kidanja, tada $n + 1$ potkina nit još uvek ne učestvuje u prenosu opterećenja. Kada se prva nit potke prekine, opterećenje u tkanini delimično popušta, a zatim se ponovo povećava do svoje maksimalne vrednosti. U tom trenutku, deo opterećenja se takođe prenosi na $n + 1$ potku. Variranje opterećenja u procesu naknadnog kidanja prikazano je na slici 19-8 [7].

Otpornost na naknadno kidanje zavisi od prekidne jačine pojedine niti u posmatranom sistemu (osnova ili potka), gustine niti po jedinici dužine, „ukleštenja“ niti u drugi sistem ili slično. Očigledno da je će otpornost niti biti veća što je veća otpornost svake pojedine niti, koja je uključena u prenos

opterećenja u procesu naknadnog kidanja. Pošto se opterećenje prostire do određene dubine ispitivanog uzorka, na promatranj dubini biće više niti ukoliko je veća gustina niti po jedinici dužine, što rezultira većom otpornošću na naknadno kidanje.

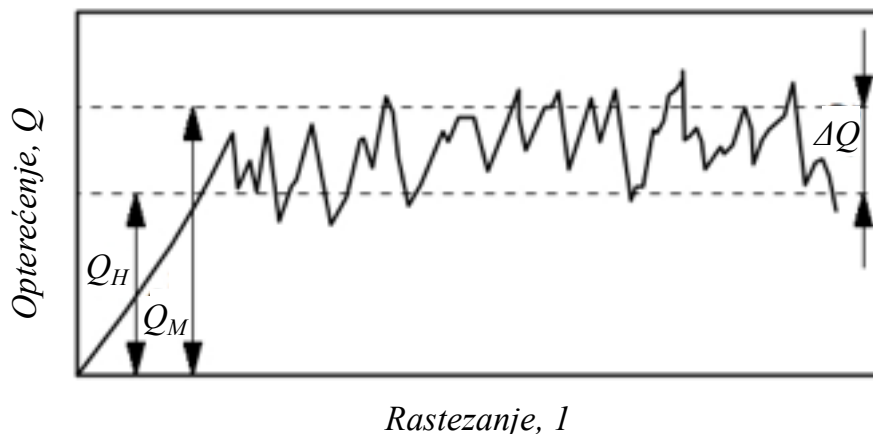
Napetost niti se meri silom koja odoleva izvlačenju niti iz tkanine i pre svega zavisi od prepletaja. Što je veći broj vezivnih tačaka, tim je više nit ukleštena u tkaninu. Tako su niti u tkanini tkanoj u prepletaju platno bolje učvršćene nego u tkanini koja je tkana u osmoveznom atlasu. Kvalitet površine niti je takođe važan, odnosno vrednost koeficijenta trenja.

Što je veća vrednost koeficijenta trenja, to će jače biti ukleštena posmatrana nit. Kod ove analize ne bi trebalo zanemariti izduženje niti kod prekida. Veće izduženje omogućava da se opterećenje rasporedi na veću dubinu, a time i na veću površinu, što znači da opterećenje podnosi veći broj niti jednog ili drugog sistema. Ovakva raspodela se manifestuje kao veći otpor tkanine naknadnom kidanju.



Slika 19-7: Šema položaja ispitivanog uzorka u procesu naknadnog kidanja

Usled navedenih uticaja, moramo biti veoma oprezni prilikom kaširanja tkanina. Sloj koji se nanosi na tkaninu najčešće povećava otpornost na uvijanje i povećava međusobnu ukleštenost niti oba sistema. Sam nanoseni sloj je često premalo elastičan. Sve to rezultira smanjenjem otpornosti tkanine na naknadno kidanje, koje je često vrlo veliko.



Slika 19-8: Tok dijagrama opterećenje-istezanje u procesu naknadnog kidanja

Analiza otpora tkanine naknadnom kidanju temelji se na trouglu deformacije (slika 19-9), koji se oblikuje u procesu naknadnog kidanja [7]. Pogledamo gornji deo trougla deformacije (slika 19-9a), koji je ograničen jednakostraničnom hiperbolom sa osom simetrije i asimptotama, koje su paralelne koordinatnim osama na razdaljini k od x ose i na razdaljini m od y ose. Ako je A razmak od tačke Q uzduž ose simetrije, onda možemo hiperbolu izraziti sledećom jednačinom:

$$y = \frac{A^2}{2(x+m)} - k \quad (19.36)$$

Na slici 19-9a vertikalne paralelne crte označavaju položaj niti osnove ili potke u trouglu deformacije. Razmak među nitima je označen sa a do a_n . Očigledno se razmaci povećavaju, kada idemo od a prema a_n . Razdaljina a je približno jednaka stvarnoj razdaljini niti u nedeformisanoj tkanini. Na slici 19-9b je prikazano opterećenje niti. Na prvu nit deluje opterećenje koje tu nit prekida (vodoravna isprekidana linija). Nit $n + 1$, koja je na udaljenosti a_n od niti n , u položaju je kada će primiti opterećenje (vertikalna isprekidana linija). Niti 1 do n učestvuju u prenošenju opterećenja u procesu naknadnog kidanja (slika 19-9b). Kao što vidimo sa slike 19-9b, prva nit je rastegnuta na dužinu, koja je jednaka zbiru razdaljina a do a_n . Ovo rastezanje je ujedno jednako rastezanju pri prekidu niti. Ova zakonitost stvarno važi samo u Hukovom području deformacija, gde je rastezanje srazmerno opterećenju. Faktor srazmernosti je modul elastičnosti. Kod daljih deformacija izlazimo iz Hukovog područja i navedena srazmernost više ne važi. Ako pretpostavimo da rastezanje raste srazmerno sa opterećenjem, onda važi:

$$P = Ee; \quad Q = P + 0,5(n-1)P \quad (19.37)$$

gde su:

- P - opterećenje;
- E - modul elastičnosti;

- e - rastezanje;
- n - broj niti koje su izložene opterećenju;
- Q - otpor tkanine naknadnom kidanju.

Očigledno je da opterećenje P znači prekinu jačinu na jednu nit i faktor 0,5 u jednačini (19.37) činjenicu da je svih n niti, osim prve, opterećeno prosečno sa polovinom vrednosti prekidne jačine.

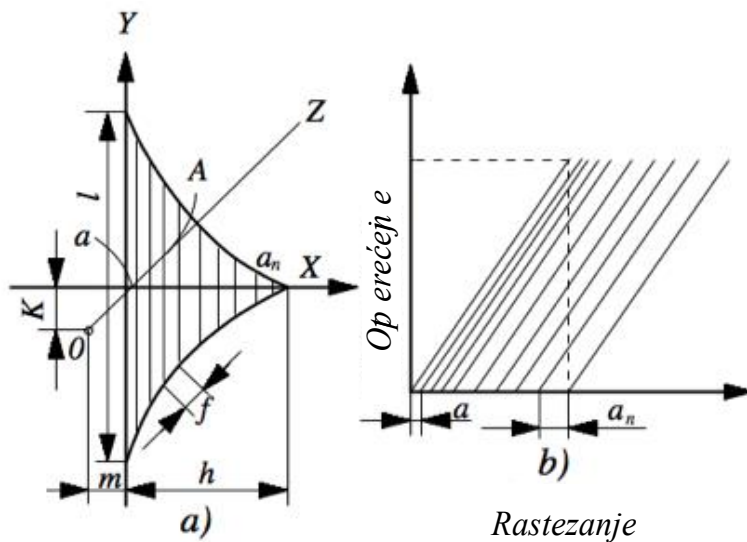
Deformaciju tkanine u procesu naknadnog kidanja, možemo obraditi i nešto drukčije. Osnovni parametri su prikazane na slici 19-10 [8]. Pretpostavimo da sila P deluje u smeru osnove. Zbog delovanja te sile formira se pravougaoni trougao deformacije sa osnovicom l .

Opterećenje vanjske niti A trougla deformacije biće srazmerno veličini sile trenja F_2 .

$$F_2 = \mu P_1 S_1 d_2 \cos \beta_1 \quad (19.38)$$

gde su

- μ - koeficijent trenja među nitima;
- S_1 - gustina niti osnove na 1 cm;
- d_2 - uslovni prečnik niti potke;
- β_1 - ugao među osom niti osnove i smerom delovanja sile P_1 .



Slika 19-9: Proces naknadnog kidanja tkanine
a) - oblik trougla deformacije, b) - opterećenje niti protiv naknadnog kidanja

Prečnikpotke se rastezanjem menja po sledećoj jednačini:

$$d_2 = \frac{KT^{\frac{2}{3}}}{(l + e_2)^{0,5}} \quad (19.39)$$

gde su:

- T_2 - finoća potke, tex;
- e_2 - istežanje potke prilikom prekida.

Istovremeno se povećava dužina te niti za $(l + e_2)$. Ako je P srazmerna sili P_2 , u tom slučaju će sila trenja na jedinicu dužine potke biti jednaka:

$$F_2 = \frac{\mu k P_2 S_1 T_2^{\frac{2}{3}} \cos \beta_1}{(l + e_2)^{\frac{2}{3}}} \quad (19.40)$$

Sada možemo otpornost potke prema naknadnom kidanju izraziti zbirom opterećenja poprečnih (potkinih) niti (slično kao u jednačini (19.37)):

$$Q_2 = (l + 0,5n) P_2 \cos \beta_2 \quad (19.41)$$

Broj niti potke n , koje se nalaze u trouglu deformacije, možemo izračunati iz odnosa među opterećenjem, koje prouzrokuje naknadno kidanje potkine niti u tkanini i sile trenja, koja se odnosi na jedinicu dužine potke:

$$n = \frac{P \cos \beta_2}{F_2} = \frac{k P_2 \cos \beta_2 (l + e_2)^{\frac{3}{2}}}{P_2 T_2^{\frac{2}{3}} S_1 \cos \beta_1} \quad (19.42)$$

Ako uzmemo u obzir jednačine (19.41) i (19.42), možemo izraziti koeficijent otpora naknadnom kidanju tkanine po potki K_2 sledećom jednačinom:

$$K_2 = l + \frac{k_1 (l + e_2)^{\frac{3}{2}} \cos^2 \beta_1}{T_2^{\frac{2}{3}} S_2 \cos \beta_2} \quad (19.43)$$

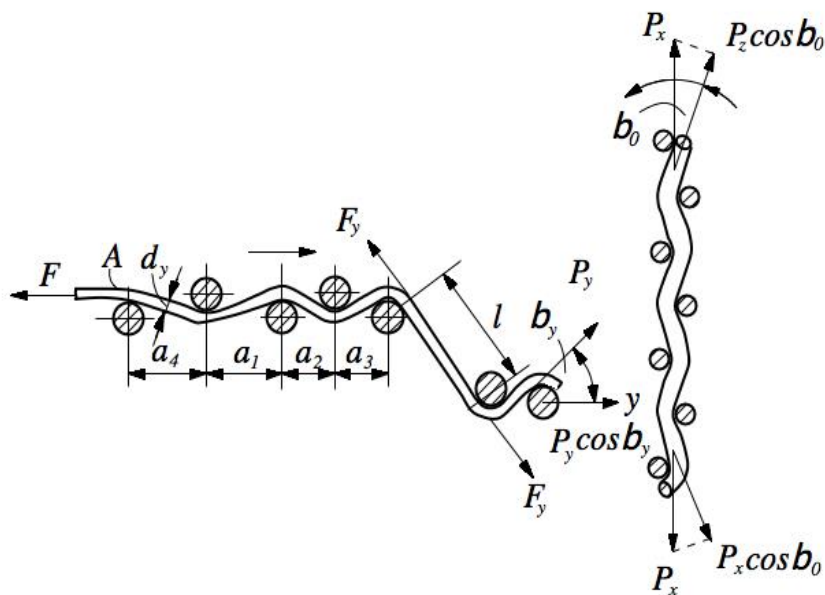
Analogna jednačina za koeficijent otpora tkanine po osnovi glasi:

$$K_1 = l + \frac{k_1 (l + e_1)^{\frac{3}{2}} \cos^2 \beta_1}{T_1^{\frac{2}{3}} S_1 \cos \beta_1} \quad (19.44)$$

Koeficijent trenja μ za pamučnu pređu je 0,24. Vunena pređa ima veću vrednost, a multifilamentna pređa manju vrednost koeficijenta trenja nego pamučna pređa. Za pamučnu pređu je izračunata vrednost koeficijenta proporcionalnosti $k_1 = 1,7 \cdot 10^3$ i $k_2 = 1,5 \cdot 10^3$. Izračunate vrednosti na osnovu jednačina (19.43) i (19.44) odstupaju od eksperimentalnih za 10 do 20 % [8]. To je još prihvatljiva tačnost.

Koeficijenti otpora K_1 i K_2 su bezdimenzionalne količine i definisane su kao odnos između otpora tkanine prema naknadnom kidanju i prekidne jačine niti u tkanini (pri čemu je $l/\cos\beta = l$). Razlika vrednosti l je uzeta u obzir u vrednostima koeficijenta K_1 i K_2 .

$$K_1 = \frac{Q_1}{P_1}; \quad K_2 = \frac{Q_2}{P_2} \quad (19.45)$$



Slika 19-10: Šema delovanja sila na niti osnove i potke kod metode ispitivanja otpora tkanine prema naknadnom kidanju

19.5. Konstrukcija pletenina

Pletenina je ravan tekstilni proizvod kao i tkanina, osim što ima drugačiju strukturu i osobine. Pre svega, ima rastresitiju strukturu i manje stabilne dimenzije. Proizvode se i pletiva sa prilično stabilnim dimenzijama. U tom slučaju se u pletenine ugrađuje dodatni sistem niti, koji povećava stabilnost pletiva. Taj sistem je položena nit ili potkina nit. To povećava stabilnost pletenine po širini. Pleteninu možemo znatno stabilizovati i pomoću kombinovanih plećaćih prepletaja. Ukratko, pletenina se može podeliti na jednostavne potkovne i snutkovne, kao i kombinovane pletenine, koje su veoma kompleksno izrađene, kako u pogledu sistema prepletaja, tako i u pogledu sistema niti i oblika petlji.

Kod pletenina nas uglavnom zanimaju njena geometrija i fizičko-mehanička svojstva. Fizičko-mehanička svojstva rezultat su fizičko-mehaničkih svojstava pređe, kao i geometrije pletiva. Zbog toga ćemo posebno obraditi geometriju pletenina.

Pletenine u značajnoj meri istiskuju tkanine. Ovo se posebno odnosi na neke delove odeće. Donje rublje se praktično u potpunosti proizvodi od pletenine. Takođe, košulje i ženske haljine su sve češće izrađene od pletenine. Džemperi, rukavice i čarape su oduvek bili proizvod pletenja. Izgleda da pletenina postaje sve važnija. To se uglavnom dešava zbog jeftinije proizvodnje u poređenju s

tkaninama, veće prilagodljivosti (voljnost ili prilagođavanje telu), veće voluminoznosti i samim tim bolja toplotna izolacija. Područje upotrebe pletenina uglavnom se proširuje zbog mogućnosti njene izrade u stabilnom obliku, koji se značajno ne razlikuje od stabilnosti tkanina, odnosno stabilnost zadovoljava većinu uslova prilikom korištenja predmeta od pletenine.

19.5.1. Geometrija pletenina

Pod geometrijom pletenine podrazumevamo oblik i položaj, kao i dužinu petlje u pletenini, od čega uveliko zavise fizička i mehanička svojstva, kao i upotrebljivost pletiva. Obično dužinu petlje

izračunavamo na osnovu njenog oblika, pretpostavljajući da leži u ravni. Petlja zapravo leži u prostoru, što otežava izračunavanje njene dužine kao osnovnog parametra za procenu potrošnje pređe po jedinici površine pletiva.

Prilikom oblikovanja petlje moramo saviti pređu. Pri tome se javljaju određena naprezanja koja menjaju oblik petlje. Zbog toga se sirova pletenina uvrće. To izbegavamo doradom pletenine koja anulira ili veoma smanjuje unutrašnja naprezanja u petlji. Model prikazan na slici 19-11 se može koristiti za proračun parametara petlje. Crtom je pokazano samo središte pređe iz koje se formira petlja. U tačkama A , B i C deluju rezultante sila koje omogućavaju prikazani oblik petlje. Sa c je označena vertikalna udaljenost između tačaka A i B ; w je širina petlje i d je promer pređe.

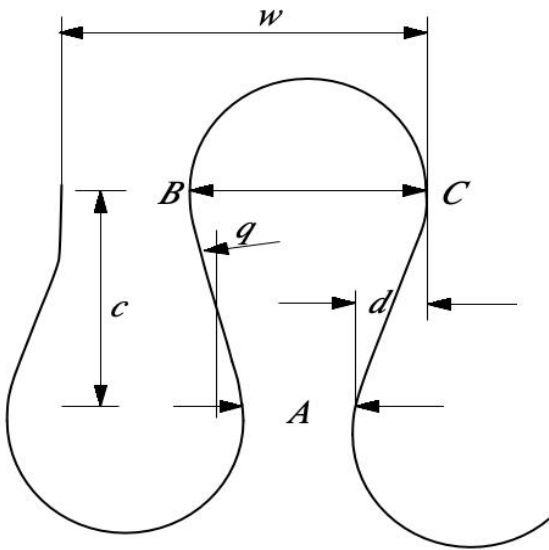
Na širini w , čitava petlja ima dva identična kraka l_1 (između A i B) a takođe i dva identična luka l_2 (između B i C). Ukupna dužina petlje l se može izraziti sledećom jednačinom:

$$l = 2l_1 + 2l_2; \quad l_1 = c(l + o); \quad l_2 = \pi r \quad (19.46)$$

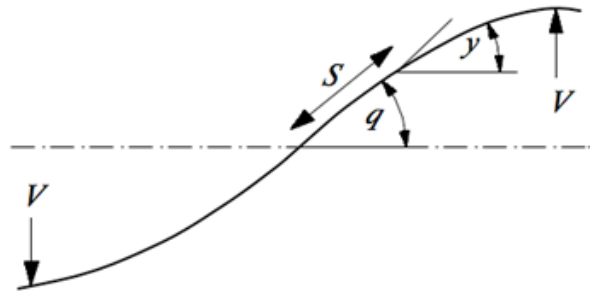
gde je o povećan udeo dužine c zbog položaja navoja u petlji na dužini c i r polovina radiusa luka BC .

U jednačini (19-46), o je povećan udeo dužine c zbog položaja dela niti u petlji na dužini c ; r je polumer luka BC . Oblik dela petlje između A i B identičan je obliku položaja niti na slici 19-5. Zbog toga možemo postaviti sledeće relacije:

$$\frac{d}{c} = \frac{h}{p} = \frac{4}{3} o^{0.5}; \quad l_1 = c \left[l + \frac{9}{16} \left(\frac{d}{c} \right)^2 \right] \quad (19.47)$$



Slika 19-12: Mundenov model petlje [9]



Slika 19-11: Delovanje reakcijskih sila F na uvijenu nit

Pri određivanju polumera r luka BC , moramo uzeti u obzir momenat savijanja pređe. Na slici 19-12 prikazani su parametri koji se javljaju kod savijanja elastične niti.

Momenat savijanja u bilo kojoj tački niti je Fx . Odnos između polumera r , modula savijanja E i momenta savijanja dat je sledećom jednačinom:

$$\frac{E}{r} = Fx \quad (19.48)$$

Uzimajući u obzir sliku 19-12 i jednačinu (19.48), možemo napisati:

$$rd\psi = ds; \quad dx = \cos(\psi)ds \quad (19.49)$$

$$E \cos(\psi)d\psi = -Fxdx \quad (19.50)$$

Pošto je $x = 0$, ako je $r = 0$, integrisanjem jednačine (19.50) dobijemo:

$$0,5Fx^2 = E(\sin\theta - \cos\psi) \quad (19.51)$$

Jednačinom (19.51) data je veličina potrebne sile za nastanak luka. Kada je $x = 0,5c = 0$, jednačina (19.51) dobija sledeći oblik:

$$F = \frac{8E \sin\theta}{c^2}; \quad \sin\theta = \frac{3 \cdot 106\pi d}{4 \cdot 180c} \quad (19.52)$$

Ukrivljenost $1/r$ je data sledećom jednačinom:

$$\frac{l}{r} = \frac{fc}{2E} \quad (19.53)$$

Ako uzmemo u obzir jednačine (19.53) i (19.54), dobijamo da je $l_2 = 0,544c^2/d$ i čitavu dužinu petlje l možemo izraziti sledećom jednačinom:

$$\frac{l}{c} = 1,088 \frac{c}{d} + 1 + \frac{9}{16} \left(\frac{d}{c} \right)^2 \quad (19.54)$$

Očigledno je (vidi sliku 19-11) da razmak w među petljama možemo definisati sledećom jednačinom:

$$w = 2r - (2r - d) \quad (19.55)$$

Za odnos w/c važi sledeća jednačina:

$$\frac{w}{c} = 0,72 \frac{c}{d} - 2 \frac{d}{c} \quad (19.56)$$

Kao i kod tkanina, i kod pletenina poznajemo faktor pokrivanja. Prečnik niti proporcionalan je $(\text{tex})^{0,5}$, a omer d/l može se zameniti sa $(\text{tex})^{0,5}/l$, što nam daje faktor pokrivanja pletiva. Ovo je samo nominalni faktor pokrivanja jer je prečnik niti ujedno i funkcija gustoće pletiva.

Bezdimenzionalni parametri c/l i w/l su nezavisni od nominalnog faktora pokrivenosti; dok odnosi l^2/cw , l/c i l/w zavise od tipa relaksacije pletenine, što označava stabilizaciju pletenine u suvom ili mokrom stanju. Ovo je posebno važno za vunene pletenine, u kojima su izrazite promene fizičko-mehaničkih osobina u vlažnom stanju.

Kao što vidimo iz jednačina (19.46) do (19.56), geometrijski parametri petlje prilično su složeno definisani, što otežava praćenje međuzavisnosti navedenih parametara petlje. Zbog toga ćemo u tablici 19-2 prikazati neke vrednosti ovih bezdimenzionalnih parametara pod različitim uglovima.

Kao što se vidi iz jednačine (19.52), $\sin\theta$ je proporcionalan promeru niti d i obrnuto proporcionalan parametru c . U slučaju kada je npr. dužina petlje 99 puta veća od prečnika niti, apsolutna vrednost modula savijanja je relativno mala. Zbog toga je ugao θ mali, u našem slučaju samo 10 stepeni, a parametar c je 5,8 puta manji od širine petlje. Međutim, kada se omer dužine petlje i prečnika niti l/d smanji na 9,4, vrednost ugla se poveća na 400, a vrednost omera w/c se smanji (videti jednačinu (19.56)). Vrednost l/c se takođe smanji, uglavnom zbog povećanja vrijednosti d . Vrednost odnosa l/w takođe se poveća zbog relativnog smanjenja vrednosti w (vidi jednačinu (19.55)). Zanimljivo je videti odnos l^2/cw , koji se ne menja značajno s promenom vrednosti ugla i funkcija je oblika petlje i odnosa l/d .

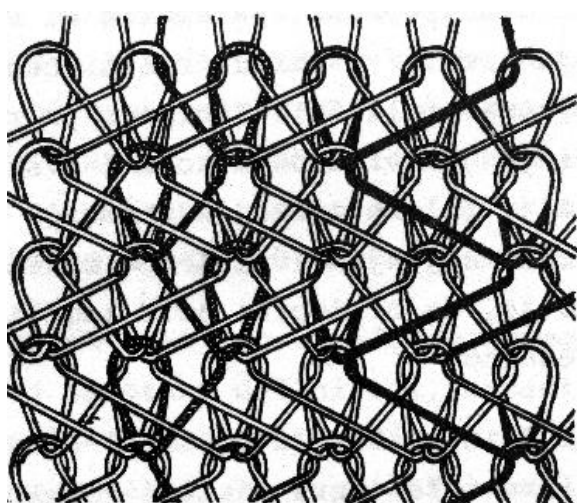
Tabela 19-2: Međusobna zavisnost vrednosti bezdimenzionalnih parametara petlje na različitim uglovima

Parametar	Ugao θ , stepeni			
	10	20	30	40
l/d	88,0	28,0	14,4	9,4
l^2/cw	22,2	16,6	17,1	21,7
l/c	11,30	6,74	5,31	4,80
l/w	1,94	2,40	3,18	4,42
w/c	5,80	2,73	1,64	1,07

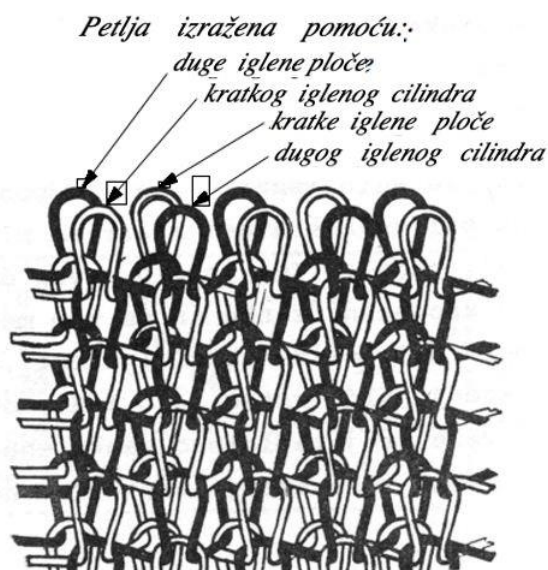
Rezultati u tabeli (19-2) i jednačine (19.46) do (19.56) dovoljno jasno ilustruju glavne probleme kod analize geometrije petlje najjednostavnijeg kulirnog pletiva (potkovine), i to u slučaju kada je analiziramo samo u ravni. Petlja zapravo ne leži u ravni, nego u prostoru, što zahteva složeniju analizu geometrije petlje nego što smo pokazali. Prostorni položaj petlji još je izraženiji u slučaju kulirne robe, koja ima jednu levu i jednu desnu petlju.

Geometrija osnovnih pletenina (snutkovine) je obično još složenija od geometrije jednostavnog kulirnog pletiva. Petlja ima oblik balona ili padobrana. Ima luk i ravne delove, koji se presecaju u luku prethodno zapletene petlje, formirajući u toj tački lukove malog poluprečnika ili velike zakrivljenosti. Polaganje niti na susednu ili treću iglu itd. rezultira pravolinijskim delom niti koji veže prethodno zapletenu petlju jednog stupca sa petljom koja će biti zapletena u sledećem redu u nekom drugom stupcu..

U slučaju interlock pletenine, međutim, dolazi do karakteristične trodimenzionalne strukture, čiju je geometriju veoma teško protumačiti. Primer strukture osnovine pletenine (triko) prikazan je na slici 19-13, primer strukture interlock pletenine na slici 19-14.



Slika 19-13: Šematski prikaz strukture osnovne triko pletenine



Slika 19-14: Šematski prikaz strukture interlock pletenine

19.5.2. Fizičko-mehanička svojstva pletenina

Fizičko-mehanička svojstva pletenine tretiraju se slično fizičko-mehaničkim svojstvima tkanine; ali postoji mnogo razlika. Umesto gustine po potki i osnovi, uzimamo u obzir vertikalnu i horizontalnu gustinu petlji ili broj redova i broj stupaca. Za složenije strukture uzimamo broj petlji po jedinici površine. Kako dužina petlji, p_a i finoća pređe u pojedinačnom sistemu može varirati, mogu se koristiti ponderisane dužine petlji i finoća pređe. Ponekad je podložna nit u pletenini poput sistema potke, koji formira petlje samo u veznim tačkama. Takav sistem se mora posebno uzeti u obzir pri proračunu potrošnje materijala, odnosno mase m^2 pletiva.

Savijanje i krutost pletenina, za razliku od tkanina, obično se ne razmatraju odvojeno. Posebno je pitanje jačine i istezanja pletenine. Zbog svoje strukture, pletenina se ponaša različito od tkanine, što nas sprečava da posebno merimo jačinu i istezanje po dužini i po širini pletenine; zbog toga merimo istovremeno u oba smera.

19.5.2.1. Masa pletenine

Slično kao i kod tkanine, masu pletenine definišemo kao masu po jedinici površine, g/m^2 . Ako je D_h - broj stupaca po jedinici širine, D_v - broj petlji u stupcu po jedinici dužine pletiva, l - dužina petlje i T_t - finoća pređe u tex-ima, C - konstanta konverzije dimenzija, možemo masu m (g/m^2) izračunati pomoću sledeće jednačine:

$$m = CD_v D_h l T_t, gm^{-2} \quad (19.57)$$

Jednačina (19.57) se može koristiti za izračunavanje mase bilo koje vrste pletiva pod uslovom da D_v , D_h , l i T_t predstavljaju prosečne vrednosti. Pozivajući se na slike 19-13 i 19-14, možemo videti da je izračunavanje težine pletiva u takvim prepletajima prilično složeno, uglavnom zbog poteškoća u određivanju dužine petlje. Već u triko pletenini, prikazanoj na slici 19-13, imamo različite vrste petlji s obzirom na njihove sastavne delove. Zbog toga je i dužina različitih vrsta petlji takođe različita. Poseban problem predstavlja izračunavanje dužine petlje ako ona leži u prostoru, kao što je jasno prikazano na slici 19-14. Pored toga, pletenina može imati podložnu nit, koja je obično grublja nego niti koje formiraju petlje na površini pletenine. Između dve petlje podložna nit je manje-više obešena. U takvom slučaju, težina podložne niti po jedinici površine izračunava se odvojeno i dodaje se masi osnovne pletenine.

U pleteninama koje imaju više sistema niti, petlji i prepletanja, u praksi često koristimo empiriju. Ovo je neophodno ako nemamo iskustva s bilo kojom novom konstrukcijom trikotaže koju smo dizajnirali kako bismo predvideli potrošnju materijala i brzinu izrade s najvećom preciznošću i da bismo odredili proizvodnu cenu. Pored toga, moramo upotrebiti i realne pretpostavke o vrednostima najvažnijih fizičko-mehaničkih svojstava, kako bismo utvrdili da li je budući proizvod pogodan za njegovu predviđenu upotrebu i da li cena proizvodnje odgovara.

19.5.2.2. Prekidna jačina i istezanje

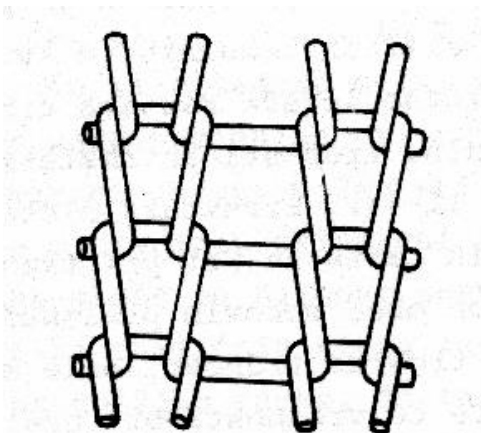
Pletenina se može izrađivati u jednofonturnim kulirnim (potkovnim) ili osnovnim (snutkovnim) prepletajima. Čak i kod, s obzirom na strukturu, najjednostavnijih pletenina, teško je unapred teoretski predvideti jačinu i istezanje pletenine.

Kod strukturalno složenijeg pletiva, problem je još složeniji. Kod biaksijalnih tkanina u kojima postoje samo dva ortogonalna sistema niti, teoretska obrada prekidne jačine i istezanja je prilično izazovna (jednačine (19-33) do (19-44)). Struktura pletenina ne omogućava ispitivanje jačine i istezanja kao kod tkanina jer bi se pojavile anomalije duž obe ivice uzorka na način da bi izmerene vrednosti jačine na kidanje bile manje, a istezanje veće nego što bi te vrednosti bile u uzorku koji ima ivice, slične ivicama tkanine izrađene na konvencionalnom razboju.

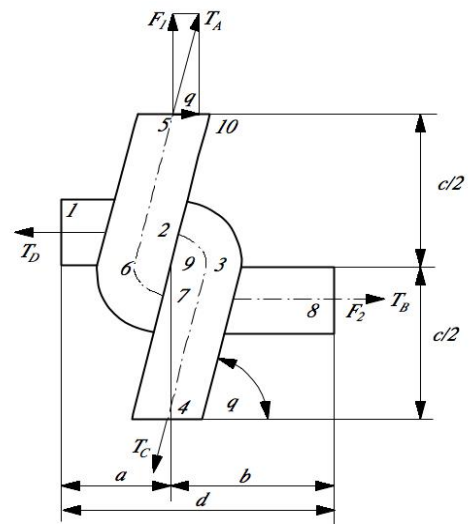
Postupci ispitivanja fizičkih i mehaničkih osobina bi trebali da simuliraju uslove nastale prilikom upotrebe određenog tekstilnog proizvoda. Ali to je često veoma teško ili metoda ne može pokriti sve moguće slučajeve. Kao rezultat, metode ispitivanja su usaglašene na nacionalnom (poput DIN standarda) ili globalnom (ISO standardi) nivou. Za razliku od tkanina, pletiva se testiraju u dva smera istovremeno - duž redova (poprečno na pletivo) i duž stupova (duž pletiva). To takođe znači dve vrednosti prekidnog izduženja.

Na slici 19-15 prikazana je jednostavna kulirna pletenina. Detalj je prikazan na slici 19-17 pod biaksijalnim opterećenjem. Prikazane su sile koje opterećuju krajeve niti. Pored sila, prikazani su i uglovi pod kojima sile deluju, kao i udaljenost zahvata sile od središta ukrštanja niti u petlji.

U dvoaksijalnom modelu (slike 19-15 i 19-16) pretpostavlja se da se pri visokim biaksijalnim opterećenjima može zanemariti unutrašnja energija, koja nastaje usled savijanja niti u petlji. Iz tog razloga se može pretpostaviti da niti prate ravne linije, osim u petlji (slika 19-16) gde niti formiraju luk sa centrom u tački 9 (slika 19-17).



Slika 19-15: Model glatkog kulirnog pletiva



Slika 19-16: Petlje pod biaksijalnim opterećenjem

Sile koje deluju na niti (slika 19-16) se mogu prikazati u vektorskom obliku. Takođe nije teško pronaći odnos između opterećenja i geometrije petlje. Vrednosti nekih geometrijskih parametara se ne menjaju čak i kada se oblik petlje promeni usled promene omera biaksijalnog opterećenja. Preporučljivo je koristiti parametre bez dimenzija, koji će biti uvedeni u sledećim jednačinama. Ako je l - dužina niti u petlji, c - udaljenost između susednih redova (visina petlje), w - udaljenost između susednih stubova (širina petlje), a d - prečnik niti, tada možemo napisati:

$$c' = \frac{c}{l - \frac{d}{2}} \quad (19.58)$$

$$w' = \frac{w}{l - \frac{d}{2}} \quad (19.59)$$

$$d' = \frac{d}{l - \frac{d}{2}} \quad (19.60)$$

Može se dokazati [9] da je odnos opterećenja približno izražen sledećom jednačinom:

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{c'}{l - c'} \quad (19.61)$$

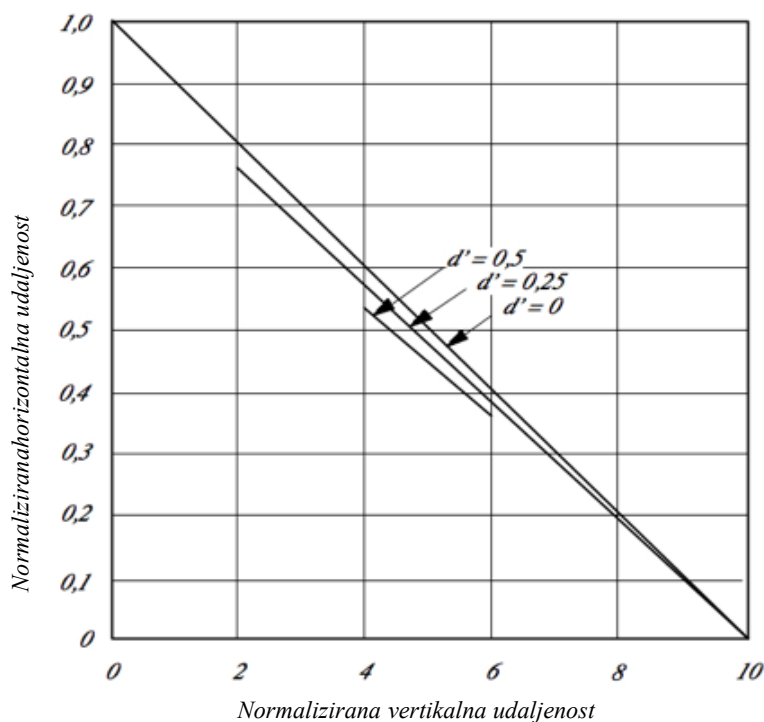
Kriva koja proizlazi iz jednačine (19.61) data je na slici 19-17. Prikazana su i ograničenja parametra c' za $d' = 0; 0,05$ i $0,5$. Varijacija bezdimenzionalnog parametra w' kao funkcije c' i d' je data jednačinom 19.62 i prikazana je na slici 19-18 u slučaju kada je $d' = 0; 0,025$ i $0,05$.

$$w' = 1 - \frac{c}{\left[l - \left(\frac{d'}{c'} \right)^2 \right]^{0,5}} \quad (19.62)$$

U petlji - preseku niti se javlja otpor međusobnom klizanju niti. Odnos sila u tački ukrštanja može se izraziti jednačinom (19.63) gde je μ koeficijent trenja između površina niti i α -ugao međusobnog obuhvata niti u petlji (ukrštanju).

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{c'}{l - c'} \exp(\pm \mu \alpha) \quad (19.63)$$

Jednačine (19.58) do (19.63) važe za jednostavnu kulirnu pleteninu. Sile s_1 i s_2 se mogu izmeriti, a parametar c' se može izračunati jednačinom (19.58) i w' jednačinom (19.62).

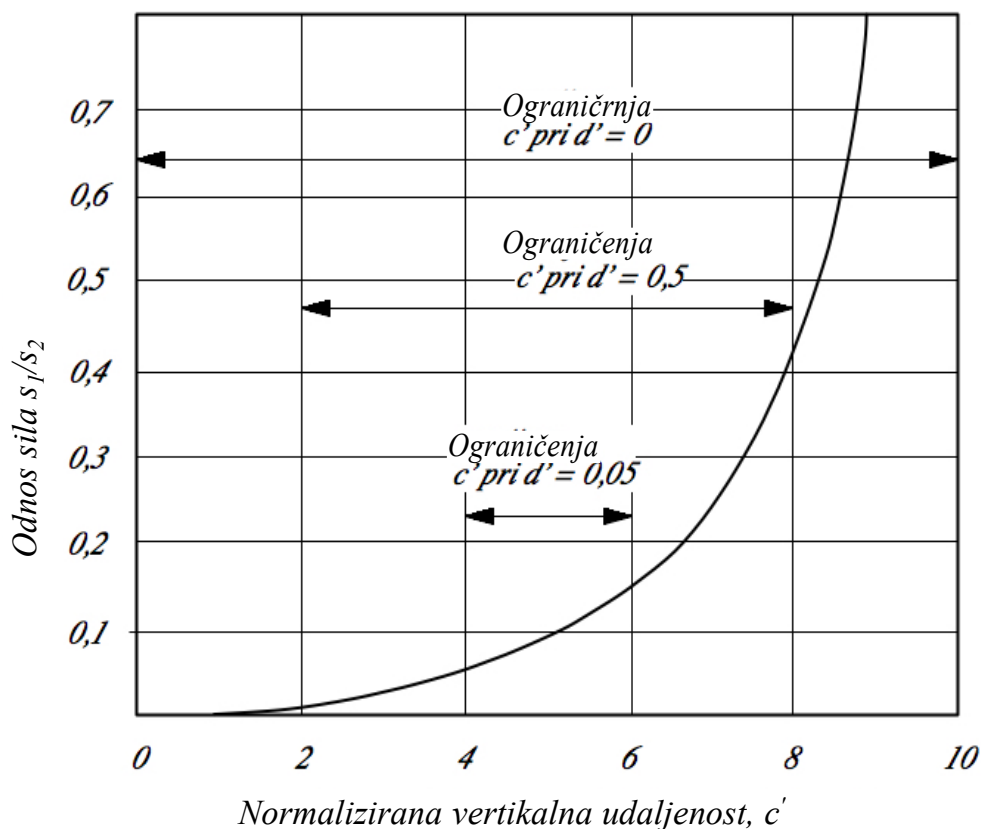


Slika 19-17: Promena parametra c' u zavisnosti od promene vrednosti odnosa s_1/s_2 , jednačina (19.61)

Prečnik pređe d izračunava se pomoću jednačine (19.2); međutim, veoma je teško izračunati dužinu petlje l , jer jednačina (19.46) važi samo za Mundenov model [9], koji sasvim realno ilustruje položaj niti u petlji (slika 19-12). Na slici 19-16 zanemarili smo unutrašnju energiju kod biaksijalnog opterećenja i oblik petlje je jednostavniji nego na slici 19-11, ali jednačina (19.46) se ne može koristiti za izračunavanje ove petlje. Ukratko, jednačine (19.58) do (19.63) će služiti kao alat za proučavanje deformacija kulirnih pletenina u slučaju biaksijalnog opterećenja. Na primer, u slučaju rubne kulirne pletenine, obrasci su različiti [11] i mnogo su složeniji nego kod kulirnih pletiva.

Biaksijalnom opterećenju je slično opterećenje prilikom merenja raspučne jačine. Pri tome delimično simuliramo deformacije pletenine koje se javljaju na kolenima, laktovima ili slučaj kada se pletenina ili deo pletenine zakači za neki predmet. Pleteninu kao i tkaninu probijamo čeličnom kuglicom promera 2 cm. Pošto je pletenina učvršćena u prsten, kroz koji se gura kuglica, pletenina će na površini kugle biti oblikovana u sferni oblik. Pri tome je pletenina opterećena u svim smerovima i opterećenje raste od obruča prstena prema vrhu sfere do trenutka probijanja. Deformacije petlji i niti, su u tom procesu veoma složene.

Teoretski ih je teško definisati jer je u proces istovremeno uključen veliki broj petlji, koje se različito deformišu u zavisnosti od njihove udaljenosti od vrha sfere. Eksperimentalno se može izmeriti krivulja istezanje-opterećenje, ali je teorijska obrada krivulje izuzetno teška, čak i kod najjednostavnijeg glatkog kulirnog pletiva. Bez obzira na to, vredne informacije o fizičkim i mehaničkim svojstvima pletiva dobijaju se merenjem raspučne jačine (jačine na pucanje).



Slika 19-18: Promena parametra w' u zavisnosti od promene parametra c' i vrednosti parametra d' (jednačina (19.62))

19.6. Vlakovine

19.6.1. Konstrukcija vlaknovina

U poslednje vreme, vlaknovine su postale vrlo važan tekstilni proizvod, čije učešće u ukupnoj tekstilnoj proizvodnji postepeno raste. Ovo povećanje ima dva glavna uzroka: jeftinija tehnologija proizvodnje i brojnija područja primene. Ovo se posebno odnosi na iglane vlaknovine, čija se upotreba u tehničke svrhe proširuje u pogledu broja različitih proizvoda i područja primene, kao i samih količina. Upotreba u prostorijama za boravak se takođe brzo povećava, posebno za podne obloge. Upotreba vlaknovina za oblaganje zidova prostorija za boravak i drugih prostorija se takođe povećava, jer vlaknovine imaju veoma dobra svojstva toplotne izolacije i izvrsno prigušuju zvuk. U novije vreme smo svedoci mnogih ekoloških katastrofa koje nastaju usled uništavanja šuma. Ovakve katastrofe mogu se uočiti tokom istorije (pojava nekih pustinja), ali je to saznanje novijeg vremena (suša u Sahelu, Etiopiji itd.). Takođe se povećava upotreba drveta za proizvodnju papira. Ukratko, možemo reći da je sve manje šuma i da su proizvodi od drveta sve skuplji. Ovo se takođe odnosi na oblaganje podova parketom i zidova drvetom. Smatramo da je to jedan od razloga širenja upotrebe vlaknovina u gore pomenute svrhe. One se, pre svega, proizvode od hemijskih vlakana. Osnovna sirovina za proizvodnju hemijskih vlakana je nafta. Za sada nema nedostatka nafte. Međutim, ona nije obnovljiva, za razliku od šuma. Sigurno će upotreba hemijskih vlakana porasti u narednim decenijama. Međutim, upotreba drveta verovatno stagnira ili čak opada.

19.6.1.1. Valjane tekstilije (filc)

Valjane tekstilije imaju dugu istoriju, posebno u izradi šešira. Vunena vlakna imaju tu osobinu da se pod određenim uslovima (mehanička obrada u vlažnom stanju) valjanja svaljaju, pa se može izraditi prilično stabilan ravan proizvod - međusobno povezana vunena vlakna i sl. Proces u kome nastaje valjana vlaknovina od vunениh vlakana naziva se valjanje (filcanje). Valjanje se objašnjava međusobnim ukleštenjem krljušti susednih vlakana. Zbog načina valjanja, položaj vlakana u vuni je veoma neuredan - nije orijentisan. Kao rezultat toga, valjanjem se može u velikoj meri dostići izotropno stanje u pogledu fizičko-mehaničkih svojstva valjanih vunениh vlakana.

Područje upotrebe valjanog proizvoda je uglavnom ograničeno zbog karakteristika i cene vunениh vlakana. Koristi se uglavnom za izradu šešira, ali i za filtere u mokroj filtraciji; najčešće u fabrikama papira. Sa pojavom relativno jeftinijih hemijskih vlakana sa drugačijim mehaničko-hemijskim osobinama nego što ih ima vuna, i razvojem novih tehnika, posebno tehnike iglanja za proizvodnju vlaknovina, vuneni valjani proizvod je postao manje važan.

19.6.1.2. Iglane vlaknovine

Iglane vlaknovine se po strukturi razlikuju od valjanih vlaknovina. Iglane vlaknovine su proizvedene uglavnom od hemijskih vlakana. Tehnologija iglanja je jednostavna i efikasna. Koprena, dobijena sa karde ili vlačare, polaže se polagačem po širini buduće iglane vlaknovine u slojeve određene mase po m². Igle, koje su pričvršćene na igljenjaču probadaju slojeve koprene. Pri tome igle povlače pojedinačna vlakna, odnosno deo dužine vlakana kroz slojeve koprene do donje strane, i prilikom kretanja u suprotnom pravcu provlače deo vlakna kroz koprenu odozdo prema gore. To je moguće zbog dva bočna zuba. Jedan vuče zahvaćena vlakna na dole, a drugi na gore. Što je više takvih vlakana, tim bolje se veže vlaknovina. To znači da jačina i gustina koprene zavise od broja uboda igala po jedinici površine vlaknovine. Moramo uzeti u obzir i činjenicu da se sa povećanjem broja uboda povećava i broj oštećenih vlakana koja igle preseku ili prekinu.

Kao rezultat toga, jačina vlaknovine raste s povećanjem broja uboda, dok se povećava i broj vlakana koja poprečno povezuju vlakna u vlaknovini. Međutim, kada broj oštećenih vlakana, koja imaju povezujuću ulogu, premaši novoformirane poprečne veze, jačina vlaknovine počne opadati. Zbog toga kritični broj uboda po jedinici površine određene vlaknovine ne sme biti premašen. Takođe možemo iglati sa dve igljenjače, što je efikasnije nego kad iglamo samo sa jednom.

Za pojedine namene koristimo višeslojne vlaknovine, odnosno različite finoće vlakana u pojedinim slojevima. Ovo se posebno odnosi na vlaknovine namenjena za filtere. Površinski sloj se sastoji od finijih vlakana nego sledeći slojevi. Sa finijim vlaknima može se postići manji srednji hidraulični prečnik pora i veća efikasnost filtracije. Pošto su finija vlakna skuplja od grubljih, ugrađivanjem finijih vlakana samo u gornji površinski sloj vlaknovine, filterski medij biće jeftiniji. Pored toga, produžava se vek filtera, jer je olakšano čišćenje „sedimenta“ iz slojeva vlaknovine, koji su izrađeni od grubljih vlakana i imaju veći srednji prečnik pora. Metalna vlakna se ponekad ugrađuju u vlaknovine kako bi se sprečilo da se količina statičkog elektriciteta povećava. Osim toga, ponekad je površina premazana (kaširana) impregnantom (smolom), koji ima dovoljno visoku poroznost i smanjuje silu „lepljenja“ prašine na površinu filtera.

Vlakna su često naigšana na jednoj ili obe strane tkanine, koja ima relativno malu gustinu niti po osnovi i potki. Tkanina igra ulogu armature. Poboljšava fizičko-mehanička svojstva vlaknovine, posebno jačinu na kidanje i raspučnu jačinu, te smanjuje istezanje.

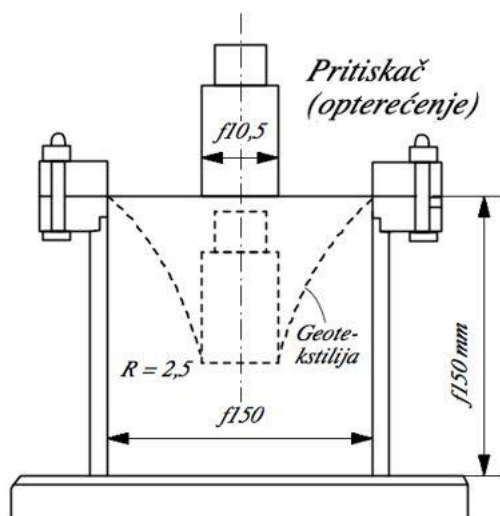
Iglane vlaknovine se koriste za zidne i podne obloge, za filtere u suvoj i mokroj filtraciji i u građevinarstvu, uglavnom kao geotekstil (za autoputeve, železnice, tunele, za konsolidaciju reka i potoka, drenaže itd.). Kao što vidimo, područje upotrebe iglanih vlakana je veoma široko i još uvek se povećava. Kao rezultat toga, učešće vlaknovina u ukupnoj proizvodnji ravnih tekstilnih proizvoda raste.

19.6.1.3. Lepljene vlaknovine

Pored iglanih, proizvode se i lepljene vlaknovine. One se uglavnom koriste u industriji odeće u obliku flizelina ili podloga - toplotnog izolacionog sloja. Tanki flizelini se obično dobijaju tačkastim toplotnim topljenjem vlakana, koja se usled toga međusobno slepe. Vlakna se mogu zalepiti uz pomoć smola i naknadne termičke obrade. Lepljeni slojevi vlaknovina u odeći obično nisu izloženi habanju i opterećenju. To se takođe odnosi na slojeve za punjenje (toplotnu izolaciju) u vrećama za spavanje, jorganima, prekrivačima, kao i na madrace, ako se kao punilo koriste vlaknovine. Lepljene vlaknovine se takođe koriste kao filter mediji, uglavnom u suvoj filtraciji. U tom slučaju filter-medij nije izložen velikim mehaničkim opterećenjima, tako da fizičko-mehanička svojstva ne igraju značajnu ulogu. U medicini se čak koriste u filterima za lice (maskama). Takođe se mogu koristiti u peščanim olujama, dimnom okruženju itd.

19.6.2. Ispitivanje fizičko-mehaničkih osobina vlaknovina

Kao što smo videli, upotreba vlaknovina je veoma raznolika i dalje se brojno povećava. Uslovi korišćenja su često veoma specifični. Metode ispitivanja su prilagođene tako da simuliraju uslove korišćenja. Pošto su moderne vlaknovine (iglane i lepljene) novijeg datuma, kao što je slučaj i sa povećanjem broja područja gde se primenjuju, razvijene su i metode ispitivanja. Neke još nisu verifikovane u obliku zvaničnih standarda. Iz tog razloga ćemo se ukratko pozabaviti nekim specifičnim metodama ispitivanja.



Slika 19-19: Način ispitivanja raspučne jačine kod vlaknovina

19.6.2.1. Prekidna jačina i istezanje

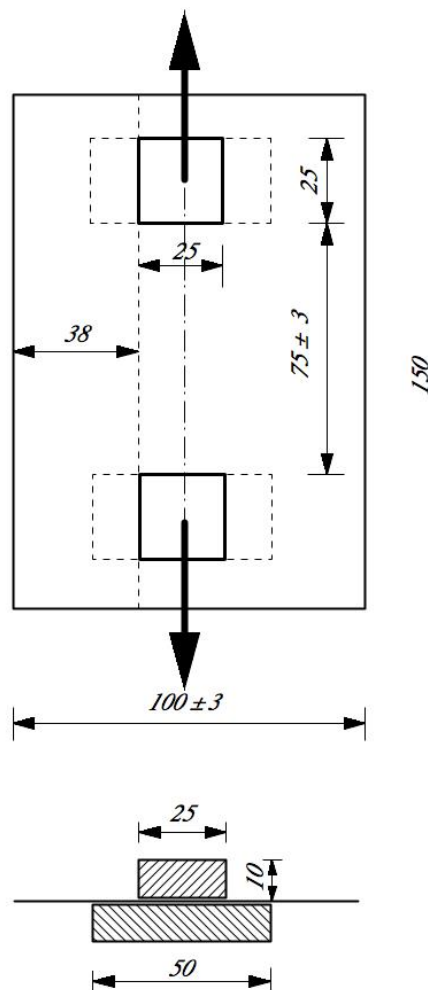
Prekidna jačina i istezanje se ne razlikuju od metode koja se koristi za tkanine. Uzorak ima delimično simuliramo neke uslove korišćenja vlaknovina u obliku cevi namenjene za filtraciju.

19.6.2.2. Raspučna jačina (Din 54307 E; ISO 13938-2)

Test jačine na pucanje (raspučne jačine) razlikuje se od konvencionalne metode koja se koristi za tkanine po dimenzijama ispitnog uzorka (slika 19-19). Ovom metodom se simulira stanje, u kojem se nalazi vlaknovina koja se koristi kao geotekstilija, kada se zategne iznad otvora i odozgo pritiska čvrstim predmetom - kamenom ili slično.

19.6.2.3. Rastrgavanje (DIN 53858; ASTM D 1682; EN 29073)

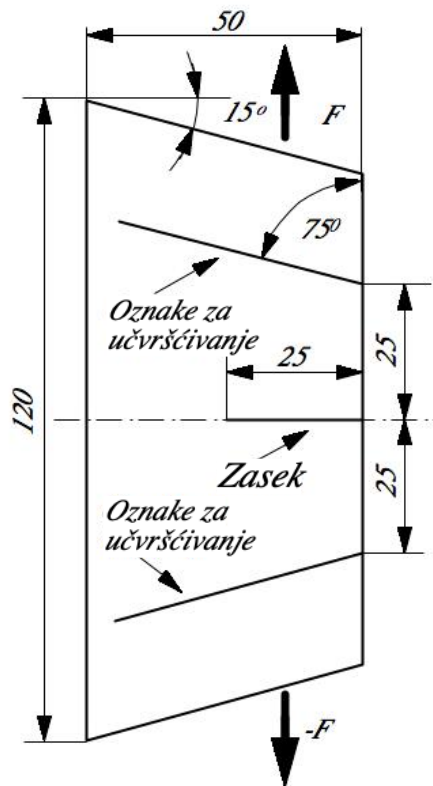
Vlaknovina se rastrgne i nastaje otvor između učvršćenih delova. Ova metoda simulira nejednako opterećenje vlaknovine (geotekstilije). U ovom slučaju opterećenje se ne prenosi samo uskim stegnutim delom vlakana, već se napon prenosi i na susednu površinu. Ovo je veoma dobra simulacija stvarnih uslova deformacije vlaknovine u slučaju neravnomernog opterećenja, duž njegove širine ili dužine.



Slika 19-20: Način učvršćenja uzorka i njegove dimenzije (mere) kod ispitivanja otpora na raskidanje (trganje)

19.6.2.4. Naknadno kidanje (DIN 53363; ISO 13937-1; ISO 13937-2)

Metoda ispitivanja je identična onoj kod tkanina, osim što su uzorku malo promenjene dimenzije (slika 19-21).



Slika 19-21: Način ispitivanja naknadnog trganja kod vlaknovina i dimenzije uzorka

19.6.2.5. Ispitivanje filtracijskih osobina

Osnovni parametri poroznosti se mogu odrediti Jakšičevom metodom za određivanje broja, veličine i raspdele pora (vidi Glavu 8.0). Međutim, udeo praznog prostora V_p u vlaknovinama koji nije zauzet vlaknima izračunava se pomoću sledeće jednačine:

$$V_p = (V_c - V_v)/V_c \quad (19.64)$$

gde su:

- V_c – celokupna zapremina praznog prostora;
- V_v - zapremina vode koja se istisne iz vlaknovine.

Udio V_p opada sa povećanjem pritiska kojem je vlaknovina izložena (slika 19-24). Prilikom ocene filtracionih osobina vlaknovine (geotekstilije), moramo uzeti u obzir vertikalnu i horizontalnu brzinu protoka kroz vlaknovinu pri određenim pritiscima.

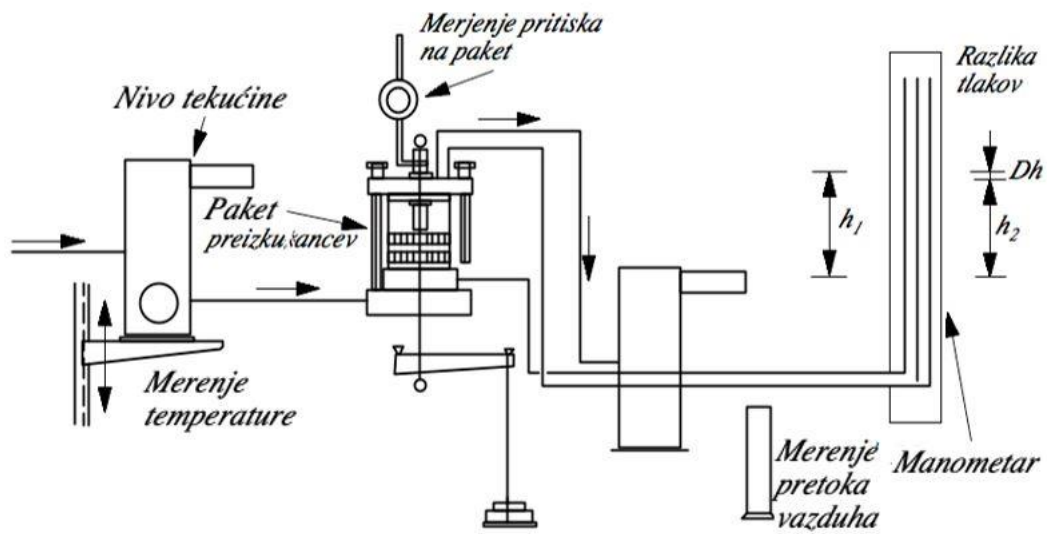
19.6.2.5.b. Brzina protoka u pravougaonom smeru na površinu vlaknovine

Ovom metodom se simulira protok vode okomito na površinu vlaknovine u slučaju kada je ona opterećena, kao na primer, sloj vlaknovine u podlozi autoputa u Ljubljanskim barama itd. Istovremeno, postoji određena razlika u pritiscima tečnosti (vode) na suprotnim površinama vlaknovine. Takva pojava može biti redovna posle pljuskova. Šema aparata je prikazana na slici 19-22. Probni uzorci su isečeni u krugove prečnika 14,5 cm. Veći broj uzoraka se naslaže jedan iznad drugog u glavu za ispitivanje brzine protoka. Ukupna debljina ispitnih uzoraka treba biti veća od 2 cm. Uzorke namačemo u vodi 24 sata pre početka ispitivanja. Ispitujemo pod pritiscima od 0,02 kN/m² do 2 kN/m². Ispitivanje se izvodi tako da smanjujemo debljinu ispitnog sloja brzinom manjom od 0,01 mm/5 min. Brzina protoka i debljina ispitnog sloja se mere na unapred odabranim pritiscima tako da se dobiju krivulje brzina protoka - pritisak, kao što je prikazano na slici 19-22. Koeficijent propusnosti ili specifični protok k_v izračunava se sledećom jednačinom:

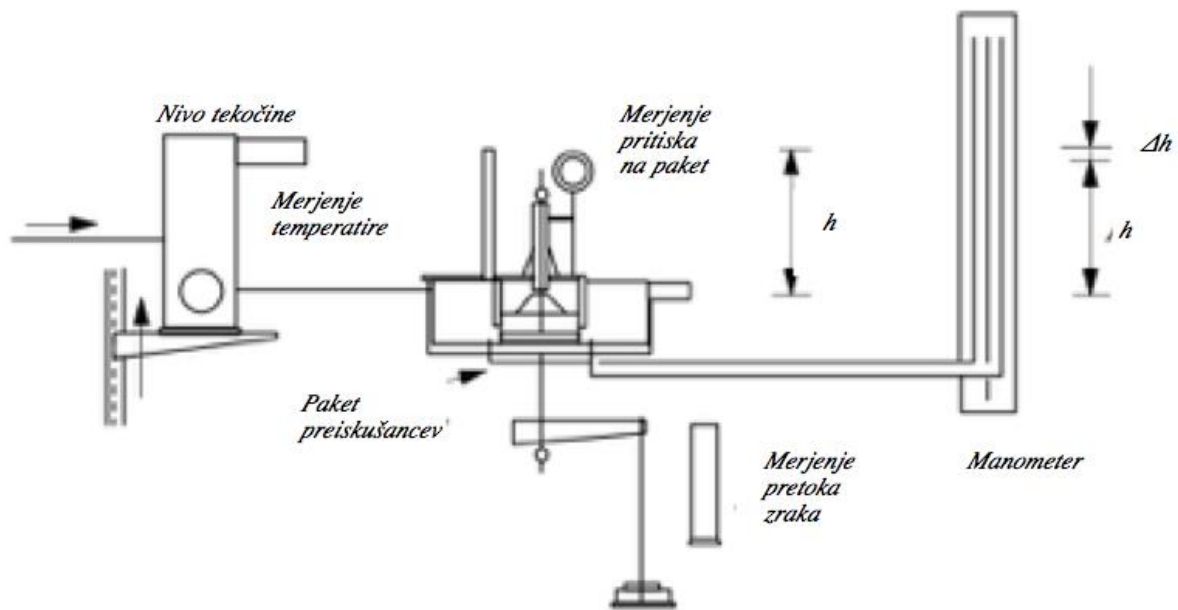
$$k_v = \frac{qd \frac{\eta_T}{\eta_{20}}}{\Delta h A} \quad (19.65)$$

gde su:

- k_v - koeficijent propusnosti vlaknovine (geotekstilije) na 20 °C, cm/s;
- q - zapreminska brzina protoka vode kroz ispitni sloj, cm³/s;
- A - - površina geotekstilije kroz koju teče voda, cm²;
- d - - debljina ispitnog sloja kao funkcije pritiska, cm;
- Δh - - razlika u pritiscima vode na suprotnim površinama slojeva uzoraka - visina vodenog stuba, cm, koja je obično 157 Pa (1,6 cm VS);
- η_T/η_{20} - - odnos dinamičke viskoznosti vode koju ima u trenutku ispitivanja na temperaturi T i dinamičke viskoznosti vode na 20 °C.



Slika 19-22: Aparatura za određivanje vrednosti koeficijenta permeabilnosti kV



Slika 19-23: Aparatura za određivanje vrednosti koeficijenta permeabilnosti kH (specifične brzine protoka uzduž vlaknovine)

19.6.2.5.c. Brzina protoka duž površine vlaknovine

Uređaj je prikazan na slici 19-23. Kod ove metode naslažemo više uzoraka za ispitivanje jedan preko drugog dok ne dostignu debljinu veću od 2 cm. Ispitni uzorci su isečeni na pravougaonike dimenzija 10 x 16,5 cm; prema tome, imaju površinu od 165 cm². Voda teče u pravcu duž stranice uzorka. Površina, kroz koju teče voda, jednaka je proizvodu širine uzorka (10 cm) i debljine slojeva ispitnih uzoraka. Koeficijent permeabilnosti (propusnosti) ili specifična brzina protoka k_H se izračunava sledećom jednačinom:

$$k_H = \frac{ql \frac{\eta_T}{\eta_{20}}}{\Delta h db} \quad (19.66)$$

gde su:

- k_H - koeficijent permeabilnosti (propustljivosti) vlaknovine (geotekstilije) na 20 °C uzduž površine, cm² / s);
- l - dužina sloja uzorka po kojima teče voda, cm;
- b - širina sloja uzorka cm; ostali parametri imaju isto značenje kao u jednačini (19.65).

Kod ove metode koristimo vrednost $\Delta h = 3,2$ kPa (33 cm VS). Zapreminski udeo V_p se takođe može izračunati sledećom jednačinom:

$$V_p = \frac{dlb\gamma}{G} - 1 \quad (19.67)$$

gde su:

- d - debljina uzorka, cm;
- l - dužina uzorka, cm;
- b - širina uzorka, cm;
- γ - gustina vlaknovine, g/cm³;
- G - masa suvog uzorka, g.

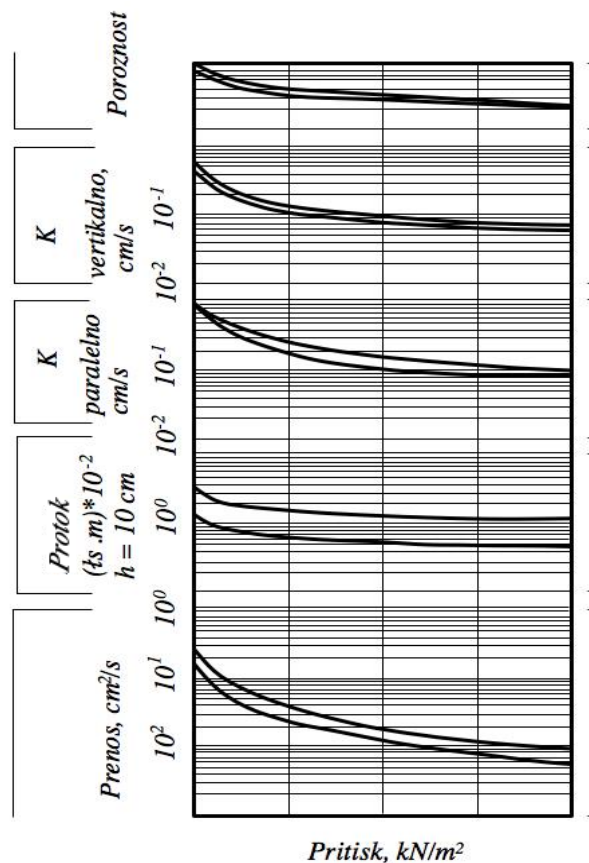
Takođe možemo izračunati transmisivnost (prenos) T u cm²/s, uzimajući u obzir samo jedan sloj vlaknovine debljine d_1 :

$$T = k_H d_1, \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} \quad (19.68)$$

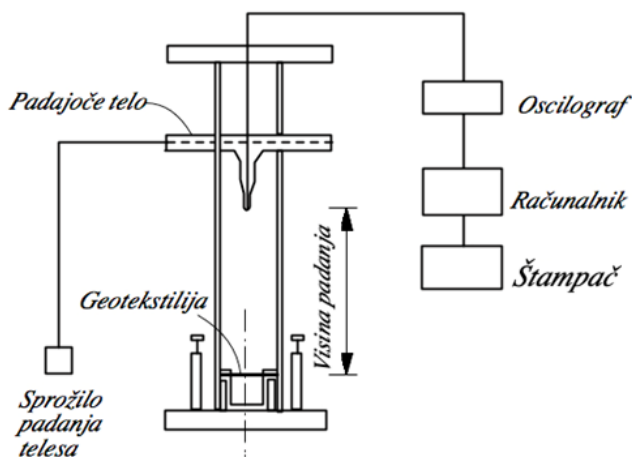
Na slici 19-24 prikazane su promene vrednosti v_p , k_v , k_H , Q (1/s. m²) kod $h = 980$ Pa = 10 cm VS) i T u zavisnosti od pritiska na vlaknovinu izraženog u kN/m².

19.6.2.6. Probiranje

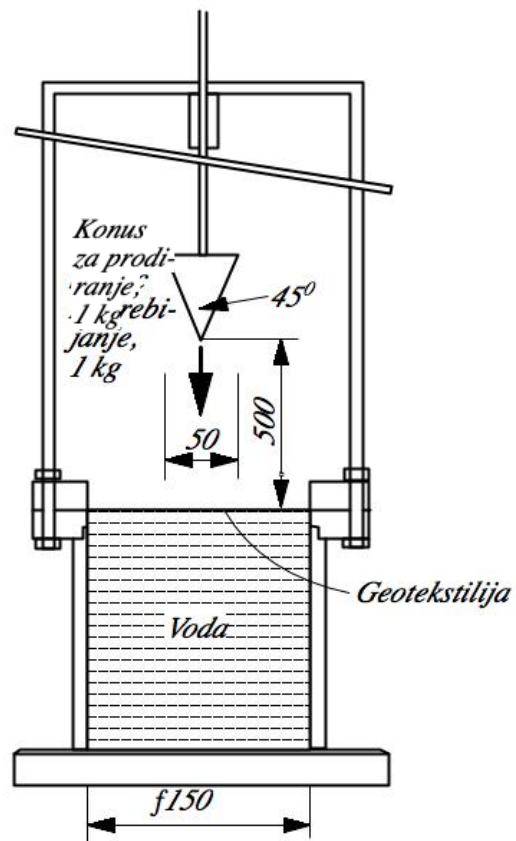
Princip metode je prikazan na slici 19-25. Otpor na prodiranje se određuje pomoću prečnika rupe (otvora) koji napravi telo od 1 kg sa koničnim vrhom. Nedostatak ove metode je taj što je teško precizno odrediti prečnik otvora zbog elastičnosti vlaknovine. Bolja je metoda koja ima elektronsku sondu za merenje snage i energije i koja je povezana sa računarom. Princip metode je prikazan na slici 19-26. Na slici 19-27 prikazane su krivulje sila-istezanje i jačina-vreme delovanja sile.



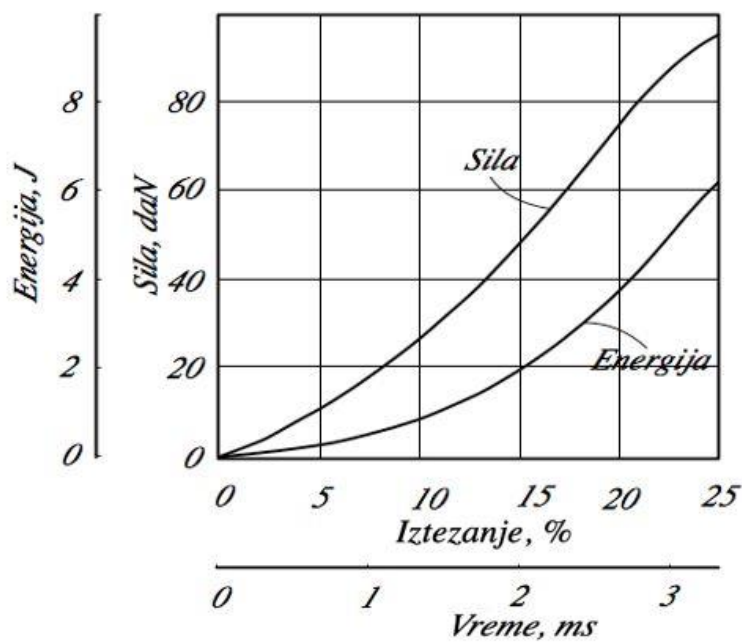
Slika 19-24: Promena vrednosti nekih parametara filtracije u zavisnosti od pritiska kod vlaknovine Polyfert TS, koju proizvodi firma „Chemie Linz” GA



Slika 19-26: Šema elektronske aparature za određivanje otpora vlaknovine protiv prodiranja



Slika 19-25: Način funkcionisanja aparature za određivanje otpora vlaknovine protiv prodiranja



Slika 19-27: Primer toka promene rezultata (snaga, energija i rastezanje) za vreme ispitivanja otpora vlaknovine protiv prodiranja koje ustanovljavamo elektronskom aparaturom

Literatura

1. Direktiva 2001/95/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 3. decembra 2001 o splošni varnosti proizvodov. Uradni list L 011, 15/01/2002: 4–17.
2. Hearle J. W. S., Grosberg P., Backer S. 1969. Structural mechanics of fibers, yarns, and fabrics. New York, Wiley-Interscience: 469 str.
3. Peirce F. T. 1930. The “handle” of cloth as a measurable quantity. Journal of the Textile Institute Transactions 21 (9): T377-T416.
4. Novikov N. G. 1946. O stroenii i proektirovanii tkani s pomoschu geometricheskogo metoda. Tekstil'naja promyshlennost' 2: 9–17.
5. Lin H., Zeng X., Sherburn M., Long A. C., M. Clifford M. J. 2012. Automated geometric modelling of textile structures. Textile Research Journal 82 (16): 1689–1702.
6. Shherbakov V. P., Bolotnyj A. P., Cyganov I. B., Poljakova T. I., Tulanov Š. E. .2016. Eksperimentanije zakonomernosti deformirovanija holopkovih prjaži pri rasteženii. Tehnologija tekstilnoj promyšlenosti 4 (364): 63–67.
7. Teixeira N. A., Platt M. M., Hamburger W. J. 1955. Mechanics of Elastic Performance of Textile Materials: Part XII: Relation of Certain Geometric Factors to the Tear Strength of Woven Fabrics. Textile Research Journal 25 (10): 838–861.
8. Triki E., Vu-Khanh T., Nguyen-Tri P., Boukehili H. 2012. Mechanics and mechanisms of tear resistance of woven fabrics. Theoretical and Applied Fracture Mechanics 61 October: 33–39.
9. Munden, D. L. 1959. The Geometry of a knitted fabric in its relaxed condition. Hosiery Times, April: 43.
10. Hearle J. W. S., Grosberg P., Backer S. 1969. Structural mechanics of fibers, yarns, and fabrics. New York, Wiley-Interscience: 445–448.
11. Smirfitt J. A. 1965. Worsted 1 × 1 rib fabrics. Part I. Dimensional properties. Journal of the Tekstile Institut 56 (5): T248-T259.

20. OSNOVE SISTEMA BOJA

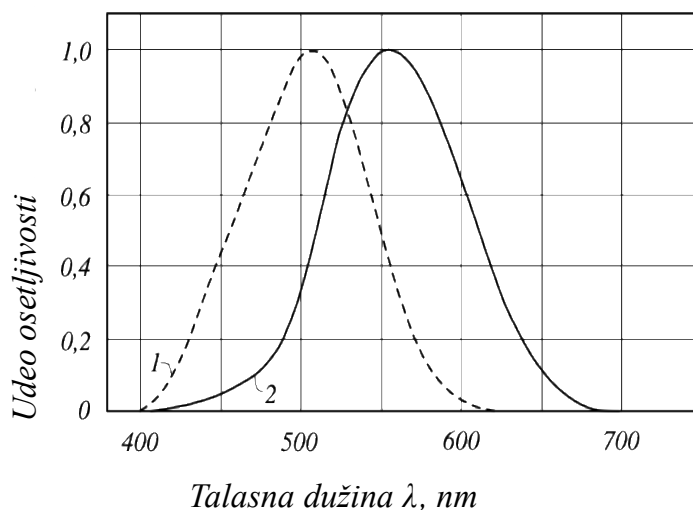
20.1. Opšte

Njutn je prvi dokazao da se bela vidljiva svetlost sastoji od spektra boja. Na levoj strani spektra (manja talasna dužina) nalazi se ultraljubičasta. Na desno slede: ljubičasto plava, zelena, žuta, crvena i infracrvena. Vidljiva svetlost, samo mali deo elektromagnetnih talasa, približno je između 380 i 780 nm. Levo od vidljivog dela spektra nalazi se ultraljubičasto područje, područje X i Y zraka, a na kraju tog dela su kosmički zraci s talasnom dužinom od 10^{-4} nm i manje. Na desnoj strani vidljivog dela spektra je prethodno spomenuto infracrveno područje talasnih dužina do približno 10^5 nm. Dalje je područje ultra visokih frekvencija i radio talasa. Kad kažemo vidljivi deo spektra, uvek mislimo na područje, koje registruje ljudsko oko. Neki insekti vide samo u ultraljubičastoj svetlosti, neke životinje registruju infracrvenu svetlost. To se uglavnom odnosi na noćne životinje.

Nećemo ulaziti u detalje strukture ljudskog oka. Možemo samo reći da ono razlikuje veliki broj tonova i nijansi boja, omogućava stereo percepciju, delom je prilagodljivo noćnom svetlu, ima moć fokusiranja i osetljivo je samo u uskom intervalu elektromagnetnih talasnih dužina. Ovo znači da smo, i pored velikog potencijala očne strukture, u mnogo čemu uskraćeni. Međutim, pomoću posebnih uređaja moguće je videti i u infracrvenom svetlu, odnosno noću. Živi organizmi emituju infracrvene talase, što se odnosi i na delove mašina koje zagrevavaju motori.

Ova činjenica se koristi i u vojne svrhe. U tamnoj noći moguće je promatrati pokrete neprijatelja, ali samo u infracrvenom području spektra. Da bi se to izbeglo, koriste se maskirne uniforme štampane u različitim bojama (zelena, maslinasto zelena, tamno smeđa, svetlosmeđa itd.). Međutim, ove boje moraju imati različit odboj (refleksiju) u infracrvenom području. Na taj način promatranje u infracrvenom svetlu daje razbijenu konturu korisnika maskirne uniforme i zbog toga ga posmatrač ne doživljava kao kompaktnu figuru, već kao manje komade površine koji emituju različit intenzitet svetlosti u infracrvenom delu spektra. Pored maskiranja u infracrvenom delu spektra, maskirna uniforma mora prikrivati i u vidljivoj svetlosti. To je moguće ako pojedini delovi površine maskirne uniforme reflektuju svetlost iste talasne dužine kao i okruženje. U tom se slučaju barem deo siluete subjekta „stapa“ sa okolinom i oko siluetu ne doživljava kao celinu.

Pored senzora za boje, postoje još dve vrste senzora u oku: čepići i štapići. Prvi su osetljivi na dnevnu svetlost, drugi se aktiviraju u mraku kada je svetlost veoma slaba. Na slici 20-1 prikazana je osetljivost jednih i drugih u zavisnosti od talasne dužine. Čepići, koji su osetljivi na dnevnu svetlost reaguju na zrake talasne dužine od 400 do 700 nm, najosetljiviji su na svetlost talasne dužine od 550 do 560 nm, gde imaju efikasnost 100 %. Štapići, međutim, registruju svetlost talasne dužine od 400 do 620 nm i imaju maksimalnu osetljivost na svetlost talasne dužine između 500 i 520 nm.



Slika 20-1: Relativna spektralna osjetljivost čepića 1 i štapića 2 u zavisnosti od talasne dužine svetlosti

20.2. Teorije mešanja bojene svetlosti i boja

20.2.1. Teorija mešanja obojene svetlosti

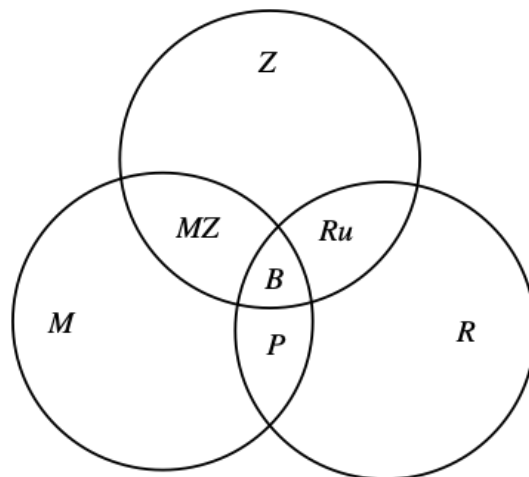
Kao što je već spomenuto, bela dnevna svetlosti koje se mogu razdvojiti u spektru boja. U stvari, mi dobijamo belu svetlost mešanjem tri osnovne boje (crvene, plave i zelene) u jednakim omjerima. Teorija mešanja svetlosti u boji prikazana je na slici 20-2.

Mešanje zelene i plave svetlosti u jednakim omjerima daje plavo-zelenu svetlost; plava i crvena daju ljubičastu svetlost. Crvena i zelena daju žutu. Kao što je spomenuto ranije, mešavina sve tri osnovne obojene svetlosti daje belu svetlost ako su udeli jednaki. Praktično se postavlja pitanje kako kvantifikovati (opisati) boju? Najpovoljnije je ako su sve vrednosti parametara, koji karakterišu određenu boju, izraženi u numeričkom obliku.

Brojevi sami po sebi nisu dovoljni da daju subjektivnu predstavu o boji; za usporedbu su potrebni određeni etaloni. Parametre kojima se može opisati određena boja moraju registrovati naše oči. Već 1853. godine je Grasman (Judd D.B. i saradnici.,.: „Boja u biznisu, nauci i industriji“) [1] postavio principe koji su pružali kvalitativne informacije o mešanju triju osnovnih boja.

Prvi princip kaže da ljudsko oko razlikuje tri promenljive koje opisuju boju: promenu nijanse (odsaj) boje, promenu blistavosti boje i promenu zasićenosti boje. Drugi princip kaže da, ako ne promenimo količinu dveju boja u smesi od tri boje, već stalno menjamo količinu ili udeo treće boje, mešavina će se takođe stalno menjati.

Treći princip kaže da mešavina tri boje, koje imaju iste nijanse, blistavost i zasićenost, daju jednake efekte u smesama, bez obzira na njihov spektralni sastav. Savremena kolorimetrija zasniva se na ovom principu. To znači da se mešavina boja određuje na osnovu boja koje je čine, bez obzira na njihov spektralni sastav. Iz ovoga se izvode sledeći važni zaključci:



Slika 20-2: Teorija mešanja bojene svetlosti

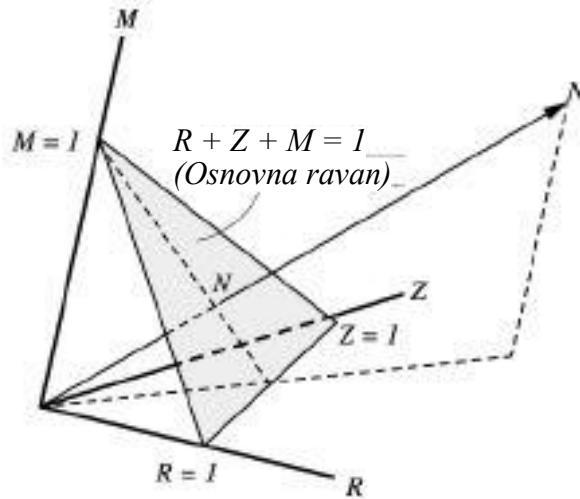
(Z - zelena; R - crvena; M - plava; B - bela; MZ – plavo- zelena; Ru - žuta; P - ljubičasta)

Prvo, ako u dva sredstva, koja daju jednaku boju, dodamo druga dva sredstva jednake boje, dobićemo mešavinu koja ima nepromenjenu boju. Odnosno, ako stimulatoru (tvari, koja daje određenu boju) a dodamo stimulator b, a stimulatoru c dodamo stimulator d, dobićemo smesu koja ima isti učinak kao i smjesa b i d. Isto je i za mješavinu a i c. To je ekvivalentno aritmetičkom aksiomu koji kaže da ako se istome doda isto, rezultat je isti (nepromenjen).

Drugo, ako imamo stimulare iste boje (nijanse), i jedan ili drugi uzmemo iz mešavine jednake boje, ta mešavina boja još uvek ostaje. To znači, ako stimulatoru a dodamo stimulator b, a smesi c dodamo smesu d, dobije se ostatak s tim da ako iz smese c odstranimo a, dobija se isti efekt boje kao kad bi stimulator b uklonili iz smese d. Ovo bi bilo ekvivalentno matematičkom aksiomu koji kaže da ako istom oduzmemo isto, dobijamo isto (rezultat se ne menja).

Treće, ako jedinica jednog stimulatora ima istu boju kao jedinica drugog stimulatora, onda bilo koji broj jedinica ili delova jedinice jednog stimulatora ima istu boju kao i isti broj jedinica ili delova jedinice drugog stimulatora. To znači da povećanje ili smanjenje blistavosti, koja označava veličinu dvaju stimulatora jednake boje, pod uslovom da se njihova spektralna raspodela ne menja, neće promeniti njihovu zajedničku mešavinu boja. To je ekvivalentno aritmetičkom aksiomu koji kaže da ako iste vrednosti podelimo i pomnožimo sa istim brojem, rezultat je uvek isti (nepromenjen).

Prethodno se u prostoru može ilustrovati boja čije su koordinate predstavljene sa tri osnovne boje: crvena - R, plava - M i zelena - Z. Ako se ove tri osnovne boje pomešaju u jednakim delovima, dobija se neutralna ili bela boja - N. Na slici 20-3 prikazan je prostor boja omeđen sa tri osnovne boje (teorija mešanja svetlosti boja). Pored toga, nacrtana je osnovna ravnina na kojoj je $R + M + Z = 1$, kao i vektor neutralne boje - N.



Slika 20-3: Osnovna ravan i neutralna boja N u prostoru boja, koji je ograničen sa tri stimulatora boja R, M i Z

Prilikom združivanja tri osnovne boje R, M i Z dobijemo rezultantu boju S. Neutralna boja je samo jedna od velikog broja mogućih položaja vektora S.

$$R = \sum_{i=1}^n R_i; \quad M = \sum_{i=1}^n M_i; \quad Z = \sum_{i=1}^n Z_i \quad (20.1)$$

Mešavinu više boja možemo izraziti sledećom jednačinom:

$$\vec{S}(R, M, Z) = R\vec{R} + M\vec{M} + Z\vec{Z} \quad (20.2)$$

Ako imamo dvokomponentnu smešu čije su komponente S_1 i S_2 , tada je dobijena smeša S_0 jednaka vektorskom zbiru komponentata ($S_0 = S_1 + S_2$). To je prikazano na slici 20-4. Na slici 20-5 prikazana je osnovna ravnina ($R = 1; M = 1; Z = 1$) prostora boja omeđena četverbojnim stimulansom (R, M i Z), naznačenim u uglovima trougla. Tačka S je hromatska tačka sa hromatskim koordinatama r, m i z boje S na toj osnovnoj površini. Takva površina se naziva hromatski dijagram. Može se dokazati da se hromatične koordinate r, m i z boje S daju izraziti skalarnim vrednostima primarnih boja.

$$r = \frac{R}{R+M+Z}; \quad m = \frac{M}{R+M+Z}; \quad z = \frac{Z}{R+M+Z} \quad (20.3)$$

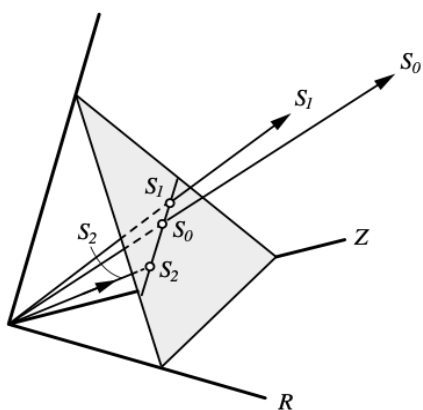
Iz jednačine (20.3) sledi:

$$r + m + z = 1 \quad (20.4)$$

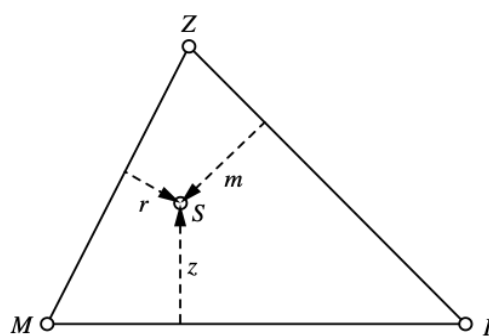
Iz jednačine (20.4) proizlazi da je dovoljno znati vrednosti dveju hromatskih koordinata da bi se odredio položaj dominantne boje S, jer se treća hromatska koordinata može izračunati jednačinom (20.4). Geometrijski, vektor S_0 na slici 20-4 je zbir vektora S_1 i S_2 . Sva tri vektora leže na ravnini koja preseca osnovnu ravninu prostora boja na linijama S_1 , S_0 i S_2 . Tačke S_0 , S_1 i S_2 nazivamo

hromatskim tačkama boja S_0 , S_1 i S_2 Osnovna ravnina naziva se hromatski dijagram (slika 20-5). Hromatski dijagrami su osnova metode specifikacije boja, koju upotrebljava CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) - Međunarodna komisija za osvetljenje. Prostor boja je ograničen koordinatama X, Y, Z koje predstavljaju osnovne boje. Hromatske koordinate su x, y, z.

Primer hromatskog dijagrama x, y u prostoru boja prikazan je na slici 20-6. Spektralne boje su unutar bele površine. U donjem desnom dnu nalazi se ljubičasta linija. Prikazani su i položaji svih boja S(λ) spektralnih stimulatora, koji imaju talasnu dužinu λ i konstantnu blistavost. Boja E prolazi kroz hromatski dijagram na E ($x = y = 1/3$). Ovo je boja koja ima istu energiju svih stimulatora.



Slika 20-5: Sabiranje dveju mešavina boja S_1 i S_2 iz kojih rezultira mešavina boja S_0

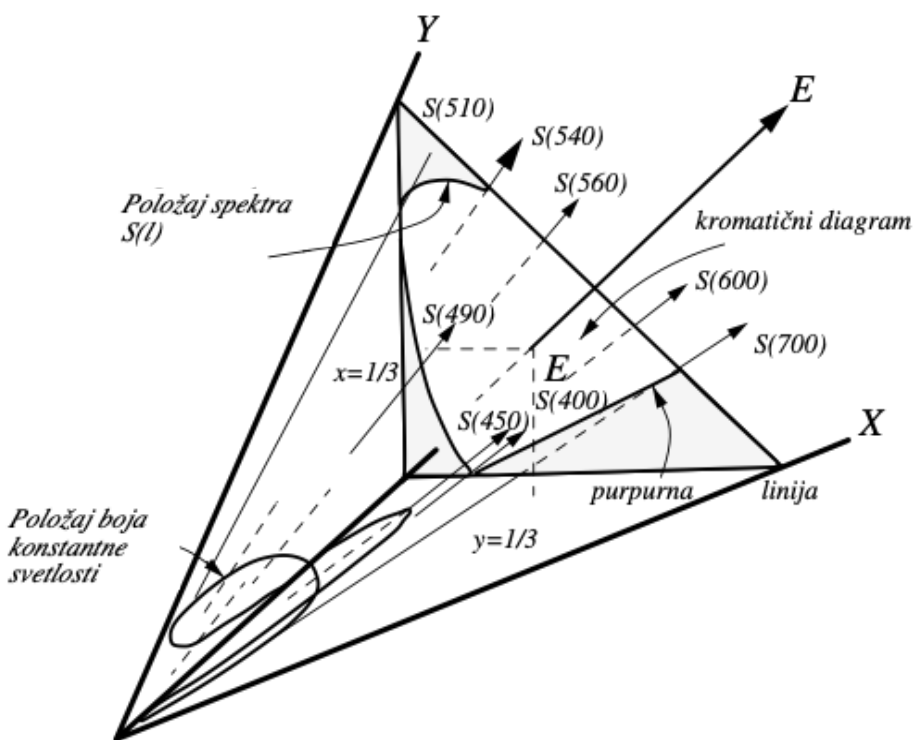


Slika 20-4: Hromatski dijagram

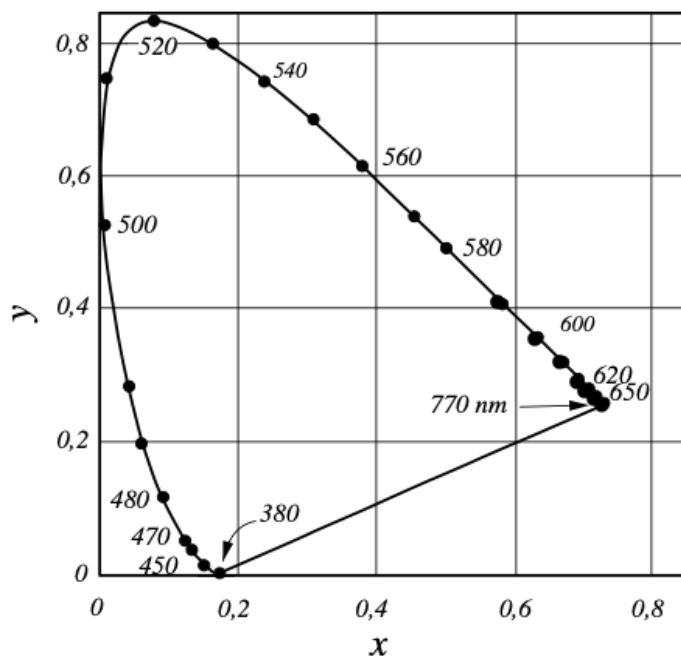
U stvari, CIE (MKO) koristi hromatske dijagrame u ravnini prikazanoj na slici 20-7. Na apscisi su vrednosti hromatske koordinate x, a na ordinati vrednosti hromatske koordinate y. Boje su unutar granice na kojoj su označene talasne dužine spektralnih boja u nm.

Precizan položaj boja na hromatskom dijagramu, izražen količinski talasnom dužinom i hromatskim koordinatama, može se naći u tabelama. U njima su talasne dužine u intervalu od 380 nm do 780 nm (vidljivi deo svetlosnog spektra) i to u intervalima od 5 nm. Pojedini delovi tabela su prikazani u

tabeli 20-1. Od 700 do 780 nm hromatske koordinate nemaju istu vrednost ($x = 0,7347$; $y = 0,2653$; $z = 0,000$). Tablice se odnose na hromatski dijagram (slika 20-7)



Slika 20-6: Primer hromatskog dijagrama po metodi, koju koristi CIE



Slika 20-7: Hromatski dijagram x, y , sa spektralnim poljem (unutar granične linije) i ljubičastom linijom dole desno (vidi sliku 20-6)

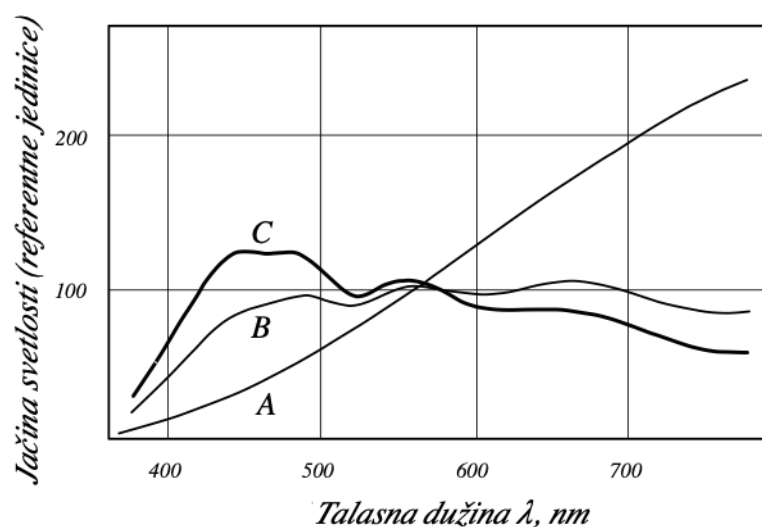
Tabela 20-1: Hromatske koordinate spektralnih stimulatora CIE iz 1931 godine

	Hromatske koordinate, $x(\lambda)$	Hromatske koordinate, $y(\lambda)$	Hromatske koordinate, $z(\lambda)$	Talasna dužina, nm	Hromatske koordinate, $x(\lambda)$	Hromatske koordinate, $y(\lambda)$	Hromatske koordinate, $z(\lambda)$
380	0,1741	0,0050	0,8209	530	0,1547	0,8059	0,0394
385	0,1740	0,0050	0,8210	535	0,1929	0,7816	0,0255
390	0,1738	0,0049	0,8213	540	0,2296	0,7543	0,0161
395	0,1736	0,0049	0,8215	545	0,2658	0,7243	0,0099
500	0,0082	0,5384	0,4534	575	0,4788	0,5202	0,0010
505	0,0031	0,6548	0,3413	580	0,5125	0,4866	0,0009
510	0,0139	0,7502	0,2359	585	0,5448	0,4544	0,0008
515	0,0389	0,8120	0,1491	590	0,5752	0,4242	0,0006
520	0,0743	0,8338	0,0919	595	0,6029	0,3965	0,0006

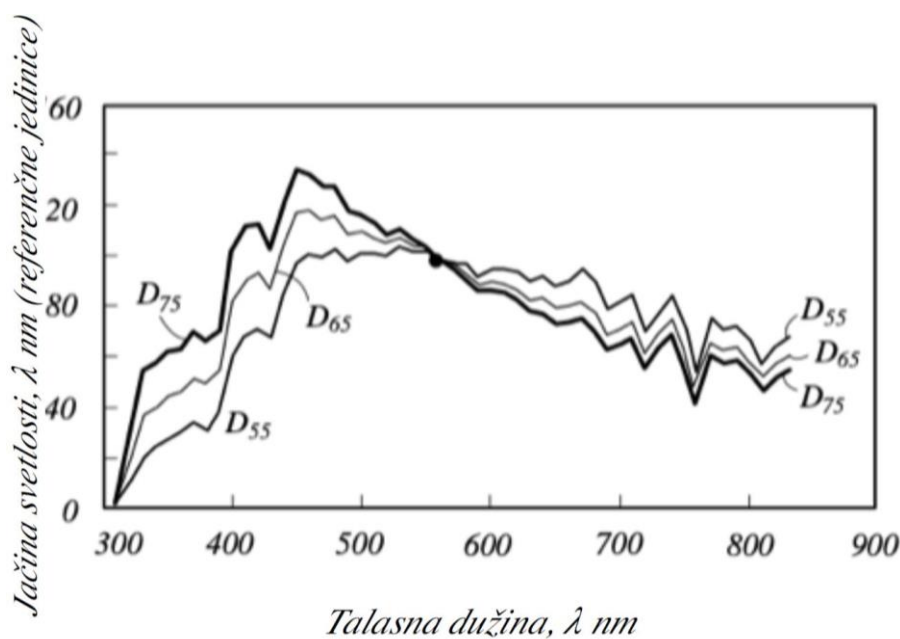
Za kolorimetriju CIE koristi standardne izvore svetla A, B, C, D_{55} , D_{65} i D_{75} . Sa standardizovanom svetlošću se mogu odrediti udeli funkcija raspodelom relativne spektralne jačine kombinovanih boja. Izvor boje A (slika 20-8) predstavlja svetlost zračećeg tela na apsolutnoj temperaturi od 2.856 K. Standardno zračeće telo B oponaša prirodnu svetlost sunca u korelaciji s bojom koju daje temperatura tela na 4.870 K. Standardno zračeće telo C oponaša prosečnu dnevnu svetlost bojom koju daje temperatura tela na 6.770 K.

Snaga zračenja u dogovorenim jedinicama izvora A, B i C, u zavisnosti od talasne dužine, data je na slici 20-8. Izvori D oponašaju dnevnu svetlost pod određenim uslovima. Oni u proseku simuliraju dnevnu svetlost u korelaciji s bojom, koju daje temperatura tela na 6.500 K. Jačina zračenja izvora D, kao funkcija talasne dužine, data je na slici 20-9. Detaljnije objašnjenje može se naći u odgovarajućoj literaturi [1].

Kao što vidimo, metoda koju CIE koristi za određivanje spektralnih boja i njihovih smesa, temelji se na talasnim dužinama i vrednostima hromatskih koordinata. Ali postojala je potreba da se razmotri fiziološki i psihološki uticaj boje i mešavine boja na potrošača. Kao rezultat toga, razvijeno je nekoliko sistema poređenja boja ili pozicioniranja boje u obojenom telu, uzimajući u obzir sve parametre koji se mogu upotrebiti za opis određene boje ili mešavine boja, uzimajući u obzir čak belu i crnu, ili različite nijanse sive. O ovim sistemima ćemo detaljnije govoriti kasnije.



Slika 20-8: Raspodela relativne spektralne jačine sevanja



Slika 20-9: Raspodela spektralne jačine izvora D55, D65 in D75 po CIE standardu

20.2.2. Pigmentna teorija mešanja boja

Pigmenta teorija temelji se na rezultatima dobijenim mešanjem boja ili obojenih pigmentata. Mešanje crvene i zelene svetlosti daje žuto svetlo. Ako kombinujemo žutu i plavu, dobijamo belu, ako kombinujemo primarne svetlosne boje (crvena, zelena i plava) u jednakim proporcijama, dobićemo belu.

Rezultati su drugačiji kod pigmentnih boja. Za pigmente su primarne boje žuta, crvena i plava. Mešajući crvene i zelene pigmente, nastaje mutno smeđi ili zelenkasti pigment. Mešanje obojenih pigmentata stvara efekat boje koji nastaje apsorpcijom određenih talasnih dužina upadne svetlosti. To

znači, mešanjem dva različito obojena pigmenta dobijamo određenu boju smeše, koja se razlikuje od boje pigmenata jer smeša reflektuje drugačije zrake boja nego njene komponente

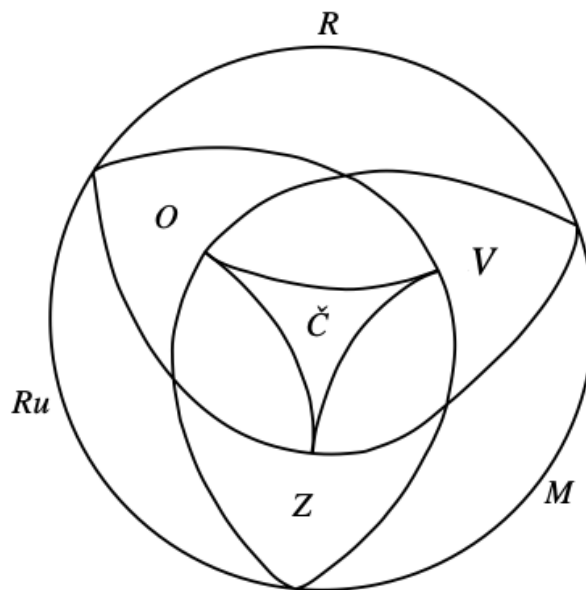
Spektar apsorpcije obojenog tela daje boje koje se reflektuju od tela. Poznato je da pigmenti žute i plave boje reflektuju zelenu svetlost. Mešajući ova dva pigmenta praktično će mešavina apsorbovati svu upadnu svetlost osim zelenih zraka. Tako plavo obojen pigment apsorbuje crvene, narandžaste i žute zrake svetlosti. Žuti pigment, međutim, apsorbuje ljubičaste i plave svetlosne zrake. Ako se pomešaju pigmenti plave i žute boje, smeša će reflektovati zeleno obojenu svetlost, odnosno smeša će u prostor emitovati zelene svetlosne zrake.

Svetlost koju odbijaju sve komponente pigmentne smeše daje boju te smeše. Što se više reflektivnih zraka preklapa, boja je blistavija. Međutim, ako je malo odbijenih zraka zajedničkih za sve komponente smeše, boja takve smeše će biti mutnija. Mešavina crvenih i žutih pigmenata odbija narandžastu svetlost koja je blistavo obojena. To je zato što crvena odbija malo žute, a žuta malo crvene. Zraci koje reflektuju crveni i zeleni pigment preklapaju se u žutoj, narandžastoj i crvenoj svetlosti, ali je količina svake od njih mala tako da iz ove smeše nastaje nijansa prljave braon boje. Efekti dobijeni mešanjem obojenih pigmenata mogu se dobro objasniti Brusterovom teorijom [2], koja je prilagođena upotrebi boja u procesu bojenja neke supstance. Prema ovoj teoriji, crvena, žuta i plava su primarne boje jer se ne mogu dobiti mešanjem pigmenata koji su obojeni u druge boje.

Mešajući primarne boje u različitim proporcijama i dodajući crno i belo obojene pigmente, mogu se dobiti sve ostale boje. Boja dobijena mešanjem dvaju pigmenata, koji su obojeni u primarne boje, naziva se komponovanom bojom. Mešajući dve osnovne boje dobijaju se sekundarne boje. Mešanje dve sekundarne boje rezultira tercijskim bojama. Primer mešanja i klasifikacije boja prikazan je u Tabeli 20-2.

Tabela 20-2: Klasifikacija boja

Primarne	Sekundarne	Tercijarne
Crvena	zelena (iz mešavine žute i plave)	roze (iz mešavine ljubičaste i narandžaste)
Žuta	ljubičasta (iz mešavine crvene i plave)	limun žuta (iz mešavine zelene i narandžaste)
Plava	narandžasta (iz mešavine crvene i žute)	maslinasto zelena (iz mešavine zelene i purpurne)



Slika 20-10: Pigmentna teorija mešanja boja
(*R* - crvena, *O* - oranž, *V* - ljubičasta, *Č* - crna, *Ru* - žuta, *M* - plava, *Z* - zelena)

20.3. Modeli sistema boja

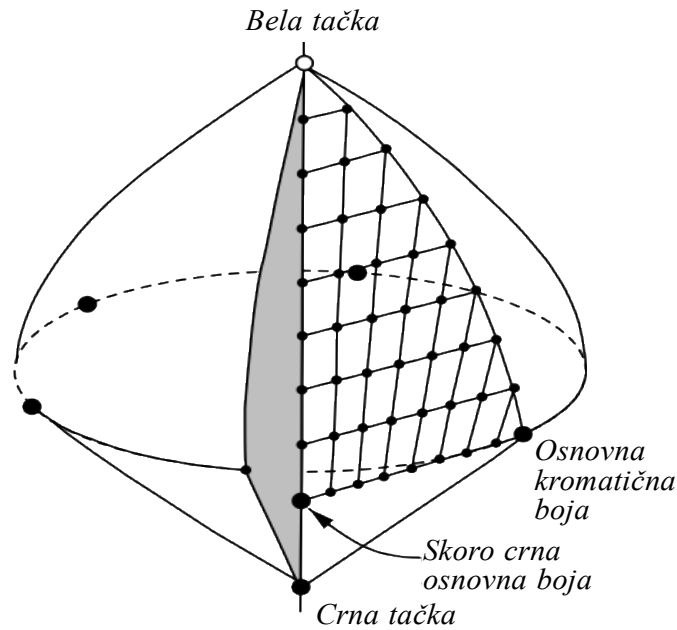
Sistem CIE (MKO) je osnovni sistem zasnovan na fizičkim parametrima spektralne svetlosti. Stoga je moguće kvantitativno, pomoću fizičkih parametara, opisati određenu boju. Za to koristimo mernu tehniku. Međutim, u praktičnom životu je postojala potreba za jednostavnijim sistemom, koji bi omogućio određivanje vrednosti određenih parametara, koji dovoljno precizno opisuju boju, naročito sa psihološke tačke gledišta

Kao posledica praktičnih potreba, razvijeno je nekoliko različitih sistema, kao što su: sistem poređenja [3, 4], Nu-Hue Custom Color System [5], Munselov sistem [6], nemački sistem [7], švedski sistem [8, 9], sistem pravilne romboedarske rešetke [10, 11, 12], itd. Mi ćemo se nekima od ovih sistema pozabaviti detaljnije. Termin primarna boja smo koristili u teoriji mešanja obojene svetlosti i teoriji mešanja pigmentnih boja. Kod sistema boja, međutim, koristićemo termin osnovna boja.

20.3.1. Nu-Hue Color Custom System

Ovaj sistem sadrži 1000 karti boja (etalona). To je sistem mešanja boja koji je razvijen iz šest primarnih boja, jedne boje koja je veoma blizu crne i jedne bele. Devet različitih mešavina sa belom bojom je prikazano u obliku mape.

Na periferiji najtamnije mape se nalaze 54 nijanse. Na ovom nivou postoji devet prstenova oko neutralnog centra. Svaki prsten diskova boja pripada postepenim smešama šest osnovnih boja blizu crne tačke. Svaka sledeća svetlija mapa ima jedan prsten manje, tako da na početku imamo 9 prstenova, a vrh je bez prstena. Ovaj sistem je prikazan na slici 20-11.



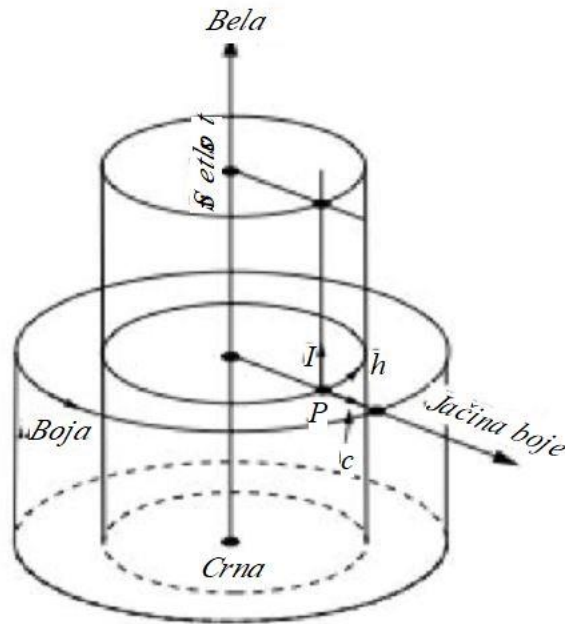
Slika 20-11: Telo boje, u kome su sve mape i u mapama sve karte boja, koje pripadaju Nu-Hue Color Custom Systemu

20.3.2. Munselov sistem boja

Kao što vidimo na slici 20-12, ovaj sistem se takođe može prikazati u obliku tela boja. Cilindri različitog prečnika se mogu konstruisati oko crno-bele ose (siva skala). Boja je određena pomoću tri parametra: svetline, snage i nijanse. Svetlina boje se povećava od crne ka beloj tački naviše, odnosno od donje ka gornjoj bazi cilindra (obojenog tela). Dakle, u određenoj mešavini je uvek više belog a manje crnog pigmenta. Snaga boje se povećava kad idemo od neutralne crno-bele ose prema spoljnjem omotaču cilindra. Na površini vanjskog omotača cilindra treba da budu čiste boje. Nijansu boje menjamo putujući oko cilindra.

Prilikom promene vrednosti pojedinog parametra moramo uzeti u obzir činjenicu da su preostala dva parametra konstantna. Slika 20-12 nije dovoljna da u potpunosti objasni Munselov sistem boja. Neophodno je prikazati presek boje (konstantna nijansa) - vertikalni presek kroz obojeno telo. Jedna ivica preseka boje je uvek crno-bela - središte obojenog tela.

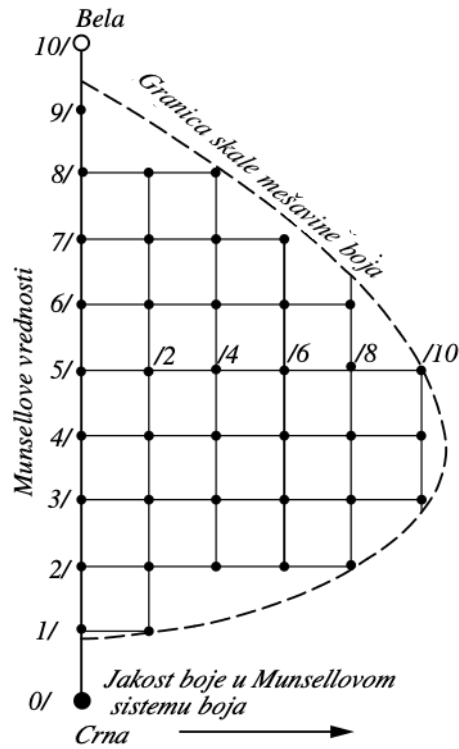
Ona je u Munselovom sistemu boja (slika 20-13) podeljena na deset delova. Ovo se takođe odnosi na zasićenost boja (radijus cilindra), barem na najvećem prečniku tela u boji (slika 20-14).



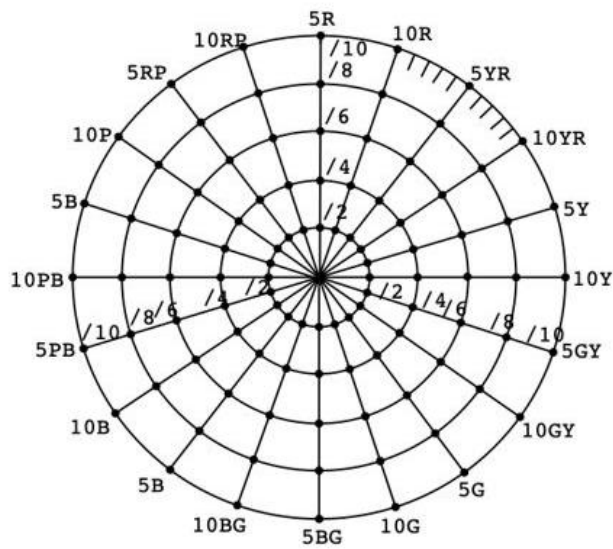
Slika 20-12: Geometrijski model tela boje Munsellovog sistema boja

Kao što se vidi iz preseka boja (slika 20-13), obojeno telo nema oblik cilindra, već približno oblik jajeta. Presek sa najvećim prečnikom se može nazvati krugom boja, na čijoj su kružnici čiste zasićene boje. Takvih preseka može biti deset, tako da je deseti presek bela tačka. Krug boja na slici 20-14 odnosi se na visinu N5. Munselov sistem boja je podeljen u deset delova (slika 20-13). Ovo se takođe odnosi na zasićenost boje (radijus cilindra), makar na najvećem prečniku obojenog tela (slika 20-14). Kao što se može videti na slici 20-14, u Munselovom sistemu se koristi pet osnovnih boja (crvena - R, žuta - Y, zelena - G, plava - B i ljubičasta - P). Ovaj pristup nije u skladu sa pigmentnom teorijom mešanja boja jer za osnovne boje koristi sve tri primarne boje i dve sekundarne boje.

Sistem poseduje kolekciju od 1.450 karata boja koje obuhvataju 40 različitih nijansi. Lokacija boje u obojenom telu precizno se određuje vrednošću tri prethodno spomenuta parametra. Na primer, boja sa oznakom 2.5YR5/10 znači žuto-crvena boja na polovini puta između 10R i 5YR na krugu boja (slika 20-14). Prvi broj, dakle, označava poziciju na krugu boja, slova označavaju boje, brojnik (broj 5 /) označava položaj na skali sive (slika 20-13), a nazivnik (slika 20-13 i 20-14) označava udaljenost posmatrane boje od ose tela. Broj /10 označava maksimalno moguće rastojanje ili maksimalnu jačinu boje (bez primesa bele ili crne boje) na preseku 5/. Struktura obojenog tela Munsellovog sistema boja prikazana je na slici 20-15. Na slici 20-16 prikazan je presek 5/ Munsellovog sistema boja na CLE hromatskom dijagramu. Munselov sistem boja koristi se prvenstveno u Sjedinjenim državama Amerike.

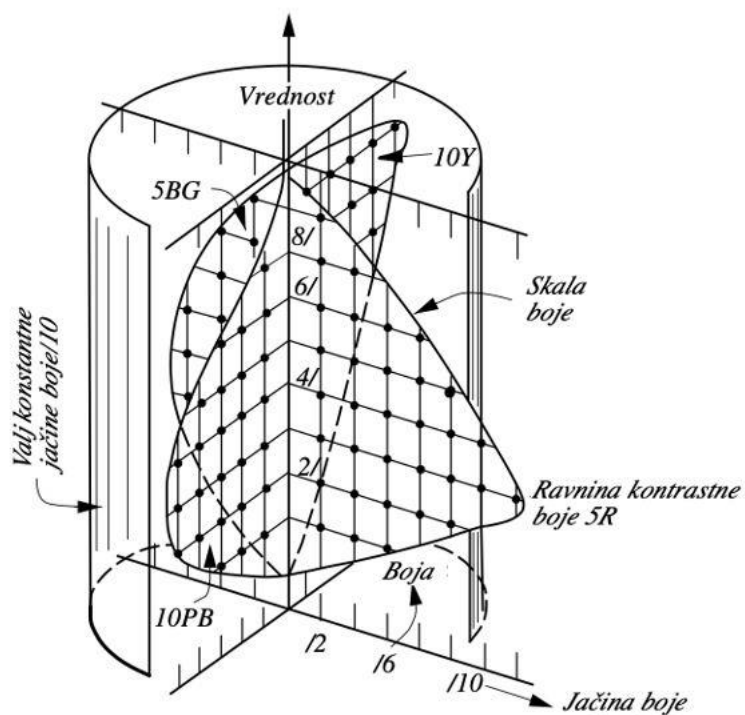


Slika 20-14: Presek boja kod Munsellovog sistema boja

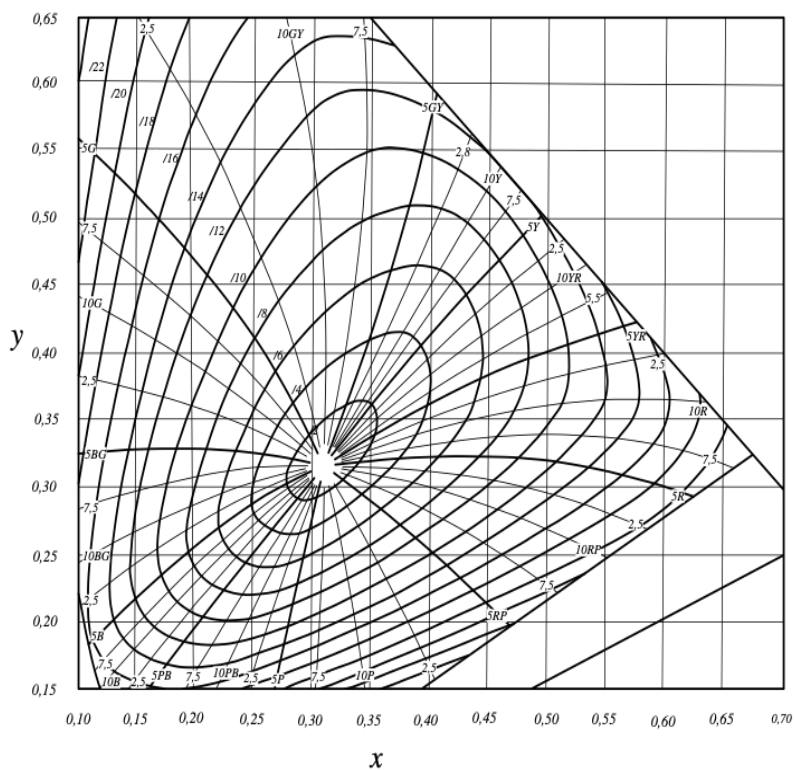


Slika 20-13: Krug boja kod Munsellovog sistema boja

R - crvena, Y - žuta, G - zelena, B - plava, P - ljubičasta, YR - žuto-crvena, GY - zeleno-žuta, BG - plavo-zelena, PB - ljubičasto-plava



Slika 20-15: Struktura tela boje Munselovog sistema boja



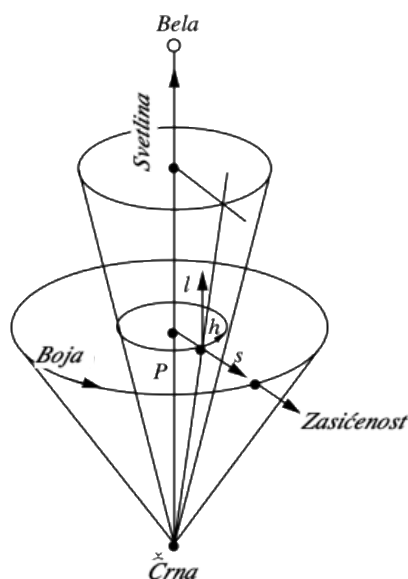
Slika 20-16: Prikaz preseka 5/ Munselovog sistema boja na CIE hromatskom dijagramu

20.3.3. Nemački sistem boja

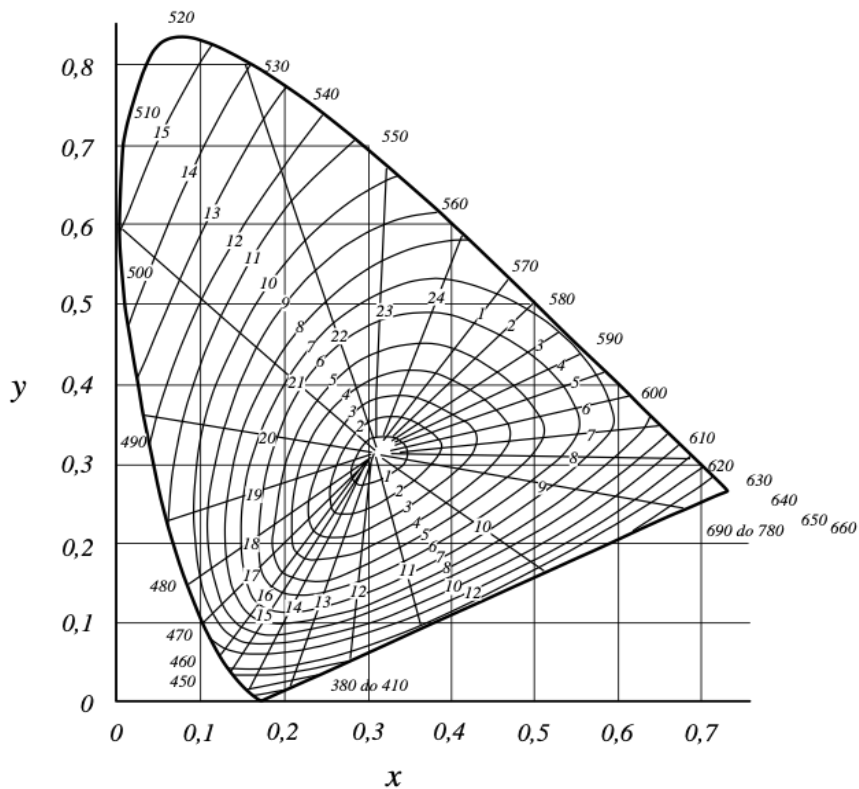
Nemački sistem boja predstavljen je na slici 20-17. Kao što vidimo, boja u ovom sistemu je određena nijansom (h), zasićenošću (P) i briljantnošću boje (l). Sve boje koje leže na površini određenog konusa, koji ima vrh u crnoj boji, imaju istu zasićenost. Boje koje leže na određenom preseku imaju istu nijansu. Zasićenje boje se menja kada se krećemo od površine konusa prema crno-belom osovini tela, pošto se povećava sadržaj sive (mešavina bele i crne). Svetlina boje ostaje nepromenjena.

U stvari, telo boja nemačkog sistema boja sastoji se od dva konusa. Jedan konus ima vrh u crnoj, a drugi u beloj boji. U sredini tela (ekvatora) imamo na krugu preseka čiste boje s najvećom jačinom boje - krug boja.

Ovaj sistem ima 24 preseka boja, koji su prikazani kao ravne linije iz središta neutralne boje C (na slici 20-18). Krivulje oko centra C predstavljaju krivulje konstantne zasićenosti boje. Bez obzira na broj nepravilnih kružnica oko tačke C, sistem ima samo osam nivoa zasićenja. Najmanje zasićeno područje je na krivulji 1, koja je najbliža tački C, koja leži na crno-belom osi tela. Najzasićenije područje je na krivulji 8. Ovaj sistem zasnovan je na Ostvaldovom krugu boja, u kome su sledeće boje: crvena, narandžasta, žuto-zelena, zelena, plavo-zelena, plava i ljubičasta. U ovom krugu boja zelena leži naspram crvene i plava naspram žute, što nije u skladu sa položajem boja u krugu boja, koji je zasnovan na pigmentnoj teoriji mešanja boja (slika 20-10).



Slika 20-17: Geometrijski model tela boja nemačkog sistema boja

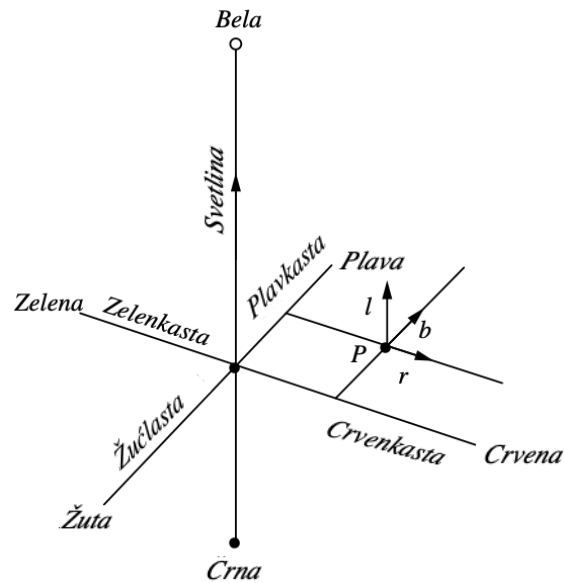


Slika 20-18: Prikaz nemačkog sistema boja po CIE x , y hromatskom dijagramu

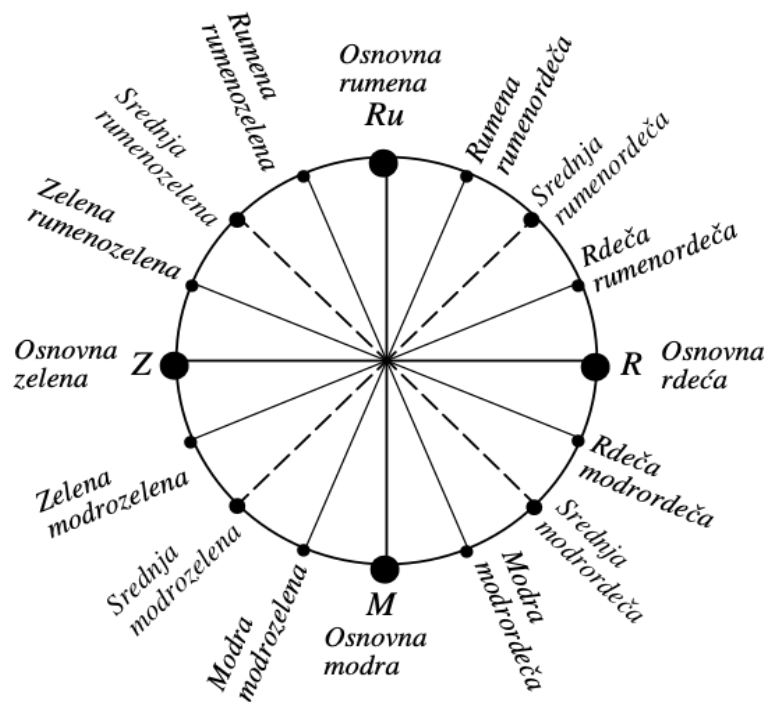
20.3.4. Švedski prirodni sistem boja

Geometrijski model ovog sistema je prikazan na slici 20-19. Kao što se vidi sa ove slike, ovaj model ima šest osa (šest osnovnih boja). Od toga su četiri bojene (crvena, žuta, zelena i plava), a dve neutralne (crna i bela). Takođe, ni ovaj sistem nije u saglasnosti sa pigmentnom teorijom, jer zelena nije primarna boja, nego sekundarna. Ovaj sistem čini najmanje 16 rezova boja. U njima su obuhvaćene četiri osnovne boje, sredine između njih i sredine osnovne boje te sredine među osnovnim bojama. To se može videti iz podele kruga boja (slika 20-20). Navedene četiri osnovne boje zapravo predstavljaju, u teoriji mešanja bojene svetlosti, tri primarne i jednu sekundarnu (žutu) boju, pošto je žuta naspram plave.

Telo boja (slika 20-21) se sastoji od dva konusa. Jedan ima vrh u crnoj, a drugi u beloj boji. Međutim, telo nije simetrično u odnosu na crno-belu osovinu tela. Konusi se dodiruju u tački koja predstavlja žutu boju. Zbog toga je presek boja kroz žutu boju trougao. Kroz druge boje, presek boja nema oblik trougla. U ovim presecima postoje područja prevelike zasićenosti boja (slika 20-22). U previše zasićenim područjima, određena količina tamno sive boje dodata je istoj boji. To znači da u previše zasićenim područjima imamo tamne tonove crvene, plave ili zelene boje. Parametri, koji se koriste za određivanje boje u švedskom prirodnom sistemu su: svetlina, čistoća i zasićenost. Svetlina boje se povećava kako idemo od crne ka beloj, kao što je prikazano na preseku boja (slika 20-23), jer je u boji, bez obzira koliko je udaljena od neutralne crno-bele ose, uvek manje crne i uvek više bele. Izuzetak je vrh preseka boje, gde je boja čista. Ovaj vrh leži na kružnici kruga boja na najširem delu obojenog tela. Na kružnici kruga boja su čiste spektralne boje.



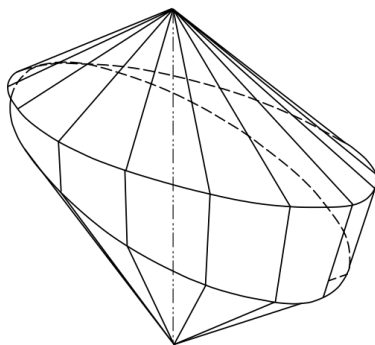
Slika 20-19: Geometrijski model švedskog prirodnog sistema boja



Slika 20-20: Krug boja kod švedskog prirodnog sistema boja

(**Ru** osnovna rumena - **Ru** osnovna žuta , rumena rumenordeća - žuta žuto-crvena, srednja rumenordeća -srednja žuto-crvena, rdeća rumenordeća - crvena žuto-crvena, **R** osnovna rdeća - **R** osnovna crvena, rdeća modrordeća - crvena plavo-crvena, srednja modrordeća - srednja plavo-crvena, modra modrordeća - plava plavo-crvena, **M** osnovna modra - **M** osnovna plava, modra modro-zelena - plava plavo-zelena, srednja modro-zelena - srednja plavo-zelena, zelena modro-zelena - zelena plavo-zelena, **Z** osnovna zelena , zelena rumenozelena - zelena žuto-zelena, srednja rumenozelena-srednja žuto-zelena, rumena rumenozelena-žuta žuto-zelena)

Kroz središte kruga boja prolazi crno-bela osa obojenog tela. Jačina boje se povećava kada se udaljavamo od crno-bele ose obojenog tela (slika 20-24). Time se smanjuje udeo sive boje u mešavini. Maksimalnu jačinu boja dostiže na kružnici kruga boja. Čistoća boje raste kada idemo od crne ka pravoju, koja povezuje belu sa čistom bojom; ali prave konstantne čistoće su paralelne sa gore pomenutom pravom preseka boja na kojoj je čista spektralna boja (slika 20-25).



Slika 20-21: Telo boja švedskog prirodnog sistema boja

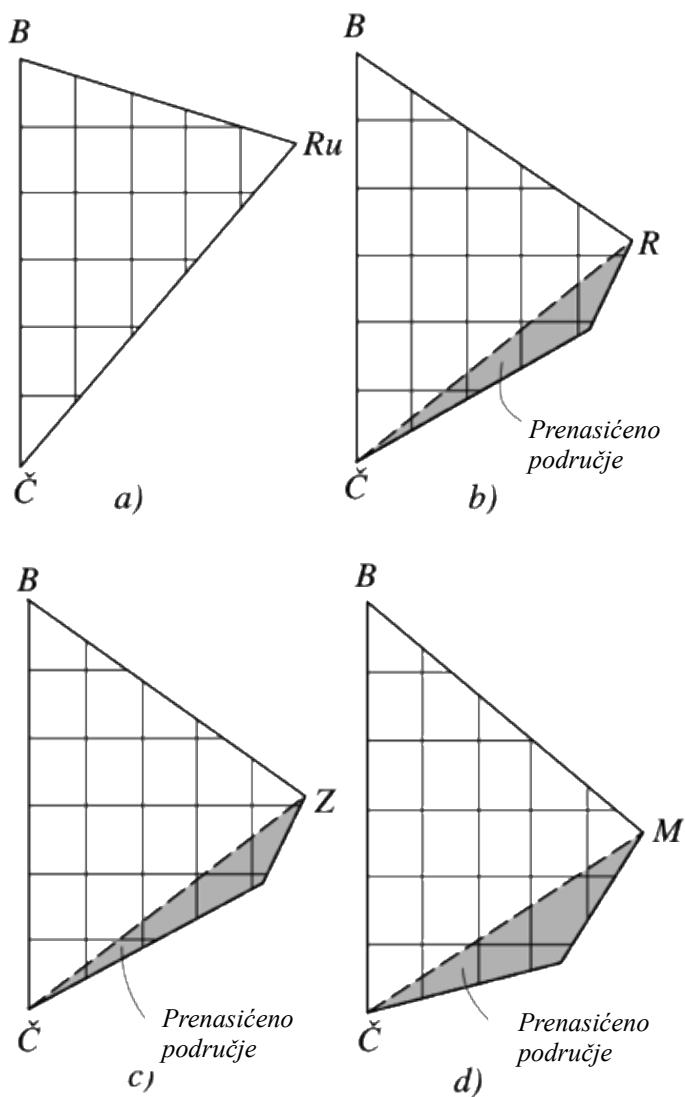
Prave konstantne zasićenosti su prikazane na preseku boja (slika 20-26). Sve linije se sastaju u tački koja predstavlja crnu boju i šire se lepezasto. Najmanje zasićene boje, odnosno mešavina određene spektralne boje i sive, u blizini su crno-bele ose. Zasićene boje su na isprekidanoj pravoj koja povezuje crnu i čistu spektralnu boju. Ispod ove prave imamo posla sa previše zasićenim bojama. To se odnosi na crvenu, zelenu i plavu i njihove mešavine. Isto važi i za mešavine crvene i žute, te zelene i žute. Kada idemo od crvene ka žutoj, područje prevelike zasićenosti se postepeno smanjuje. Ne postoji područje prevelike zasićenosti kod čiste žute boje. Najveće područje prevelike zasićenosti je na preseku boja plave boje. To se može videti iz oblika obojenog tela (slika 20-21) i iz preseka boja spektralnih boja (slika 20-22).

Položaj boje u telu boja se može odrediti pomoću kruga boja i preseka boja. Na slici 20-27a prikazano je obojeno telo. Na slici 20-27b je prikazan krug boja na kome je ZZM boja koja ima maksimalnu jačinu boje, dok slika 20-27c prikazuje ZZM boju koja je manje čista i manje jaka nego na slici 20-27b jer ima znatan udeo tamno-sive boje.

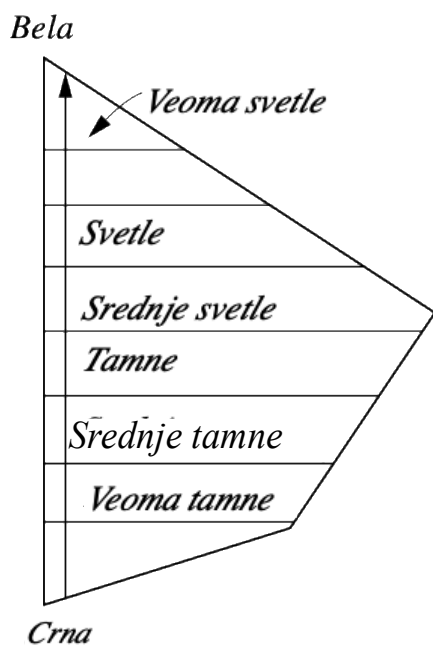
Očigledno je da je teško predstaviti pravi položaj boja na krugu boja, posebno ako imamo dve ili više boja. Pored ostalog i zato što je obojeno telo nepravilnog oblika. Iz tog razloga identifikujemo boju na krugu boja na kojem leže osnovne boje (glavni krug boja). Ostali parametri boje (svetlina, čistoća, jačina i zasićenost) mogu se odrediti iz odgovarajućeg preseka boja. To znači da prikazujemo sve boje i mešavine boja u jednom krugu boja; osnovni parametri svake boje prikazuju se u presecima boja.

S obzirom na međuzavisnost dveju boja, u švedskom prirodnom sistemu boja poznajemo tri stanja: identitet, indiferenciju i polaritet. Ako se boje nalaze u istom kvadrantu kao što je prikazano na slikama 20-29a i 20-29b, tada čine identitet, jer pripadaju dvema osnovnim bojama, koje slede jedna

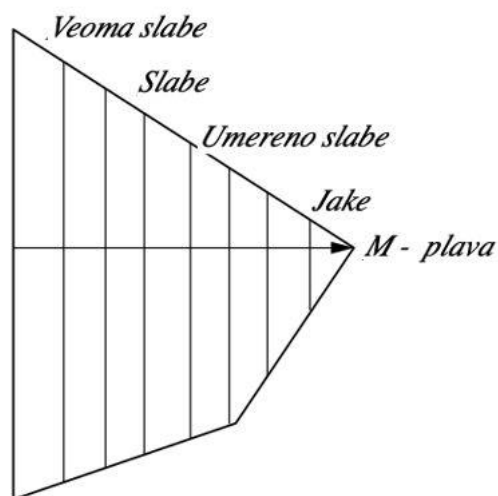
drugu u krugu boja. U našem slučaju (slika 10-29) to su žuta i crvena boja. Ako boje leže u susedna dva kvadranta, oni formiraju indiferenciju (slike 20-30a i 20-30b i 20-30e). U ovom slučaju se svaka boja sastoji od dve osnovne boje, ali tako da imaju jednu komponentu boje zajedničko. Na slici 20-30 je to žuta boja.



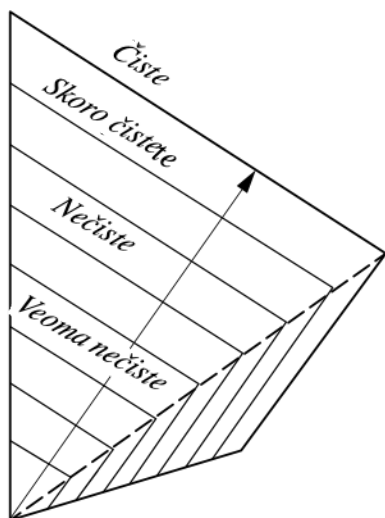
Slika 20-22: Preseci boja za osnovne boje
 a)- žuta, b) - crvena, c) - zelena, d) - plava
 (B-bela, Č-crna, M-plava, Ru-žuta, R-crvena, prenasičeno območje-prenasičeno područje)



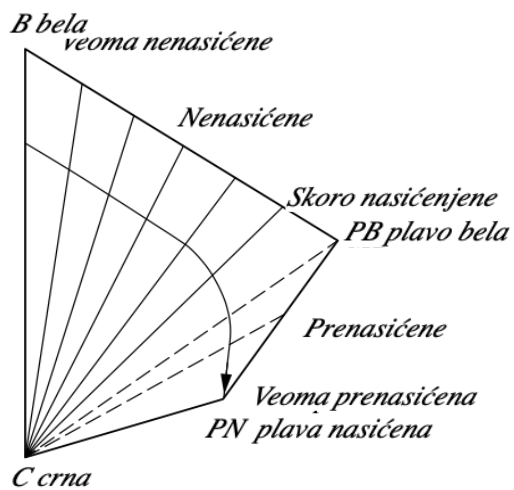
Slika 20-23: Prikaz svetline boje na preseku



Slika 20-24: Prikaz jačine boje na preseku boja



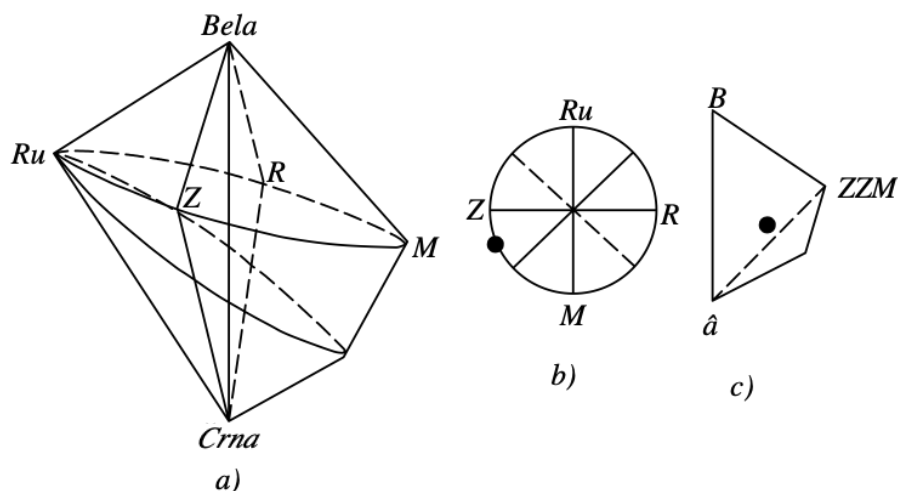
Slika 20-25: Prikaz čistoće boje na preseku boja



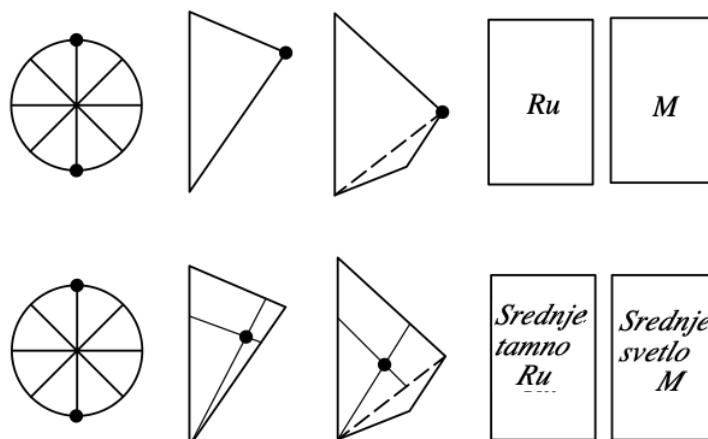
Slika 20-26: Prikaz nasićenosti boje na preseku boja

Ako se boje nalaze u suprotnim kvadrantima, a nemaju zajedničku boju, to se naziva polaritetom (slike 20-31a i 20-31b). U ovom slučaju su zastupljene sve četiri osnovne boje, po dve u svakoj boji. U svim gore navedenim slučajevima pretpostavlja se da nijedna od dve posmatrane boje nije osnovna boja, mada mogu biti vrlo bliske osnovnoj boji.

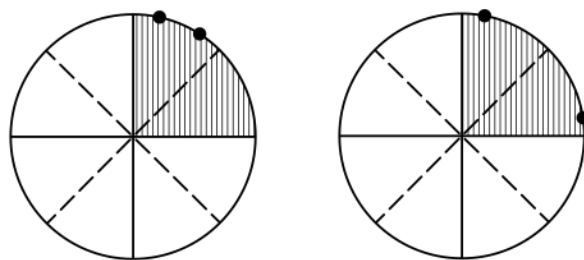
Švedski sistem boja naziva se prirodnim zbog psihološkog efekta boja. Polazeći od pigmentne teorije mešanja boja, ovaj sistem nije prirodan, već je veštački konstruisan tako da je prilagođen psihološkom iskustvu korisnika.



Slika 20-27: Određivanje položaja boje u telu boja
 a) telo boja; b) krug boja; c) presek boja.
 (Ru - žuta, M - plava, Z - zelena, R - crvena, ZZM – zelena zeleno-plava)



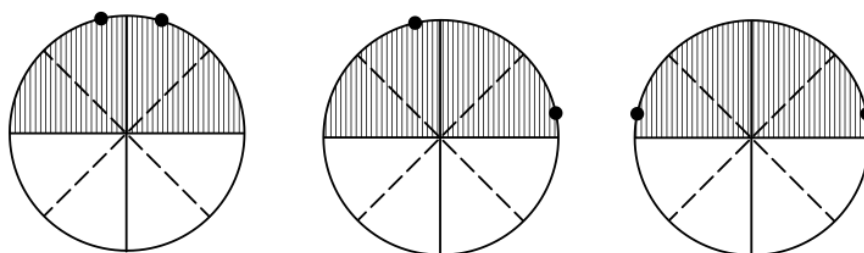
Slika 20-28: Identifikacija boja
 Ru – srednje tamnožuta, M – srednje svetloplava



a)

b)

Slika 20-29: Identitet boja

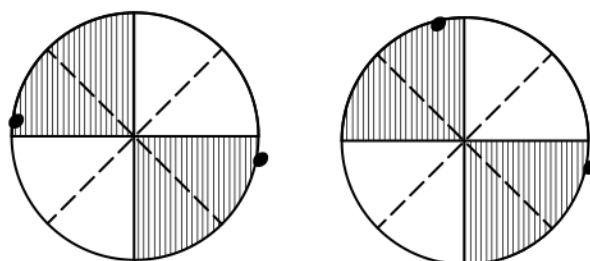


a)

b)

c)

Slika 20-30: Indiferentnost boja



a)

b)

Slika 20-31: Polaritet boja

20.3.5. Prikaz prostora boja objekta u regularnoj romboederskoj rešetki

Ako želimo objektivno prikazati sistem boja u potpuno jednoličnom prostoru boja, moramo koristiti takvu šemu koja ne koristi lestvice nijansi, tonova, zasićenja ili nekih elemenata švedskog sistema boja. Ako koristimo takve parametre, moramo koristiti polarni koordinatni sistem, kao što je prikazano na slici 20-12. Tačno je da je uzduž kružnica razmak jednak, a promene nijansi takođe uzduž pravih, ton se menja od centra ka kružnici, dok stepen razlike između susednih boja raste kako se udaljavamo od sive boje (centar kruga).

Kod švedskog prirodnog sistema boja, razlika između susednih osnovnih boja nije ista. Na primer, ako podelite područje između žute i crvene na deset delova (ravnomerna promena boje ili nijanse od

žute do crvene) i pritom su sjaj, zasićenje ili ton konstantni, treba vam 20 Odo 50 jednakih koraka od osnovne crvene do osnovne plave da biste napravili jednake promene nijanse ili boje.

Regularna romboedarska mreža (slika 20-32) je najprikladnija za jednoličan prikaz boja u prostoru boja. Ovo telo se dobija sečenjem uglova kocke do polovine svake ivice. Stoga su uglovi od A do L na slici 20-32 formirani na polovini ivica prethodno pomenute kocke. Svaki ugao okružen je sa šest drugih koji se nalaze na istoj udaljenosti od njega. Takođe, svi uglovi su podjednako udaljeni od centra tela O. To jest, uglovi od A do L leže na sferi čiji je centar u tački O.

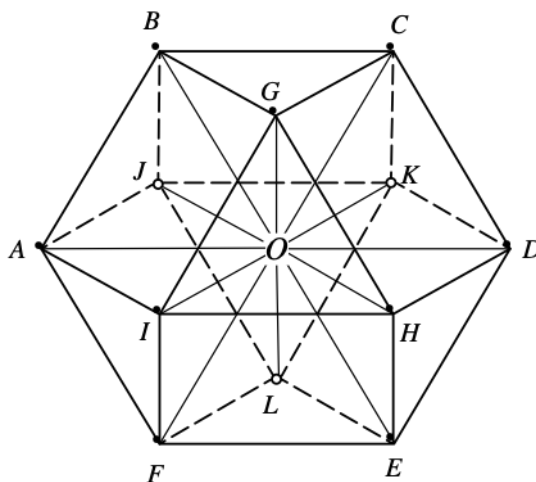
Možemo postaviti neutralnu (sivu) boju u bilo koji ugao tela i započeti raspoređivati boje oko te tačke. Svetlina neutralne (sive) boje mora biti određena. Što je ova boja bliža beloju, ona je svetlija, a što je bliža crnoj, manje je svetla. Kod ovog sistema boja važi osnovna pretpostavka da na određenoj sferi leže boje koje imaju istu svetlinu. Druge parametre kvaliteta boje ne uzimamo u obzir. Svetlina boje će biti predstavljena rastojanjem između pojedinih uglova tela. Uzimajući u obzir činjenicu da je oko izabrane tačke (mesta gde se susedne stranice romboedra seku) neutralne boje postavljeno šest odabranih tačaka na jednakoj međusobnoj udaljenosti; na tih šest tačaka možemo postaviti tri primarne i tri sekundarne boje, kako je predviđeno pigmentnom teorijom (žuta, narandžasta, crvena, ljubičasta, plava i zelena). Međusobni položaj ovih boja prikazan je u krugu boja na slici 20-36. Centar ovog kruga boja je određena neutralna bela boja. Kada izaberemo položaj neutralne (sive) boje (N na slici 20-32a), povezujemo ovu tačku sa jednom od susednih tačaka, neka to bude čista primarna žuta (slika 20-33b). Udaljenost između ove dve boje je odabrana tako da žuta ima istu svetlinu kao i neutralna boja. Zatim izaberemo poziciju žuto-crvene (narandžaste) boje (slika 20-33c), crvene (slika 20-33d), ljubičaste P (ljubičasta) (slika 20-33e), plave (slika 20-33f) i zelene (slika 20-33g). Može se dokazati [13] da se udaljenost između zelene i žute, odnosno različitost u svetlini između njih, malo razlikuje u odnosu na ostale boje prikazane na slici 20-33g. Iz tog razloga se pretpostavlja da naša percepcija boja odgovara njihovom razmeštaju na sfernoj površini, a ne u euklidskom prostoru, budući da je odnos između kružnice kruga boja i radijusa tog kruga veći od π .

Možda čak i nije moguće sastaviti (dobiti) idealnu kolekciju etalona boja, ali možemo dobiti aproksimaciju, koja se više približava idealnom stanju nego kod bilo kojeg od gore pomenutih sistema. Na slici 20-33 smo boje rasporedili po ravnini. Za rešavanje problema možemo da koristimo Rimanovu geometriju zakrivljenog prostora. Detaljno objašnjenje je prilično teško jer biste trebali poznavati Rimanove površine i Rimanov prostor. Zbog toga ćemo se poslužiti samo opisom mogućeg procesa približavanja idealnom stanju. Svaka prava, MZ, MP, PR itd. mora se malo produžiti, tako da se sve izjednače sa pravom ZRu. Stoga je svaka od ovih pravih ili rastojanja nešto duža od radijalne udaljenosti NR, NP, NRu i slično. Nastavljamo sa ovom metodom za sve boje iste svetline. Tako dobijamo lestvicu boja na različitim nivoima. Nivoi se međusobno razlikuju; za unapred izabrani stepen svetline. Sledeći nivo, ljuska ili sloj boja, tamniji je ili svetliji od prvog sloja, što zavisi od položaja prvog sloja ili neutralne boje i smera u kojem idemo. Počinjemo da konstruišemo sledeći nivo svetline boja po principu prikazanom na slici 20-33. Boje R, Z i Ru čine osnovu tetraedra i one su, na primer, ujedno deo prvog sloja ili nivoa. Potom biramo četvrtu tačku tetraedra RuZ, tako da je on u pogledu razlike svetline jednako udaljen od N, Ru i Z. Tako je ta tačka tetraedra već na površini sledeće sfere, ljuske, nivoa ili sloja.

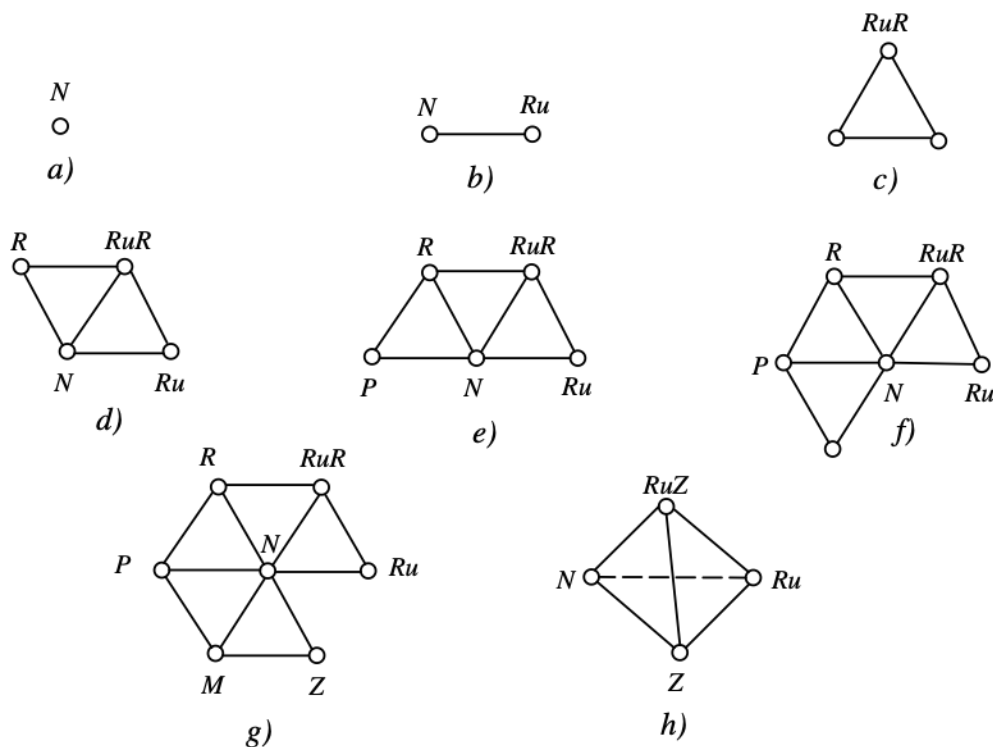
Sledeći korak je i. U ovom koraku nađemo boju koja se po svetlini jednako razlikuje od boja N, P (ljubičasta) i M. U koraku j pronademo boju čija se svetlina jednako razlikuje od svetline boja N, R i RRu. Na ovaj način, prostorno određeni položaj tri nove tačke istovremeno znači određivanje položaja sledeće sfere, na kojoj leže boje, koje se razlikuju od boja koje leže na prvoj sferi za tačno određenu vrednost svetline. Po ovom postupku se konstruišu sve sledeće sfere.

U čemu je bitna razlika između ovog i gore navedenih sistema? Osnovna razlika i prednost ovog sistema je ta što u potpunosti uzima u obzir pigmentnu teoriju ili stvarne osobine pigmentata.

Naizgled bi nedostatak ove teorije bio u tome što ona uzima u obzir samo svetlinu boja, odnosno razlike u stepenu svetline, ali ne i ostale parametre kvaliteta boja koji su dostupni našoj percepciji. Ne postoji ni kontinuirana siva skala. Realno, svi su ovi nedostaci poništeni dodatkom višeslojne strukture prikazivanja boja na uzastopnim sfernim ljuskama. Između boja i ljuski može se odabrati takva razlika u svetlini boja koju oko još uvijek opaža. Manje razlike od toga nemaju praktičnu važnost jer ih ne registrujemo. U ovom se sistemu, dakle, neutralna boja stepenasto menja od svetle (gotovo bele) do tamne (gotovo crne). Ovom promenom su obuhvaćene i promene parametara koji su karakteristični za gore pomenute sisteme, odnosno možemo pratiti promenu ovih parametara uprkos činjenici da oni nemaju nikakvu ulogu u konstrukciji sfernih ljuski ovog sistema. Kao i u prethodnim sistemima boja, i ovde imamo kolekciju etalona boja koji formiraju grupe. Svaka grupa pripada određenoj sfernoj ljusci.



Slika 20-32: Kubični oktaedar kao osnovno telo za tvorbu prostora boja u regularnoj romboedarskoj rešetki



Slika 20-33: Postupak konstrukcije kolekcije etalona boja, koji su razvrstani na osnovu regularne romboedarske rešetke

N - neutralna, *Ru* - žuta, *RuR* – žuto-crvena, *R* - crvena, *P* - ljubičasta, *M* - plava, *Z* - zelena

20.4. Standardi boja i merna tehnika

20.4.1. Standardi boja

Najpre treba definisati šta se podrazumeva pod pojmom „standard boje“. Standard boje će podrazumevati vrednosti određenih parametara, koji definišu određenu boju, ili karte boja i položaj boje na krugu boja i preseku tela boja bilo kog sistema boja.

U zavisnosti od sistema boja, možemo odrediti ili identifikovati boju na tri različita načina. Po sistemu CIE odredimo talasnu dužinu i hromatske koordinate x , y i z prilikom upotrebe iluminanata A, B, C, D₅₅, D₆₅ i D₇₅. Iako tačan sa fizičkog stanovišta, ovaj sistem ne omogućava opis psihološkog doživljaja boje. Treba uzeti u obzir činjenicu da je kod dizajnera više razvijena umetnička nego naučna komponenta i da oni komuniciraju sa korisnicima svojih kompozicija u boji na osnovu umetničkog ili psihološkog doživljaja, bez obzira da li je reč o umetničkom delu ili koloristici industrijskog proizvoda, kao što je to obojeni tekstilni proizvod. S obzirom na tu činjenicu, sistem CIE nije najpraktičniji kao metoda za kvantifikaciju kompozicija bojenih tekstilnih proizvoda.

Drugi način prepoznavanja ili kvantifikacije boja zasnovan je na sistemima, koji takođe uzimaju u obzir psihološku komponentu, poput Munselovog, nemačkog ili švedskog sistema. Ovi sistemi omogućavaju plastično određivanje položaja određene boje u telu boja; to jest, u trodimenzionalnom prostoru pomoću kruga boja i preseka boja. Pri tom je određen položaj boje (crvena, plava, zelena, itd.) i neke od njenih karakteristika kao što su: čistoća, zasićenost, svetlina itd. Kao što je ranije

pomenuto, ovi sistemi se mogu povezati sa sistemom CIE, što daje potpuniji opis boje. U ovom slučaju, bilo bi neophodno da dizajneri dobro vladaju CIE sistemom.

Treći način identifikacije ili kvantifikacije boja nam omogućava regularni sistem romboidne rešetke. U ovom sistemu, boja se određuje svetlinom i položajem sfere u odnosu na sivu skalu ili određenu neutralnu (sivu) boju. Ovde je moguće uraditi kolekciju etalona boja na osnovu raspodele sive skale. Ona se obično razdeli od 0 (crna) do 10 (bela). Crna i bela su nebitne jer je kod crne svetlina približno 0 %, a kod bele približno 100 %. Iz toga sledi da se u ovom slučaju može odrediti barem 9 tačaka na sivoj skali za određivanje svetline boja u skladu sa odabranom neutralnom (sivom) bojom. Znači, možemo zamisliti 9 sfera ili polulopti u kojima je vrh (pol) polulopte određena neutralna boja. U tom vrhu, primarne i sekundarne boje prelaze u neutralnu (sivu) boju; to jest, od vrha polulopte, boje postepeno prelaze iz neutralne u određenu primarnu ili sekundarnu boju - zavisno od toga prema kojoj boji se usmerimo ka rubu polulopte (ekvatoru). U ovom slučaju, razlika u svetlini između boja i neutralne (sive) boje je uvek ista, bez obzira da li ih posmatramo na ekvatoru (rub hemisfere) ili na bilo kojoj paraleli uzduž meridijana. Svetlina boja se smanjuje prelaskom od bele ka crnoj. Paralelama možemo podeliti poluloptu na, recimo, 10 delova (podela meridijana u 10 jednakih delova). Svaka polulopta dobila bi 10 etalona za svaku boju ili 540 etalona za celi sistem. Svaki etalon se može označiti sa dva broja i slovom. Prvi redni broj može označavati broj polulopte (1 do 10), drugi redni broj paralelu (1 između ekvatora i prve paralele; 10 između devete paralele i pola na kojem je neutralna (siva) boja. Na primer, ako je boja označena sa 53Ru, to znači da je ta žuta (Ru) boja na petoj hemisferi (približno polovina rastojanja između bele i crne boje) i nalazi se između druge i treće paralele. Ovi sistemi nam omogućavaju da lociramo boju, ali nam ne govore ništa o interakciji boja u određenoj kompoziciji. Iz tog razloga ćemo se ovim pitanjem detaljnije baviti u tački 20.5

20.4.2. Tehnika merenja

Pomoću kolorimetara različitih izvedbi možemo čak i vizuelno posmatrati boje na tkanini, (ili drugim predmetima) u različitim svetlosnim kombinacijama, koje imitiraju svetlost u različito doba dana ili različitim stepenima oblačnosti. Ovakva metoda se uglavnom koristi za poređenje boja standardizovanog uzorka i uzorka proizvedenog na osnovu standardizovanog. To znači, vizuelno se određuju razlike među parametrima boja (ton, nijansa, svetlina, jačina, čistoća itd.).

Pomoću posebnog kolorimetra moguće je izmeriti procenat refleksije upadne svetlosti od površine obojene određenom bojom. Procenat refleksije se meri u vidljivom i infracrvenom delu spektra. Dobijeni rezultati upoređuju se sa propisanim. Koristi se uglavnom za maskirne predmete (odeća, mreže, cerade itd.) U tu svrhu se koriste posebne boje. Maskirnost se koristi isključivo u vojne svrhe. Vrednosti refleksija pojedinih boja se određuju na osnovu merenja refleksija sličnih boja u prirodnom okruženju u različito doba godine. Svaka boja ima određenu talasnu dužinu. Talasna dužina se može meriti spektrom foto-metrom Ova merenja su značajna za sistem CIE.

Druga grupa metoda merne tehnike su metode koje se koriste za određivanje postojanosti boja (na svetlost, na sredstvo za pranje, piling, znoj, vodu, kiseline, baze, itd.). Metode su poredbene. Ocene postojanosti su 1 do 5, osim za svetlost, gde su ocene od 1 do 8.

Postojanost na svetlost se meri pomoću Xenotest aparata, u kome se uzorci i kontrolni uzorci osvetljavaju ksenonskom lampom, koja emituje svetlost čiji je spektar veoma sličan spektru sunčeve svetlosti. Kontrolni uzorci su izrezani iz plavo obojenih tkanina koje imaju postojanost od 1 do 8. Postupak je vrlo jednostavan. Nakon određenog vremena osvetljenosti, kontroliše se promena boje uzoraka i upoređuje sa kontrolnim uzorcima. Ako je promena boje na uzorku ista kao i promena boje, na primer, na kontrolnom uzorku sa postojanošću 5, tada je postojanost boje uzorka na svetlost 5.

Samo deo uzoraka i kontrolnih uzoraka je izložen osvetljavanju da bi se mogla uporediti promena nijanse boje. Postojanost je obično propisana. Stvarna postojanost se može razlikovati od propisane. Ponekad postojanost nije propisana; onda ne znamo kakva je. Zbog nedostatka podataka o postojanosti i verovatnoće da su moguća određena odstupanja od propisane vrednosti postojanosti na svetlost, u standardima koji propisuju postupak ispitivanja postojanosti, propisuje se vreme prve kontrole postojanosti na svetlost. Ono je kraće od standardnog vremena ispitivanja. Orijentaciona vremena za ispitivanje postojanosti tkanine na svetlost u aparatu „Xenotest” su data u tabeli 20-3 [14]. Postojanost boja na svetlost se takođe može testirati u prirodnim uslovima izlaganjem ispitivanih i standardnih (testnih) uzoraka prirodnoj sunčevoj svetlosti. Metoda je nepraktična (traje predugo), zbog čega se ne koristi. Tokom leta, bi bila i upotrebljiva, ali u jesen i zimu, kada nema dovoljno sunčanih dana, testiranje bi trajalo predugo, što je neprihvatljivo za normalan tok proizvodnje.

Ostale postojanosti, koje se ocenjuju od 1 do 5, testiraju se propisanim metodama i dobijena promena boje se poredi sa standardnom sivom skalom. Na osnovu ovog poređenja ocenjuje se postojanost boje

Tabela 20-3: Vreme testiranja postojanosti boja na svetlost zavisno od stepena postojanosti

Stepen postojanosti	Prva kontrola postojanosti, sati	Propisano vreme testiranja, sati
1	1 do 2	2 do 4
2	2 do 3	8 do 12
3	3 do 4	30 do 40
4	6 do 8	70 do 100
5	15 do 20	140 do 180
6	30 do 40	240 do 280
7	80 do 100	280 do 360
8	160 do 180	500 do 600

20.5. Praktična upotreba teorija boja i sistema boja [15]

20.5.1. Sjaj

Na osnovu teorije mešanja pigmenata, možemo zaključiti koje će talasne dužine upadne svetlosti površina tkanine odbijati i koliki će biti intenzitet reflektovane svetlosti. Primarne boje će odbijati dosta svetlosti određene talasne dužine, sekundarne boje manje, a terciarne još manje.

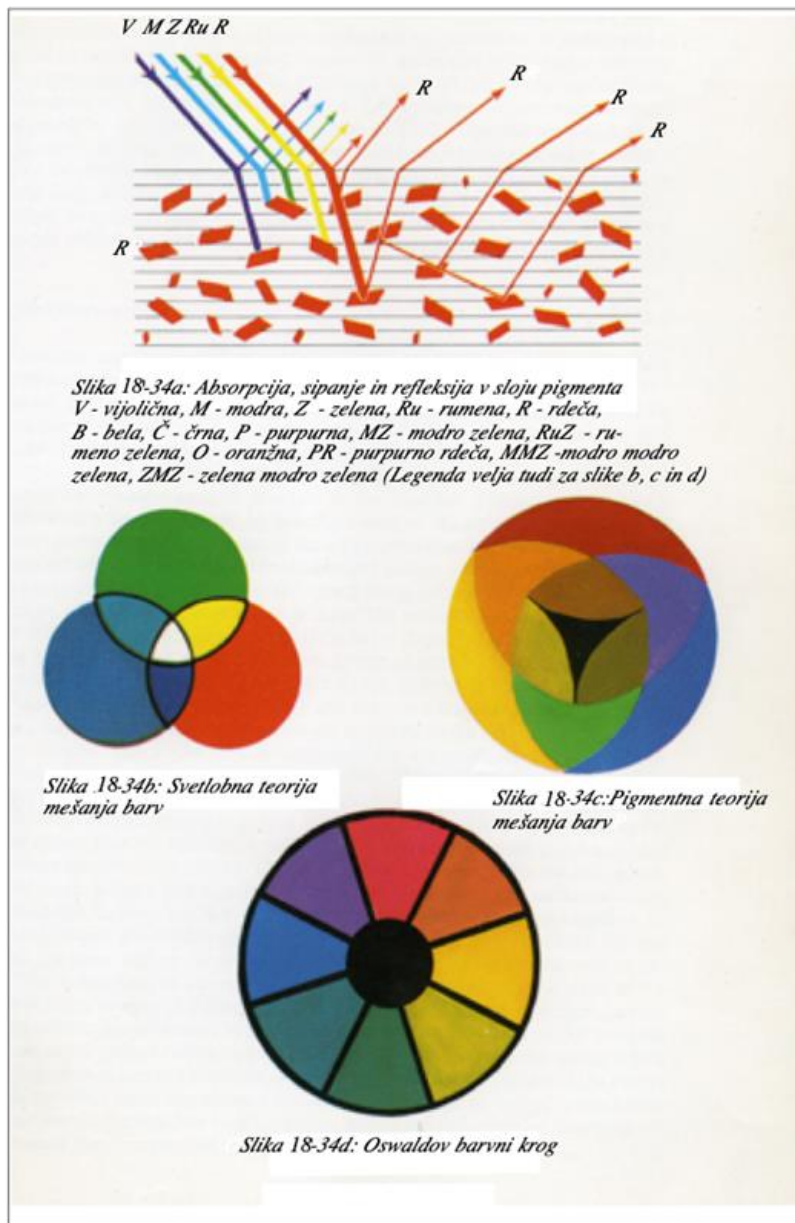
20.5.2. Upotreba teorije mešanja bojene svetlosti i pigmentne teorije mešanja boja

Na tkanini može biti više različitih boja jedna pored druge. Pojedine boje mogu prekriti određeni deo površine tkanine ako je tkanina, na primer, štampana ili izatkana iz raznobojnih niti (prugaste ili karirane tkanine), koje leže jedna pored druge. Postavlja se pitanje kako na posmatrača utiču tako raspoređene, različite boje. Oko detektuje reflektovanu svetlost u boji sa površine tkanine, a celokupni efekat boja mora odgovarati teoriji mešanja svetlosti boja.

Teorija mešanja svetlosti boja se može ilustrovati korišćenjem kruga boja (slika 20-35) i teorijom mešanja pigmenata pomoću kruga boja (slika 20-36). Na slici 20-35, suprotne boje su komplementarne i u maksimalnom su kontrastu jedna s drugom. To su: crvena i plavo-zelena; zelena i ljubičasta (purpurna P); plava i žuta itd.

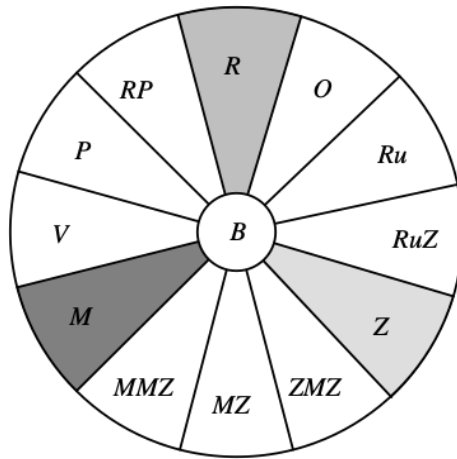
Na slici 20-36 prikazane su ne samo primarne i sekundarne boje, već i mešavine između primarnih i sekundarnih boja. Zbog toga na ovom krugu boja postoji 18 boja. Boje u krugu boja su čiste (primarne) ili nastaju mešanjem i dodavanjem druge boje, dodavanjem bele ili crne ili dodavanjem bele i crne.

Dodavanjem druge boje menjamo nijansu, dodavanjem crne ili bele menjamo ton boje; dodavanjem crne i bele takođe menjamo ton boje, ali duž sive skale. Ove tri kombinacije su prikazane u tabeli 20-4. Sedam različitih kombinacija boja je prikazano od A do G. Za prvu mešavinu, kombinacija A ima 80 % žute i 20 % plave boje. Tako da će ova kombinacija jako vući na žutu boju sa nijansom zelene. U kombinaciji D, međutim, imamo 50 % žute i 50 % plave boje. U tom slučaju dobićemo zelenu boju. U kombinaciji G plavo-zelenu boju. U drugoj mešavini, kombinacija A je veoma svetla ili tamnocrvena. Međutim, pošto je crvene samo 12,5 %, crvena će doći do izražaja kada je pomešana sa belom bojom, ali je jedva primetna kada se pomeša sa crnom. Procenat crvene se povećava do kombinacije G, gde je samo 12,5 % bele ili crne i 87,5 % crvene. Takvim kombinacijama se može dobiti efekat senčenja. Umesto crvene može se koristiti bilo koja druga boja.



Slika 20-34: Sistemi mešana boja

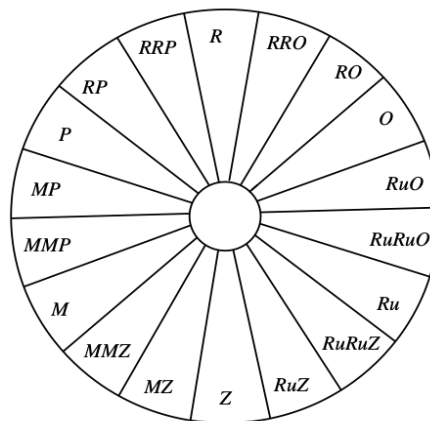
Slika 18-34a: apsorpcija, rasipanje i refleksija u sloju pigmenta V - ljubičasta, M - plava, Z - zelena, Ru - žuta, R - crvena, B - bela, Č - crna, P - purpurna, MZ - plavo zelena, RuZ - žuto zelena, O - narandžasta, PR - purpurno crvena, MMZ – plava plavo-zelena, ZMZ – zelena plavo-zelena, (Legenda važi i za slike b, c i d). Slika 18-34b: svetlosna teorija mešanja boja. Slika 18-34c: pigmentna teorija mešanja boja. Slika 18-34d: Ostvaldov krug boja



Slika 20-35: Položaj boja u krogu boja, koji se podudara sa teorijom mešanja bojene svetlosti (crvena, zelena i plava su primarne boje)

R - crvena, O - narandžasta, Ru - žuta, RuZ – žuto-zelena, Z - zelena, ZMZ - zelena plavo-zelena, MZ – plavo- zelena, MMZ - plavo plavo-zelena, M - plava, MV – plavo-ljubičasta, V - ljubičasta, RV – žuto- ljubičasta

U trećoj smesi mešamo belu, crnu i crvenu. U kombinaciji A oko 11 % je bele, 11 % crvene, a ostalo je crna. Efekat će biti tamnocrven. U ostalim kombinacijama, proporcija crvene se ne menja, ali udeo bele boje se postepeno povećava, a udeo crne smanjuje. U kombinaciji D imaju iste udele i dobijamo crveno-sivu boju. Kombinacija G daje svetlocrvenu boju. U četvrtoj smeši, količine bele i crne su nepromenjene. Količina plave boje se menja. Pošto je ista količina crne i bele, njihova mešavina daje sivu. U kombinaciji A dobijamo sivo-plavu, jer je plava jedva приметna. Kada idemo prema kombinaciji G, plave boje je sve više i kombinacija G je sivo-plave boje.



Slika 20-36: Položaj boja u krugu boja, koji se podudara sa pigmentnom teorijom mešanja
R - crvena, RRO - crvena crveno-narandžasta, RO – crveno-narandžasta, O -narandžasta, RuO – žuto-narandžasta, RuRuO - žuta žuto-narandžasta, Ru - žuta, RuRuZ - žuta žut- zelena, RuZ – žut- zelena, Z - zelena, MZ – plavo-zelena, MMZ - plava plavo-zelena, M - plava, MMV - plava plavo- ljubičasta, MV – plav- ljubičasta, V - ljubičasta, RV – žuto-ljubičasta, RRV - crveao crveno- ljubičasta

Tabela 20-4: Modifikacija boja

Mešavina	Sastav mešavine	Kombinacija						
		A	B	C	D	E	F	G
1	žuta	4	3	2	1	1	1	1
	plava	1	1	1	1	2	3	4
2	bela ili crna	7	5	3	1	1	1	1
	crvena	1	1	1	1	3	5	7
3	bela	1	2	3	4	5	6	7
	crna	7	6	5	4	3	2	1
	crvena	1	1	1	1	1	1	1
4	bela	7	7	7	7	7	7	7
	crna	7	7	7	7	7	7	7
	plava	1	2	3	4	5	6	7

20.5.3. Efekat kompozicije boja

20.5.3.1. Kontrast boja

20.5.3.1.a. Opšte

Kontrast boja može nastati samo ukoliko su dve ili više boja jedna pored druge na obojenoj površini. Poznajemo monohromatski i polihromatski kontrast. Monohromatski kontrast imamo kod određene boje različitih tonova, kao što su, na primer, svetlocrvena i tamnocrvena. Ako su takvi tonovi u tonskoj skali jedan pored drugog, kao što je treća kombinacija u tabeli 20-4, dobija se mali kontrast koji je pogodan za robu za kapute, haljine i kostime.

Međutim, ako je, na primer, iz treće smeše (tabela 20-4) jedna pored druge kombinacija A i G, dobiće se jak monohromatski kontrast. Polihromatski kontrasti imaju sve kombinacije dveju ili više različitih boja, koje se međusobno mogu razlikovati i u tonu. Na primer, u prvoj mešavini u tabeli 20-4, kombinacija A i B će dati mali polihromatski kontrast; ali ako kombinacije A i G stavimo jednu pored druge, dobićemo jak kontrast.

Što se tiče tona, možemo uočiti polihromatski kontrast kod dveju različitih boja, koje imaju isti ton (istu količinu bele ili crne boje). To je, na primer, kombinacija istog tona svetlozelene i svetloplave boje, ukoliko svaka ima istu količinu bele. Kombinacija dve boje različitih tonova je na primer

mešavina svetlozelene i tamnocrvene, itd. Oba kontrasta se mogu koristiti na istom proizvodu ako je, na primer, roba obojena u različitim tonovima jedne boje (monohromatski kontrast), a konac je obojen, na primer, u drugoj veoma živoj boji. Pošto u ovom slučaju imamo dve različite boje na jednom proizvodu, pri čemu konac, pored ostalog, ima ulogu povećanja raznolikosti proizvoda i povećavanja kontrasta, možemo govoriti o polihromatskom kontrastu.

Kontrast takođe može biti postepen ili istovremen. Postepeni kontrast daje boje koje su samo toliko udaljene jedna od druge da sledeću boju možemo prepoznati nakon što vidimo prvu. Kod istovremenog kontrasta, boje su postavljene jedna pored druge, tako da se one istovremeno vide jer je između njih veća razlika. Oba kontrasta (monohromatski i polihromatski) podležu istom zakonu. Bez obzira na vrstu kontrasta (postepeni ili istovremeni), boje imaju osobine menjanja drugih kvaliteta; međutim, promena je veća kada se kontrastne boje zaista vide zajedno jedna pored druge nego kada se posmatraju odvojeno. Boje, koje su postavljene jedna pored druge, imaju dve vrste kontrasta: „kontrast nijanse boje“ i „kontrast tona.“

20.5.3.1.b. Kontrast nijanse

Kontrast nijanse nastaje usled interakcije boja, koje stoje jedna uz drugu na tekstilnom proizvodu (istovremeni kontrast boja). To je zbog gore navedenih fizioloških svojstava oka i njegove reakcije na mešanje obojene svetlosti. Zbog toga nam se čini da svaka boja u kontrastu nijanse utiče na susednu boju jer stičemo utisak da je boja nijansirana sa komplementarnom nijansom susedne boje. Kada posmatramo robu koja ima, na primer, crvene i plave pruge, čine nam se crvene pruge kao da su nijansirane žutom bojom, koja je komplementarna plavoj (slika 20-35) i plava izgleda plavo-zelena, koja je komplementarna crvenoj boji (slika 20-35).

U ovom slučaju imamo dve primarne boje (teorija mešanja bojene svetlosti). Ovaj fenomen je analogan fenomenu dobijenom na belom papiru. Na primer, ako neko vreme posmatramo crveni krug i brzo prebacimo pogled na beli papir, videćemo plavo-zeleni krug ili komplementarnu boju crvenoj (sukcesijski kontrast boja). Beli papir ima jednake proporcije crvene, plave i zelene boje (teorija mešanja svetlosti boja). Nakon što neko vreme posmatramo crveno, zamori se deo očnog živca, koji je osetljiv na talasnu dužinu crvene boje, a kada pogled usmerimo na beli papir, vidimo samo refleksiju svetloplave i zelene boje, čija mešavina daje plavo-zelenu boju.

U ovom slučaju je proizvod obojen naizmenično u crvene i plave pruge. Odnosno, plava linija je između dve crvene, a crvena između dve plave. Međusobni uticaj boja zavisiće od širine linija u jednoj ili drugoj boji i apsolutne širine linija. Zbog gore navedenog efekta - pojava komplementarne boje - povoljnost je ako su linije u obe boje podjednako široke. Test se izvodi tako što se, na primer, prvo posmatra plava linija i prelazi pogled u crvenu. Zbog umora dela očnog nerva koji je osetljiv na talasnu dužinu plave boje, primetićemo njoj komplementarnu (žutu) boju. Kada svoj pogled prenesemo na crvenu, primetićemo istovremeno crvenu i žutu boju. Zbog toga se u ovom slučaju čini da je crvena nijansirana žutom bojom. Kada neko vreme posmatramo crvenu i preusmerimo pogled nazad na plavu, primetićemo plavu i plavo-zelenu, koja je komplementarna crvenoj boji, radi umora očnog nerva koji je osetljiv na crveno. Zbog toga će nam se činiti da imamo plavu nijansiranu sa plavo-zelenom.

Slično će biti ako je proizvod obojen plavim i zelenim prugama. Plava će nam se činiti da je nijansirana ljubičastom, koja je komplementarna zelenoj boji, a zelena boja će nam se činiti da je nijansirana žutom bojom koja je komplementarna plavoj boji. Međutim, ako imamo crvene i zelene pruge, činiće nam se da je zelena nijansirana plavo-zelenom, koja je komplementarna crvenoj, a crvena će se činiti nijansirana ljubičastom, koja je komplementarna zelenoj. Dizajner svakako mora da se pridržava ovih principa prilikom kompozicije uzoraka boja, što je važno za procenu lepote kompozicije boja, i za to kako je subjektivno doživljavamo kao celinu.

20.5.3.1.c. Kontrast tona

Kontrast tona dolazi do izražaja kada su dva različita tona iste boje jedan pored drugog, kao što su svetlo crvena i tamnocrvena; ili ako su dve boje različitih tonova jedna pored druge, na primer svetlo crvena ili svetlo zelena i tamno plava, itd. Dizajner mora uzeti u obzir uticaj kontrasta tona. Ako su jedna svetla, a druga tamna boja jedna pored druge, tada se boja svetlijeg tona čini svetlijom nego što stvarno jeste, a boja tamnijeg tona tamnija, nego ukoliko je promatramo samu za sebe. Isto se odnosi i na podlogu. Ako je svetla boja na tamnoj pozadini, tada nam se čini svetlijom nego što je zapravo i obratno, ako je na svetloj podlozi tamna boja, deluje tamnije nego što stvarno jeste. Definitivno moramo uzeti u obzir ove uticaje prilikom dizajniranja kompozicije boja, u suprotnom možemo dobiti veće kontraste nego što smo željeli i očekivali.

20.5.3.2. Harmonija boja

20.5.3.2.a. Definicija

Vrlo je teško definisati harmoniju boja. U suštini, harmonija boja je pretežno psihološka kategorija. Različiti ljudi različito doživljavaju određenu kompoziciju boja. Ono što neki vide kao harmonično, drugi doživljavaju kao disharmonično. To znači da je obrazovanjem, u određenoj meri, moguće razviti sposobnost doživljavanja kompozicije boja proizvoda kao harmonične ili disharmonične. Kod „školovane“ publike, harmonična kompozicija boja će biti ona koju velika većina smatra takvom. Manjina će potražiti drugi način da zadovolji svoj ukus. Zbog ovih razmimoilaženja, uspevaju vrlo skupi butici, ekstravagantni stilovi itd.

Harmonija boja se postiže tada, kad se sastave ili kombinuju različite nijanse tako da se svaki deo boje poklapa sa šemom boja, odnosno kompozicijom; ili drugim rečima, da se nijedna nijansa ili ton boje ne ističe, tako da ih u toj kompoziciji doživimo kao uljeze. Postoje dve vrste harmonije: harmonija sličnosti (analogija) i harmonija kontrasta.

20.5.3.2.b. Harmonija sličnosti

Harmonija sličnosti se dobija kombinacijom tonova iste boje ili kombinacijom nijansi koje su vrlo blizu jedna drugoj i imaju istu zasićenost (dubinu) i ton. Na primer, ako kombinujemo različite tonove svetlozelene ili tamnoplave boje, dobijamo harmoniju sličnosti tona. To je tako samo ako su razlike među uzastopnim tonovima promatrane boje gotovo neprimetne. Tako možemo dobiti efekat senčenja tonova.

Kombinacija sličnosti nijansi se dobije, na primer, kombinacijom žuto-zelene i plavo-zelene. Žuta i plava su dve različite boje, ali zajednički element im je zelena boja. Ako su nijanse približno iste u pogledu zasićenosti i tona, i postavljene jedna pored druge, formiraće harmoniju sličnosti nijansi. Harmonija sličnosti igra odlučujuću ulogu u stvaranju mirnih efekata.

20.5.3.2.c. Harmonija kontrasta

Kao i harmoniju sličnosti, harmoniju kontrasta možemo dobiti na dva načina: možemo kombinovati različite tonove iste boje, koji se međusobno veoma razlikuju; ili kombinovati različite boje, koje nisu međusobno slične. Ako kombinujemo dva tona zelene boje koji su jako udaljeni (svetlozelena i tamnozeleno), postiže se harmonija kontrasta tona; dok kombinacije crvene i zelene, ako su harmonične, daju harmoniju kontrasta nijanse.

Harmoniju kontrasta koristimo onda kada želimo dobiti jasne i oštre efekte. Tako možemo upotrebiti sličnost tona i kontrast nijanse; ili sličnost nijanse i kontrast tona u određenoj kombinaciji boje ili u više boja.

20.5.3.2.d. Harmonija gradiranja nijanse

Ova harmonija ima ponekad udela u obe harmonije (harmoniji sličnosti i harmoniji kontrasta). Harmonija stepenovanja nijanse znači postepeni prelazak jedne boje u drugu. Svetlosni spektar je upečatljiv primer takve eskalacije. Harmonija stepenovanja nijanse se dobija iz harmonije kontrasta boja tako što između dve kontrastne boje umetnemo boju koja znači prelaz jedne u drugu. Kombinacija crvene i žute daje kontrast boja. Kontrast se može izbeći ako između umetnemo seriju nijansi narandžaste. U takvom nizu dve susedne nijanse mogu biti toliko blizu jedna drugoj da ne postoji kontrast među njima i dobija se harmonija sličnosti. Isto tako, žuta može neopaženo preći u plavu preko niza nijansi zelene i plave, u crvenu preko nijansi ljubičaste.

20.5.3.3. Osnova harmonije boja

Komplementarne boje koje leže nasuprot jedna drugoj u krugu boja su harmonične. Ipak, moramo imati na umu da daju kontraste koji su u čistom stanju veoma jaki. Kontrast se može smanjiti dodavanjem crne ili bele boje ili sa obe istovremeno. Ovom modifikacijom boja dobićemo odgovarajuće komplementarne parove koji čine vrlo harmonične kombinacije. Proučavanje komplementarnih boja, odnosno nijansi i njihovih tamnih ili svetlih tonova vrlo je važno za rešavanje problema, koji nastaju prilikom kombinovanja boja, i osnova je harmonije boja.

Mišljenja o pravilima harmonije boja su veoma različita. Harmonija boja nije postignuta samo kombinacijom komplementarnih boja. Boje, koje su u krugu boja udaljene manje od 180 stepeni, mogu se kombinovati. Komplementarne boje su udaljene 180 stepeni. Odabirom nijansi koje su udaljene 20 ili 30 stepeni od komplementarne boje dolazi do manje kontrastnih kombinacija. Pored toga, komplementarne boje daju različito jak kontrast. Tako, na primer, komplementarne boje u krugu boja, koji se podudara sa pigmentnom teorijom mešanja boja (slika 20-10 i slika 20-36), daju manji kontrast nego komplementarne boje u krugu boja, koji se podudara sa teorijom mešanja svetlosti boja (slika 20-2 i slika 20-35). Utisak koji nam daje kontrast kontrastnih komplementarnih ili gotovo komplementarnih boja ogleda se u obogaćenju boje.

Da bismo postigli harmoniju kontrasta, poželjno je u krugu boja odabrati boje koje su na udaljenosti od najmanje 90 stepeni jedna od druge (slika 20-35). Srodne boje, koje su u razmaku od 30 do 90 stepeni, obično su disharmonične, poput npr. plave i ljubičaste itd. Boje, koje su u krugu boja veoma blizu jedna drugoj, možemo kombinovati tako da dobijemo harmoniju sličnosti nijansi.

Prirodna klasifikacija boja se može uzeti kao osnova za formiranje harmonije boja, kao što je prikazano na slici 20-36. Počevši od ljubičaste, kao najtamnije boje, i prelazeći ljubičastu, ljubičasto-crvenu, crvenu i narančastu ka žutoj, koja je najsvetlija boja, dolazimo na žuto-zelenu, zelenu, plavo-zelenu i preko plave natrag na ljubičastu. Prirodni raspored daje tamnim bojama dublji ili tamniji ton nego svetlijim. U kombinaciji crvene i žute, čini se da crvena ima tamniji ton od žute; ali kada se crvena kombinuje sa ljubičastom, činiće se da crvena ima svetliji ton od ljubičaste. Kombinacije svetlocrvene i tamnožute, ili tamnocrvene i svetlo-ljubičaste, neće dati harmoniju. To je u skladu s gore navedenim pravilima harmonije.

Za naglašavanje bleštećih boja, poput crvene, narančaste i žute, prikladnije je koristiti tamniju nego svetliju podlogu ili pozadinu. Nasuprot tome, tamne boje poput ljubičaste i ljubičastocrvene su tamnije i bogatije (izraženije) na svetloj podlozi (pozadini), a manje izražene na tamnoj pozadini ili podlozi.

20.5.3.4. Kompozicija uzorka na površini tkanine

Pitanje je kako rasporediti boje u prugastim uzorcima boja kako bi se dobila skladna, odgovarajuća kompozicija boja. Pre svega, moramo uzeti u obzir relativni intenzitet boja, odnosno nijansi. Ako je jedne boje previše, odnosno zauzima previše površine, može se dobiti neprivlačna kompozicija boja. Pogledajmo neke moguće kombinacije različitih brojeva niti u raportu boja, ovisno o kontrastu. Tako možemo da kombinujemo: 2 crne i 2 bele; 4 crne i 4 svetlosive; 8 crnih i 8 tamnosivih; 16 crnih i 16 tamnosivih. Međutim, ako uzmemo bele niti umesto crnih, onda se mogu koristiti sledeće kombinacije: 2 bele i 2 crne; 4 bele i 4 tamno-sive; 8 belih i 8 tamnosivih; 16 belih i 16 svetlosivih. Iz ovih primera vidimo da boje, koje međusobno daju veliki kontrast (crna i bela), zauzimaju malu površinu. Slično je sa kombinacijama crne sa sivim „bojama“. Što je manji kontrast između crne i sive (tamnosiva), tim veću površinu može zauzeti jedna i druga boja. Slično je sa kombinacijama bele i sive. Što se siva više približava belo, tim veću površinu može zauzimati i jedna i druga. To je u ovom slučaju 16 niti ili osam puta više. Druge kombinacije boja tretiramo na sličan način. Na primer, kombinacija tamnoplave i intenzivno žute boje će biti u harmoniji samo ako je plavo obojena površina nekoliko puta veća od žuto obojene površine. Ako bi bilo obrnuto, uzorak ne bi bio harmoničan i izazvao bi loš utisak jer bi žuta prekrila plavu, odnosno plava bi bila praktično neprimetna. Slično tome, nekoliko niti sjajno crvene boje na toniranoj zelenoj podlozi izaziva ugodan dojam; ali ako imamo relativno veliki broj crvenih niti, uzorak boja će izazvati neprijatan utisak.

20.5.3.5. Razdvajanje boja

Ako su na uzorku boja dve kontrastne boje jedna do druge, dobije se dojam „vrištećih“ i konfučnih boja. Da bismo to izbegli, umetnućemo između kontrastnih boja neku boju koja deluje neutralno. Možemo koristiti čak i crnu, sivu ili belu boju. Time se smanjuje negativan efekat izazvan kontrastom boja, koje tada ostavljaju dojam čistih i jasnih boja. Kvalitet boje koju smo koristili za razdvajanje kontrastnih boja, neka bude negde na sredini između njih. Crna boja je pogodna za odvajanje dveju živih boja. Bela i siva su pogodne za odvajanje živih i tamnih („mrtvih“) boja ili za razdvajanje dveju

tamnih („mrtvih“) boja. Siva se koristi umesto bele, kada živa i tamna boja stvaraju veoma jak kontrast. Crna boja nije najprikladnija za odvajanje žive i tamne boje, ali je vrlo pogodna za odvajanje dveju živih boja. Crna se boja može koristiti u kombinaciji sa tamnim bojama poput plave i ljubičaste, kao i za tamnije tonove živih boja, tako se dobija harmonija sličnosti.

20.5.4. Bojenje tekstilija

Spomenućemo neke osnovne mogućnosti koje nam nude vlakna, pređa, tkanine, pletiva itd. za ostvarenje određene kompozicije boja. Međutim, nećemo se direktno baviti tehnologijom bojenja. Određeni efekti boja mogu se dobiti mešanjem efekata u boji, sa pređom iz mešavine različito obojenih vlakana, sa končanom pređom od raznobojnih niti, kombinacijom različito obojenih niti, sa bojenim prugama i ukrštanjem bojenih pruga, sa jednostavnim pravilnim i nepravilnim uzorcima boja, sa kombinacijama boja uzimajući u obzir prepletaj itd.

20.5.4.1. Mešani bojeni efekti

Da bismo postigli mešane efekte u boji, koristimo sledeće metode: mešanje različito obojenih vlakana kako bi se dobila melanžirana pređa; dodavanjem sitnih obojenih pahuljica vlakana u predpredivo, dobijemo efektno obojenu pređu; pređenjem pređe iz predpređe različitih boja dobija se pređa slična melanžiranoj ali raznobojna vlakna nisu tako dobro izmešana kao u slučaju melanžirane pređe; štampanje raznobojnih pruga na pređi od kojih je moguće napraviti takozvane fantazijske končane pređe; končanje raznobojnih niti također daje jednu vrstu fantazijskih pređa; mešanjem dve ili više vrsta vlakana, koje obično bojimo u tkanini, ukoliko imaju različit afinitet prema korištenom bojilu, dobivaju se različito obojena vlakna, odnosno niti u tkanini; korištenje niti različitog obojenja koje se na licu tkanine pojavljuju i nestaju, na primer, kod krep prepletaja, daje posebne efekte u boji, posebno ako prepletaj ima sitnozrnast efekat.

20.5.4.2. Pređa iz mešavine različito obojenih vlakana

Kod mešavina različito obojenih vlakana, jednoličnost (egalnost) smese ovisi o broju i vrstama faza tehnološkog procesa u fazi i njihovog mešanja. Ako su vlakna različitih boja dobro izmešana i ukoliko su obojena žuto i plavo, dobija se posebna nijansa zelene, koja se razlikuje od zelene dobijene mešanjem žute i plave. To je zato što žuta i plava boja u smesi još uvijek zadržavaju izvornu nijansu u određenoj meri. Tako se može dobiti vrlo veliki broj kombinacija različito obojenih vlakana. Navešćemo samo nekoliko mogućih kombinacija koje daju određenu rezultirajuću boju:

- mešavina crnih i belih vlakana daje sivu boju;
- mešavina vlakana određene boje sa crnim ili belim vlaknima daje različite tonove te boje;
- mešavina različitih tonova iste boje;
- mešavina dveju ili više boja:
- mešavina dveju ili više boja s crnom ili belom;
- mešavina crne ili bele, odnosno sive boje, s jednom ili više boja daje sivo nijansirane boje.

Ako želimo dobiti skalu nijansi i tonova ili sivu skalu, mešamo različite količine određenih komponenti prema principu teorije mešanja pigmentata. Da bismo pravilno odabrali mešavinu, poželjno je pridržavati se sledećih pravila:

- u mešavini dva tona iste boje mora postojati dovoljno velika razlika između tonova;
- boje koje želimo mešati moraju biti harmonične kada se postave jedna pored druge;
- udeo pojedinih boja se mora podudarati sa njihovim relativnim intenzitetima, tako da se u mešavini smanjuju relativno najveći intenziteti;
- ako imamo vrlo žive (sjajne) boje, dodajemo crnu i belu u malim količinama.

20.5.4.3. Končane pređe (konci) iz raznobojnih niti

Kod končanih pređa izrađenih od raznobojnih niti, kod kojih se vlakna raznobojnih niti međusobno mešaju, na jednostavan način dobijamo prekid određene boje uzduž konca, zato što se vidi samo jedna polovica zavoja. Isticanje jedne intenzivne boje se može smanjiti bez promene njezine čistoće. Za to su prikladni raznobojni konci, koji se u kombinaciji sa takvom bojom mogu istaći još jačom nijansom nego što je zapravo imaju, čime prividno smanjuju intenzitet osnovne boje koju ima, na primer, tkanina.

Različite nijanse i različiti materijali u koncu mogu se kombinovati na različite načine, tako da se boje različitih konaca pojavljuju regularno u pravilnim intervalima ili neregularno u nepravilnim intervalima i količinama.

20.5.4.4. Kombinacije različito obojenih niti

Efekat se postiže kombinovanjem različito obojenih niti. Osnova je obojena u jednu, potka u drugu boju. U tom slučaju, kod prepletaja platnao dobijemo zrnast efekat, dok se kod ostalih prepletaja mogu dobiti različiti uzorci ovisno o rasporedu potkinih i osnovnih veznih tačaka; ako su niti osnove u različitim bojama, a potka jednobojna, dobijaju se pruge duž osnove. Ako je osnova jednobojna, a potka je višebojna, dobijaju se poprečne pruge u tkanini. Ako su osnova i potka višebojne, dobijamo karirane (karo) tkanine.

20.5.4.5. Pruge boja i njihovo ukrštanje

Prilikom dizajniranja tkanina koje imaju pruge uzduž osnove ili uzduž potke ili istodobno uzduž osnove i uzduž potke, mora se imati na umu da: upotrebljene boje moraju biti u harmoniji, takođe i tonovi boja moraju pridonositi harmoniji; svaka boja i ton moraju zauzimati samo površinu koja je optimalna za postizanje harmonije; na efekat boje utiče prepletaj, pošto različiti prepletaji različito utiču na formiranje boje ili kombinacije boja na površini tkanine. Tako će se efekat boje dobiti sa keperom 2/2 (cirkas) razlikovati od efekta dobijenog keperom 3/1. Ako imamo osnovin efekat, obojene pruge će biti izražene uzduž osnove, i obrnuto, ako u prepletaju dominira potkin efekat, odnosno broj vezivnih tačaka potke, obojene pruge će biti izrazite uzduž potke. Da bismo dobili tačkaste efekte boja, treba odabrati prepletaj u kojem je broj osnovnih niti i veznih tačaka potke isti, ali i gustoća niti po osnovi i potki, a finoća pređe kao i redosled boja moraju biti isti.

Efekti, koje dobijemo zbog uzdužnih i poprečnih pruga u boji mogu se podeliti na: dvobojne uzorke i uzorke sa tri ili više boja. U uzorcima (boja) mogu biti boje poredane regularno ili neregularno. Raspored niti boja se može klasifikovati u jednostavan ili sastavljeni raport.

20.5.4.6. Jednostavni - regularni uzorci boja

Primeri regularnih (pravilnih) uzoraka u dve boje su: 4 tamne i 4 svetle niti ili 16 tamnih i 16 svetlih; za trobojne uzorke: 8 tamnih, 8 srednje tamnih i 8 svetlih. Za redovne uzorke u četiri boje možemo imati: 6 niti boje A, 6 niti boje B, 6 boje A, 6 boje C, 6 boje A, 6 boje D.

U ovom uzorku su bojom A odvojene boje B, C i D. Regularni uzorci boja se retko koriste ali mogu stvoriti vrlo ugodan izgled, ako su mali. U nekim slučajevima, uz kombinaciju prepletaja i boja, možemo dobiti prijatan izgled čak i s velikim uzorcima u boji (raye). Regularna klasifikacija boja se često koristi kao osnovni efekat u posebnim prugastim uzorcima; ponekad se delimično modifikuju kako bi postali zanimljiviji. Na primer, uzorak sa 6 pruga: svaku od ovih niti možemo modifikovati tako da ima: 6 niti boje A, 6 niti boje B, ali 5 puta; ili 6 niti boje A, 2 boje B, 2 boje C i 2 niti boje B. U karo uzorcima daju 2 boje 3 efekta. Treća nijansa dobija se na secištu uzdužnih i poprečnih pruga. Na sličan način daju 3 boje 6 efekata - na primer: boje A, B i C odvojeno, A i B zajedno, A i C zajedno, i B i C zajedno na secištima (ukrštanjima). Tabele 20-5 i 20-6.

20.5.4.7. Neregularni uzorci boja

Neregularni (nepravilni) uzorci boja omogućavaju mnogo više kombinacija boja od regularnih. Pogledajmo nekoliko primera za kombinacije dveju boja. Na primer: 6 tamnih i 2 svetle niti; ili 16 tamnih i 8 svetlih. Trobojni uzorak može imati: 12 tamnih, 8 srednje tamnih i 4 svetle niti boje. Za karo uzorak možemo imati sledeći primer: 12 x 12, 8 x 8, 4 x 4, 12 x 8, 12 x 4 i 8 x 4.

20.5.4.8. Složeni redosled boja

Tabela 20-5: Primeri sastavljenih redosleda boja

Primeri kombinacija raznobarvnih niti					
1		2		3	
1 tamna	8 x	2 tamne	6 x	2 tamni	8 x
1 svetla		2 srednje tamne		1 svetla	
2 tamne	4 x	2 svetle	3 x	4 tamne	6 x
2 svetle		4 tamne		2 svetle	
1 tamne	8 x	4 srednje tamne	3 x		
1 svetla		4 svetle			
4 tamne	4 x				
4 svetle					

Primer 1 je kombinacija 3 regularna dvobojna redosleda, Primer 2 je kombinacija 2 regularna trobojna redosleda, Primer 3 je kombinacija dvobojnih neregularnih redosleda. Složeni redosled boja

je kombinacija dvaju ili više jednostavnih redosleda, koji se mogu ponoviti više puta. Tri složena redosleda boja su prikazana u Tabeli 20-5.

20.5.4.8.a. Uzorci boja u kojima boje menjaju položaj (raport)

Mogu postojati takvi uzorci u kojima jedna boja preovladava u jednom delu uzorka, a u drugom delu preovladava druga boja u istim proporcijama kao, na primer, sledeći uzorak: 8 tamnih niti, 2 svetle, 8 tamnih, zatim 8 svetlih, 2 tamne i 8 svetlih. Po istom principu mogu se rasporediti boje u trobojnom uzorku boja, na primer: 12 tamnih, 4 srednje tamne, 12 tamnih, 12 srednje tamnih, 4 svetle i 12 srednje tamnih.

20.5.4.9. Gradirani uzorci boja

Tabela 20-6: Primeri gradiranih bojnih uzoraka

Primer	Boja	Redosled boja i broj niti u pojedinoj boji											
1.	A	1		3		5		7		9		11	
	B		2		4		6		8		10		12
2.	A	2		6		10		14		18		22	
	B		4		8		12		16		20		24
3.	A	2		4		8		16		8		4	
	B		4		8		16		8		4		2
4.	A	2		4		6		8		10		12	
	B		12		10		8		6		4		2
5.	A	2		4		6		8		6		4	
	B		3		3		3		3		3		3
6.	A	1		3		5		7		7		5	3
	B		2				6				6		2
	C				4				8				4

U takvim uzorcima površine, koje zauzimaju pojedine boje, postepeno se povećavaju ili smanjuju kao što je prikazano u tabeli 20-6. U primeru 1 prikazano je jednostrano senčenje u kojem se broj niti jedne i druge boje postepeno povećava; u slučajevima 2 i 3 dolazi do obostranog senčanja tako da se najpre povećava broj niti jedne i druge boje, a zatim se ponovo smanjuje, ali se broj niti pojedinih boja uzorka povećava i smanjuje postepeno. U primeru 4 prikazano je obrnuto senčanje - broj niti jedne boje se postepeno povećava, dok se istovremeno smanjuje broj niti druge boje. U slučaju 5, prva boja (boja A) je obostrano senčanje, dok nema promene broja niti u drugoj boji; u primeru 6 prikazano je senčanje trobojnog uzorka.

20.5.4.10. Modifikacije linijskih (prugastih) i kariranih bojenih uzoraka

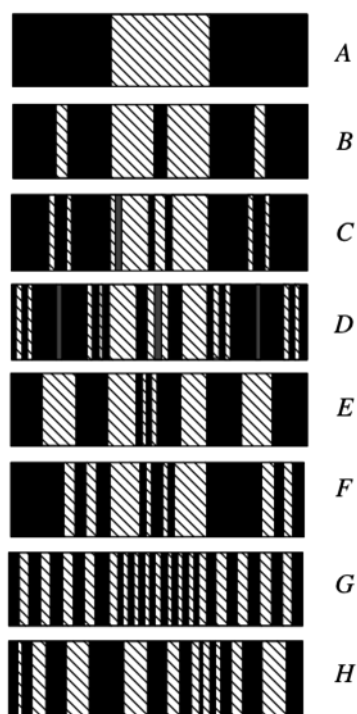
Jedna od glavnih karakteristika dizajniranja prugastih i kariranih uzoraka boja je upotreba velikog broja različitih efekata pomoću malih promena međusobnog redosleda obojenih niti. Primeri prikazani na slici 20-37 ilustruju opšti sistem po kome se modifikuju pruge boja.

Ovde su prisutne samo dve boje, ali metoda je pogodna i za uzorke s više boja. Pod A imamo regularne pruge. Prva modifikacija je izvršena pod B (pruge), druge boje u središta linija pod A (slučaj C). Simetrija boja kod uzorka se može smanjiti uvođenjem jedne linije druge boje na kraju jedne od osnovnih linija boja, kao što je to učinjeno u slučaju C. U primeru D je prikazana modifikacija koja ima simetričan oblik. U primerima E i F, jedna polovina uzorka je simetrična, a druga polovina je asimetrična. Sastavljeni niz obojenih niti prikazan je pod G, a gradirani uzorak boja prikazan je pod H, gde su u široke pruge jedne boje umetnute uske pruge druge boje. Druga modifikacija je napravljena umetanjem po dve uske linije.

20.5.4.10.a. Ujednačavanje kontrasta u uzorku boja

Primeri dati na slici 20-37 se međusobno razlikuju po obliku i stoga čine različite stilove. U uzorcima boja je često potrebno dobiti niz efekata koji formiraju samo jedan stil. Pri dezeriranju u tom slučaju, redosled obojenih niti mora biti isti u svakom uzorku u nizu, i to u odnosu na broj niti. Razlike između uzoraka dobijaju se pomoću različitih boja; ali pravilo je da stepen kontrasta nijanse i tona ostane nepromenjen u svakom uzorku. Jednom kada se odlučimo za stil, određujemo broj boja i njihov relativni intenzitet u različitim sekcijama; najintenzivnija boja će se upotrebiti u najmanjim sekcijama (zauzeti će najmanju površinu). Za prvi uzorak odaberemo boju, a kad ustanovimo da je izbor bio pravilan, te su boje u prvom uzorku osnova za menjanje tonova u ostalim delovima - sekcijama (uzorcima) čitavog redosleda uzorka boja. Izrada takvog niza bojenih pruga prikazana je u tabeli 20-7.

U svakom uzorku (prugi) A, B i C, najmanje intenzivna boja je crna, zbog čega zauzima najveću površinu (16 niti), srednje intenzivna boja zauzima manju površinu (4 niti), a najintenzivnija najmanju površinu (2 niti). Tamnozeleno, tamnoplavo i smeđe u srednjem delu pruga moraju imati istu dubinu tona i mora postojati jednak kontrast između tamnoplave i narančaste u liniji B i između smeđe i svetlozelene u liniji C, kao i između tamnozelene i crvene u prugi A.



Slika 20-37: Modifikacije prugastih i kariranih uzoraka boja

Tabela 20-7: Redosled obojenih linija (pruga) u uzorku boja

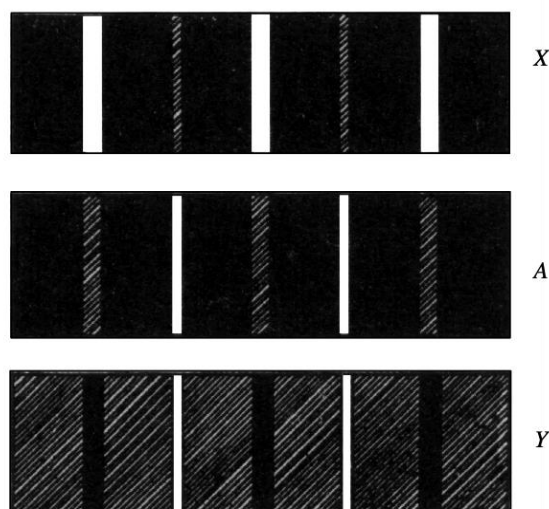
Broj niti različitih boja u prugi		Redosled obojenih pruga				
		A	B	C	X	Y
16		crne	crne	crne	crne	smeđe
16		tamnozeleno	tamno plavo	smeđe	narandžaste	crne
4		crne	crne	crne	crne	smeđe
2	crvene	narandžaste	svetlo zelene	tamnoplave	svetlo zelene	

Pruge X i Y prikazuju pogrešan način slaganja boja. U prugama X i Y imamo iste boje kao u prugama B i C, ali je razlika u redosledu boja i u površinama (broju niti) koje zauzimaju pojedine boje, zbog čega se boje neće podudarati - neće biti u ravnoteži. To je prikazano na slici 20-38, na kojoj su relativni intenziteti pojedinih boja i njihovi udeli prikazani belim, crnim i senčenim (šrafiranim) poljima (u svakoj prugi su 3 različite boje). U svakoj od pruga A, B i C boje će imati izgled kao na slici 20-35a, tako da imamo samo jedan stil; ali u prugama X i Y boje će imati takav relativan odnos kao što je prikazano na slikama 20-38X i 20-38Y. Tako dobijamo različite stilove i razliku kontrasta između pojedinih pruga u uzorku.

20.5.4.11. Kombinacije boja s obzirom na prepletaj

Prepletaji, koje koristimo u vezi s kombinacijama bojenih niti, mogu se uopšteno podeliti u tri grupe. Prepletaji koji imaju približno isti broj osnovnih i potkinih veznih tačaka na površini tkanine i omogućavaju upotrebu obojenih niti u osnovi i potki (bojeni efekti se vide na površini tkanine, bilo da je potka ili osnova). Ova vrsta prepletaja daje mogućnost za najveći raspon bojenih efekata na tkanini.

Prepletaji kod kojih preovladava osnovin efekat (veliki broj osnovnih veznih tačaka i mali broj veznih tačaka potke). Ako imamo takve prepletaje u tkanini, moguće je koristiti obojene niti samo u osnovi, jer obojene niti potke ne dolaze do izražaja. Kada govorimo o veznim tačkama, uvek mislimo na lice tkanine. Prepletaji kod kojih je preovlađujući potkin efekat mogu koristiti bojene niti uglavnom u potki, jer obojene niti osnove ne dolaze do izražaja.



Slika 20-38: Relativni intenziteti i udeli pojedinih boja u prugama boja obojenog uzorka

Literatura

1. Judd D. B., Wyszecki G. 1975. Color in business, science, and industry. Wiley-Interscience: 45–46; 105–125.
2. Butina M. 1997. O barvnih krogih. Vzgoja in izobraževanje: revija za teoretična in praktična vprašanja vzgojno izobraževalnega dela 28 (1): 37–38.
3. Grosicki Z. 1975. Watson's textile design and colour. London, Newnes-Butterworths: 388 str.
4. Helm C. E. 1964. Multidimensional Ratio Scaling Analysis of Perceived Color Relations. Journal of the Optical Society of America 54 (2): 256–262 (1964)
5. Johnston S. F. 2001. A History of light and colour measurement: science in the shadows. CRC Press: 280 str.
6. Lee Y., Lee J. 2006. The development of an emotion model based on colour combinations. International Journal of Consumer Studies 30 (29): 107–232.
7. Munsell E. A. O., Sloan L. L., Godlove I. H. 1933. Neutral Value Scales. I. Munsell Neutral Value Scale. Journal of the Optical Society of America 23 (11): 394–411.

8. Richter M. 1955. The official German standard color chart. *Journal of the Optical Society of America* 45 (3): 223–226.
9. Härd A. 1966. Philosophy of the Hering-lohanssan natural colour system. *Proceeding of International Colour Meeting, Scientific and Practical Aspects of Colour, 1–4 June 1965, Luzern, Switzerland*, vol 1: 357–366.
10. Härd A. 1966. A new colour atlas based on the natural colour system by Hering-lohanssan. V: Richter M. *Proceeding of International Colour Meeting, Scientific and Practical Aspects of Colour, 1–4 June 1965, Luzern, Switzerland*, vol 1: 367–375.
11. Wyszecki G., Fielder G. H. 1971. Color-difference matches. *Journal of the Optical Society of America* 61 (11): 1501–1513.
12. Judd D. B. 1973. Color in visual signaling. V: In *Committee on Vision, Division of Behavioral Sciences, National Research*. 65–82.
13. Judd D. B., Wyszecki G. 1975. *Color in business, science, and industry. Wiley-Interscience*: 270–274.
14. Ahrenkiel R. K. 1971. Modified Kramers–Kronig analysis of optical spectra. *Journal of the Optical Society of America* 61 (12): 1651–1655.
15. *DIN-EN-ISO-105-B02 › Textiles - Tests for colour fastness - Part B02: Colour fastness to artificial light: Xenon arc fading lamp test (prej DIN 54004)*. <https://www.document-center.com/standards/show/DIN-EN-ISO-105-B02> (14. 2. 2018).

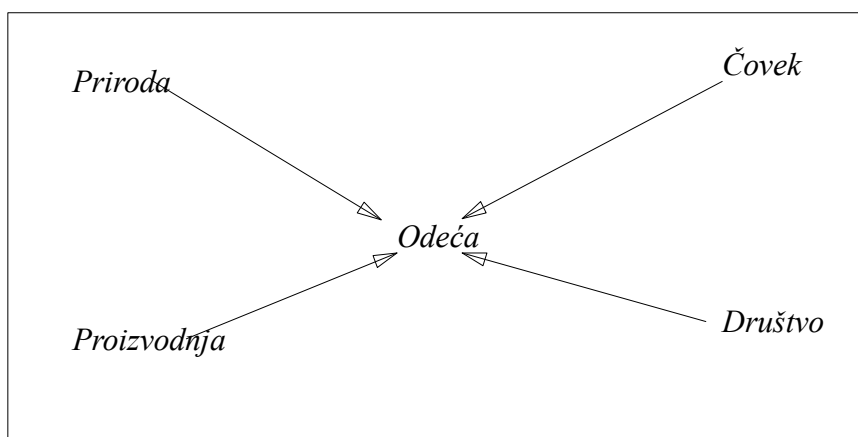
21. NEKI POČECI ESTETIKE ODEĆE

21.1. Čovekovo telo kao polazište

Najprihvaćenija definicija odeće kaže da je odeća sve što služi za prekrivanje tela. Iako je ova definicija preširoka jer obuhvata i druge stvari osim odeće u užem smislu reči, npr. ćebad - koja služe za prekrivanje, ona pokazuje da je odevanje aktivnost koja uključuje telo na jednoj i odeću na drugoj strani. Bavićemo se odnosima čoveka i odeće, koji nastaju zbog različitih uzroka i različite su prirode. U našem zapadnom društvu, piše Rudofski [1], zbog istorijskih i emocionalnih razloga smatramo da je golo telo nekompletno dok je bez odeće. Ono što nazivamo „muškarac” ili „žena”, duhovito napominje Rudofski, predmet je koji je ovijen, omotan odećom; dakle zapakovan proizvod. Suština odnosa tela i odeće je u tome da čovek dopunjava svoje telo dodacima koji imaju različite funkcije. Fink nabraja tri glavna aspekta [2, 3]:

- odevanje kao zaštitno sredstvo pred vremenskim neprilikama;
- odevanje kao konvencionalan način kostimiranja kakav se uobičajeno koristi u nekoj zajednici i ukazuje na položaj, dostojanstvo, privilegije i funkcije korisnika; te
- odevanje u skladu sa moralnim predstavama nekog naroda ili nekog kulturnog kruga.

Čovek na taj način odećom izražava svoj stav prema prirodi i društvu. Već ovi aspekti pokazuju da je struktura odnosa između čoveka i odeće dijalektičke prirode, jer ti odnosi *Društvo* potiču iz unutrašnjih kontradikcija i suprotnosti celine koju predstavlja odeveni čovek.



Slika 21-1: Shema 1 - Struktura odnosa između čoveka i odeće

Odmah možemo zaključiti da su i na području oblačenja polazne pretpostavke osnovne pretpostavke čovekovog rada: priroda, čiji je čovek deo; čovekov organizam kao celina tela i duha; i društvo, u kome živi i koje mu omogućava da proizvede potrebne stvari za život, uključujući i odeću. Ove odnose prikazujemo u obliku sheme, koja jasno ilustruje njihove dijalektičke odnose koji nastaju među pojedinim komponentama odevanja. Iz ove sheme možemo razaznati različite funkcije odeće u odnosu na prirodu odeće.

Odevanje sa svojim oblicima i strukturom karakteriše sve te različite funkcije. Ali, odevanje je važno i u ličnoj i društvenoj proizvodnji, razmeni, distribuciji i potrošnji, a tada ima i izrazito ekonomsku funkciju. Odeća je važan faktor kulture i civilizacije određenog društva.

U odnosu prema prirodi za našu temu je važno baš ono što nam je priroda, čiji smo deo, direktno dala, dakle telo, organizam kao celina tela i duha. Oblik i struktura ljudskog tela je faktor koji moramo odmah istaći kao trajan i najvažniji estetski faktor u dizajniranju (oblikovanju) odeće u svim vremenima, mestima i kulturama. Stoga će, u svim daljim razmatranjima, telo i njegov oblik biti stalna referentna tačka, pretpostavljena svim drugim faktorima koji mogu uticati na oblik i funkciju odeće. Sve na polju oblačenja se odnosi na čoveka, kao na celinu tela i uma, polazi od njega i njemu se vraća. Polazna tačka će biti golo ljudsko telo, kao prirodno dati oblik, koji odeća menja zbog uticaja drugih faktora. To znači da takođe utiču sledeći faktori koje moramo uzeti u obzir:

- golo ljudsko telo, sa njegovim motoričkim i fiziološkim zahtevima i zakonima;
- potpune razlike, istovremeno kao prirodne odrednice oblika tela i kao društveno određene funkcije polova;
- razlike u telesnoj konstituciji, koje mogu biti rasne: negroidna velika rasa, mongolska velika rasa ili anatomne kao što su atleški, leptosomni i piknik tip;
- razlike u boji kože i kose, koje mogu biti rasno, kulturološki ili pojedinačno uslovljene.
- Na funkciju i normu odeće tada mogu uticati i suodređivati je prirodni, antropološki, sociološki, kulturni i individualni faktori. Međutim, njihov estetski oblik je uvek kulturološki određen.

21.2. Kultura

Eduard Kale [4] piše da su se kulturom bavili svi oni koji su pisali i razmišljali o stvarnosti, u kojoj čovek živi kao posebna vrsta i koga ta stvarnost definiše, iako su je nazivali različitim imenima: država, politika, društvo, kolektivna svest ili nekako drugačije. Kultura je širok i složen pojam, njome se bave različite nauke, od arheologije i etnologije do različito usmerenih istorija i drugih društvenih nauka. Prvu definiciju je postavio krajem devetnajstog veka E. B. Tajlor [5] koji je napisao da je kultura složena celina i da uključuje znanje, religiju, umetnost, moral, pravo, običaje i sve ostale sposobnosti koje je čovek stekao kao član društva. Kod Marksa [6], koncept kulture je identičan konceptu društva koje čini ekonomska struktura, pravne i političke nadogradnje i svi oblici svesti, od nauke do umetnosti. A. Kroeber [7] opisuje kulturu kao masu naučenih i misaonih reakcija, navika, tehnika, ideja i vrednosti i ponašanja koja ih prouzrokuju. Za njega je kultura ukupnost proizvoda društvenog čoveka.

Sociolog Ilić [8] postavio je integralnu definiciju kulture. Po njemu je kultura „celina svih onih procesa, promena i tvorevina koji su rezultat materijalne i duhovne intervencije ljudskog društva u prirodi, društvu i u mišljenju”. Osnovni smisao kulture je, međutim, da olakšava očuvanje, postojanje i napredak ljudskog društva. Ilićeva definicija, koja je u osnovi jednaka ostalim, uvodi važnu

dimenziju smisla kulture, koja drugima nedostaje, naime da je kultura pre svega ono što očuvava postojanje i obezbeđuje napredak čovečanstva.

Neki razlikuju kulturu i civilizaciju. Generalno, pojam civilizacije se više odnosi na tehnički napredak, dok se pojam kulture koristi naročito u duhovnom napretku. Websterov engleski rečnik [9] između ostalog kaže da je civilizacija stanje ljudskog društva, koje karakteriše visok stepen intelektualnog, tehnološkog, kulturnog i društvenog napretka, dok kulturu opisuje kao estetska i intelektualna dostignuća neke civilizacije. Oba pojma se tada u velikoj meri podudaraju. Za našu temu je važno da se elementi odeće isprepliću sa elementima kulture, kao i sa elementima civilizacije, odnosno da učestvuju u duhovnom, tehnološkom i materijalnom razvoju ljudskih društava.

Svi autori obrađuju kulturu kao nadorgansku, telesnoj egzistenciji nadograđenu, društvenu egzistenciju čoveka. Naravno da to ne znači da su kulturni elementi samo duhovni. Suprotno tome, duhovni elementi se moraju realizovati u materijalizovanom, razumno pristupačnom obliku - u zvuku, znaku, slici; za našu temu u tekstilu, koži itd. Za razliku od životinja, koje su fizički i organski prilagođene određenim prirodnim uslovima, čovek pomoću akumuliranog kulturnog iskustva, prirodu prilagođava svojim potrebama kada je transformiše u kulturni oblik. U organskoj prirodi, promena se dešava direktno u organizmu pojedinca, u kulturi pojava novog kulturnog elementa ne zahteva promene ni u organizmu pojedinca ni u tipu kulture, koju samo obogaćuje. Kultura postoji izvan pojedinaca koji žive u toj kulturi; kultura živi u kulturnim oblicima i obrascima, institucijama, svetonazorima, vrednostima, običajima, u različitim proizvodima i ostalom.

Jedan od najizraženijih elemenata kulture je upotreba simbola i znakova. Žak Mariten definiše kao znak ono, što saznanju daje nešto, što on sam nije. Znak je, dakle, nešto što ne ukazuje na samog sebe, već na nešto drugo, na predmet mišljenja ili na stvar, pritom on sam nije taj predmet nego ga samo označava. Za čoveka je najznačajniji način korišćenja znakova govor, pomoću koga se naše misli materijalizuju u zvukove. Međutim, ovo nije jedini način korišćenja znakova i simbola. U svim aktivnostima, gde prenosimo svoje misli, u nauci, tehnologiji, umetnosti, itd., koristimo sopstvene sisteme znakova, specifične jezike, kroz koje objektivizujemo i prenosimo misli, iskustva i spoznanja sebi i drugim članovima društva [10].

Različiti oblici govora i jezika su mogući jer znakovi imaju dvostruku prirodu: istovremeno su pojmovni (apstraktni, nematerijalni) i fizički, senzualni (materijalni, senzualno dostupni). Pojmovi bez fizičke forme ne mogu biti sredstvo komunikacije. Pisma koja nije napisana, slika koja nije naslikana, odeća koja nije napravljena u materijalu, nisu ni pisma, ni slika, ni odeća. To su samo misli koje ostaju kod onih koji ih misle. Ti različiti oblici znakovnih sistema omogućavaju samo formiranje kulturne stvarnosti kao nadogradnju individualnih stvarnosti. Kulturu omogućavaju znakovi i simboli u kojima se misli pretvore u materijale, pritom preoblikujući prirodne supstance u kulturne forme. Promena prirodnog oblika tela odećom je poseban način govora, isto kao i pokreti tela koje ova odeća dozvoljava ili sprečava.

Kale [4] piše da su kulturni uzorci posebnost kulturne stvarnosti. Osnovni kulturni uzorak je znak (na primer, reč), koji je uređen uzorak i označava neki pojam, to je pojavni oblik pojma. Svi pojavni oblici neke kulture, od reči, odeće i alata do institucija, predstavljaju kulturne uzorke. Ono što nije postalo kulturni uzorak ni u jednoj kulturi, nije sastavni deo te kulture. Kulturni obrasci su obrasci za (nešto) npr. melodiju, reč, crtež, formulu, odeću; pored toga, postoje obrasci o (nečemu), sadržaju melodije, reči, crteža, formule, odeće.

Kulturni obrasci, dakle, uvek prenose poruke, sadržaje u sopstvenom obliku, pored toga što su i sami oblici. Oni prenose određene programe akcije, na dva nivoa, na simboličnom i materijalnom. Oni su, kako Kale piše [4], simbolično oblikovani vid stvarnosti i programi ili modeli za stvarnost, za oblikovanje stvarnosti. Kulturni obrasci stoga omogućavaju udvajanje procesa, koji se odvijaju s jedne strane u stvarnosti, na materijalima, a sa druge strane istovremeno dobijaju svoju kulturnu simboličku sliku i značenje u obliku proizvoda rada.

Čovek tada istovremeno transformiše svoje okruženje na kulturnan način na dva nivoa. U mislima on to registruje, prepozna i izrazi kroz znakove. Pošto su znakovi materijalne prirode, oni objektiviziraju misao, prenesu je u materijalni nivo (ravan) i pri tom preoblikuju materiju iz njenog prvobitnog prirodnog stanja u novo, zamišljeno stanje. Ti novi oblici materije nose značenja koja su ih preoblikovala, oni su jedinstvo i celina značenja i materije. Svaki kulturni proces integriše i povezuje u celinu mentalne i fizičke, duhovne i materijalne procese u kulturne forme, koji čine duhovnu i materijalnu stvarnost neke društvene zajednice. Kroz kulturu čovek sam izražava svoje shvatanje stvarnosti.

21.3. Likovna umetnost

Likovno delo se obično klasifikuje kao umetnost. Reč „umetnost” sama po sebi kaže da to nije nešto što priroda daje, već nešto što je veštački stvoreno, odnosno proizvod čoveka kao što su i nauka, filozofija, tehnika, proizvodnja. Mi volimo podeliti ljudske aktivnosti na duhovne i materijalne, mada se iz odeljka o kulturi vidi da nema duhovne aktivnosti bez materijalne komponente, a ne može biti ni materijalne aktivnosti bez mišljenja. Različite su proporcije među duhovnim i materijalnim komponentama kod različitih ljudskih aktivnosti.

Ako je filozofija čisto mentalna potraga za istinom, koja za svoj rad ne traži bilo kakve materijalne komponente, ako je nauka misaono spoznavanje objektivnih zakona prirode, dobijeno direktnim eksperimentisanjem sa prirodnim supstancama i energijama, onda možemo reći da je likovna

umetnost spoznaja stečena direktnom čulnom percepcijom i emocionalnim iskustvom čoveka, o prostoru i telima u njemu, izražena uz pomoć likovnih elemenata i materijala. Likovna misao tada prepoznaje i doživljava vidljivi i opipljivi prostor i, upotrebom zakonitosti tih dvaju čula, preoblikuje ga u novi prostor, u nove oblike bivanja prostora i tela u njemu. Budući da je samo ljudsko telo i odeća na njemu deo prostora jer je on formirana zapremina, likovna umetnost na polju odeće se bavi upravo oblikovanjem prostornih karakteristika tela. Vizuelna komponenta odeće se stoga može opisati kao veštačka transformacija prirodnog oblika ljudskog tela, korišćenjem odgovarajućih materijala, tekstila, kože i drugih.

Naravno, ljudsko telo, s obzirom na svoju konkretnu, materijalnu i samim tim čulnu percepciju, već ima određene prostorne karakteristike, koje se opažaju vidom i opipom. Idealno lepo telo je već kulturno definisano, jer je ideal lepote uvek definisan kulturnim merilima i kriterijumima. Neke kulture, npr. kulture drevne Grčke, nastale su iz lepote ljudskog tela, definisane na takav način, koja je i dalje osnova za evropsko shvatanje telesne lepote. Većina primitivnih kultura takođe potiče iz prirodno lepog ljudskog tela, kome je dodato samo malo odeće, u odnosu na klimu. U najvećem delu, kulture samo izuzetno omogućavaju da se golo telo neometano manifestuje kao kulturna vrednost, obično dozvoljavajući samo određenim delovima tela da se pokažu nepokriveni odećom, a drugim delovima menjaju prirodni oblik menjanjem odeće. Na taj način kultura transformiše vidljivu priliku prirodnog tela u likovnu kulturnu priliku, koja se razlikuje od prirodne po transformisanim delovima.

Proizvod slikara je slika, nastala na dve dimenzije slikarske površine, a proizvod vajara je skulptura formirana u tri dimenzije kiparskog prostora. Proizvod dizajnera odeće je odeća, koja predstavlja transformaciju telesnog prostora, volumena ljudskog tela. Dizajner odeće koristi, kako slikarske elemente u dekorativnom izgledu dvodimenzionalnih tekstilija, tako i skulpturalne elemente modulacijom mase tela pomoću ovih tekstilija.

Oblikovanje odeće je tada stvaranje kulturne slike čoveka direktno na samom čoveku. Odeća ima naime mnogo različitih funkcija, od zaštite tela od prirodnih pojava do društvenih i kulturnih funkcija, koje direktno utiču na oblik odeće. Umetničko-estetska dimenzija odeće direktno je proizašla iz uzimanja u obzir ovih funkcija, koje dizajneri moraju rešiti likovnim sredstvima. Likovna forma odevnog predmeta je dvaput socijalno uslovljena: prvo praktičnim funkcijama odeće, a zatim kulturološkim funkcijama, koje karakterišu osobu koja nosi taj odevni predmet kao pripadnika neke kulture. Odeća ispunjava upotrebne i simbolične funkcije svojom materijalnom i estetskom formom.

Funkcija umetnosti uopšte je oblikovanje i izražavanje individualnog doživljavanja prirodne i društvene stvarnosti. Dakle, ima individualne i društvene osobine. Nastaje iz individualnog doživljaja umetnika, koji svoju stvarnost shvata i doživljava kao celokupno biće, kao totalni čovek, koji direktno i indirektno učestvuje u svemu što ga okružuje u prirodi i društvu. Društvo svoj odnos prema tome određuje kroz svoje kulturne navike, običaje i institucije.

Umetnici prihvataju, ili delom odbacuju društvene odredbe i prisilu. U svojim delima oni zadržavaju ono što mogu prihvatiti i menjaju ono što više ne mogu da prihvate. Na taj način transformišu kulturno date forme i predlažu preuređene ili potpuno nove, koje odražavaju promenjene ili nove društvene uslove i odnose, koji takođe određuju njihov pogled na prirodu. Sa ove tačke gledišta, Herbert Rid [11] je u pravu kada kaže da je „priroda” samo druga reč za društveni kontekst, koji definiše koncepciju i viđenje prirode. Umetnost uvek govori o položaju pojedinca u društvu i prirodi, i to izražava u svojim oblicima. Dakle, kulturu transformišu i stvaraju pojedinci svojim odnosom, ozbiljni i radni pojedinci, kao što je Marks napisao, svojim akcijama i reakcijama na postojeće društvene i kulturne odnose i oblike. Umetnosti su tada po svojoj prirodi individualne, umetnički izraz i izražavanje se stvara radom pojedinca - umetnika, uključujući i umetnosti koje su po prirodi kolektivne, npr. u pozorištu.

Kada većina likovnih umetnika oseti i doživi prostor svog društva na sličan način, izražavajući ga istim izrazima i istovetno, stvara se novi likovni stil. Ako ga usvoji većina članova njihovog društva, ovaj stil postaje novi oblik likovne kulture, stil koji odražava stanje društva u nekom trenutku njegovog razvoja. Međutim, svaki stil omogućava mnogo pojedinačnih formulacija, zasnovanih na istoj osnovnoj šemi. Upravo ta osnovna šema određuje formalne i estetske karakteristike stila. To se odnosi na samu likovnu umetnost, kao i na njen poseban oblik, odeću.

21.4. Likovna umetnost kao oblik duhovne i materialne proizvodnje

Likovna umetnost je takođe specifičan oblik proizvodnje. Prva pretpostavka likovne proizvodnje je ljudski organizam, koji omogućava likovni rad. Sposobnost likovnih osećaja oka, koje vidi na stvarima više nego bilo koje životinjsko oko; opip, koji u potpunosti dopunjava našu sliku i razumevanje stvari; ruke, sposobne za najsloženije radnje omogućavaju dizajn likovnih proizvoda, izražavanje formama, bojama, teksturama, koje nose likovni materijali. Tek ta materijalnost likovnih izraza omogućava da svest aktivnih pojedinaca - likovnih producenata i korisnika- stupe u kontakt u likovnoj komunikaciji

Pretpostavke likovne produkcije potvrđuju se u više slojeva. Priroda se može uključiti u prvi sloj:

- kao izvor likovnih supstanci materijala;
- kao izvor vidljive i opipljive percepcije, a samim tim i prostora, oblika, boja itd., kao i osnovnih postupaka dizajniranja, koje ljudi uče iz prirodnog dizajna;
- kao izvor svih vrsta spoznanja koje se mogu izraziti likovnim putem, kao i specifičnih likovnih spoznanja.

Drugi sloj predstavlja sam čovečji organizam.

Najpre (a) je zakonitost same materije, iskazane u delovanju organizma *m*, posebno nervnog sistema, u kojem je, prema Engelsu, priroda dostigla svesnost same sebe.

Potom (b) senzorni modaliteti, koji određuju likovne izražajne i dizajnerske mogućnosti, na osnovu kojih čovek mora transformisati vidljivu prirodu i materijale; i

(c) najvažnije, svest i mišljenje, koji povezuju prva dva sloja - prirodu i ljudski organizam sa trećom pretpostavkom proizvodnje, društvom. Prve dve pretpostavke postaju dostupne čoveku na specifično ljudski način tek u društvu i njegovoj kulturi

U ovom trećem sloju možemo razlikovati:

- proizvodne snage, sredstva i odnose;
- kulturna dostignuća, navike i običaje, načine osećanja i razmišljanja i načine izražavanja misli i emocija, i još
- specifična likovna znanja, sredstva za proizvodnju i tehničke postupke, materijale i sisteme likovnog izražavanja.

Oba prva sloja, priroda i ljudski organizam, su nekakve konstante koje se menjaju malo ili nimalo. Stoga je u toliko više promenljiva treća pretpostavka, društvena zajednica, njeni proizvodni odnosi i uslovi, odnosi između pojedinaca, između njih i zajednice, zajednice i prirode, koji iz njih proizilaze.

Predmet transformacije likovne produkcije je prostor i tela u njemu, svrha likovne prakse je da transformiše vidljivi i opipljivi prostor i tela u njemu, njihove prostorne i površinske karakteristike, na takav način da odgovaraju stalnim potrebama pojedinca a u skladu sa mogućnostima koje pruža društvo. Kako je ljudsko telo deo prostora i njegovi odevni predmeti prostorske formacije, likovna praksa se takođe bavi dizajnom odeće i, kroz njih, transformacijom ljudskog tela. U tom procesu je ljudsko telo konstanta, a odeća je promenljivka koja menja njegov prirodni oblik, dodavanjem odeće napravljene od različitih odgovarajućih materijala. Likovna umetnost tada stvara nove mogućnosti postojanja tela i prostora, dizajnirajući ih u skladu sa zahtevima i potrebama pojedinca i društva u kome živi. Skulptura, arhitektura i dizajn stvarno i direktno menjaju ljudsko prebivalište, predmete u njemu i samo ljudsko telo, u skladu sa načinom doživljavanja, osećanja i razumevanja stvarnosti u određenom društvu.

Naravno, likovna umetnost to ne može učiniti bez pomoći drugih društvenih praksi, kao što su nauka, tehnologija itd. Njeni proizvodni procesi se zasnivaju na naučnim saznanjima, tehničkim postupcima, sredstvima i alatima, kao i na svim spoznajama koje se mogu steći iz drugih ljudskih aktivnosti. Za umetnikove potrebe često su dovoljni jednostavni alati i tehnička oruđa, iako mnogi koriste i najsloženije tehničke postupke, koje omogućava tehnološka nauka. Slikar može prstom nanositi boju, vajar može modelirati rukom, ali slikar takođe koristi i najmoderniju vazdušnu četku a vajar najsavremenije metode zavarivanja. Jedini kriterijum je da li mu ovi alati i postupci omogućavaju da na jasan način izrazi svoje misli i iskustva.

Slično je i u dizajniranju odeće. Jednostavni tkalački razboji mogu biti dovoljni za tkanje, a mogu se koristiti i najnovije automatske mašine. Odeća se može ručno krojiti i šiti ili se to može raditi na složen i visoko organizovan način industrijske proizvodnje. Oba načina postoje i danas. Mnogo je ljudi koji i dalje znaju sami dizajnirati i šivati odeću, ali naravno, takav način manuelne proizvodnje ne može zadovoljiti masovnu potrošnju savremenih kompanija, kojima odgovara samo industrijska proizvodnja. Više o njenom uticaju na dizajn i estetsku funkciju kasnije.

21.5. Estetika

Izraz „estetika” uveo je u 18. veku nemački filozof A. G. Baumgarten, koji ga je upotrebljavao da označi znanje o senzualnoj spoznaji. Uopšte, danas se estetika označava kao filofska teorija o lepoti i umetnosti kao ostvarivanju lepote. Sam termin poticao je od grčke reči „aisthesis” - osećaj. Dakle, estetika u svom naslovu ima dve komponente: filofsku doktrinu čulne spoznaje i filofsku doktrinu definisanja lepog [12].

U širem smislu, estetika se bavi proučavanjem ostvarivanja harmonije. Ovaj se pojam zasniva na estetskoj teoriji: harmonija se može definisati kao ostvarenost, skladnost delova i komponenti, mentalnih, emocionalnih i stvarnih, izraženih osećanjem fizičke i/ili duhovne ugodnosti. Njena

suprotnost je disharmonija, što je neusklađenost delova i komponenti, koju osećamo kao neprikladnost.

Harmonija se može ostvariti kroz devet glavnih estetskih kategorija: lepo, veličanstveno, ljupko, uzvišeno, tragično, dramatično, duhovito, komično i šaljivo. Sve nabrojane estetske kategorije se mogu izraziti i odećom, ali ovde ćemo se baviti pre svega estetikom u užem smislu, a ne naukom o lepoti. Pojam lepote je različit u različitim društvima, kulturama i vremenima.

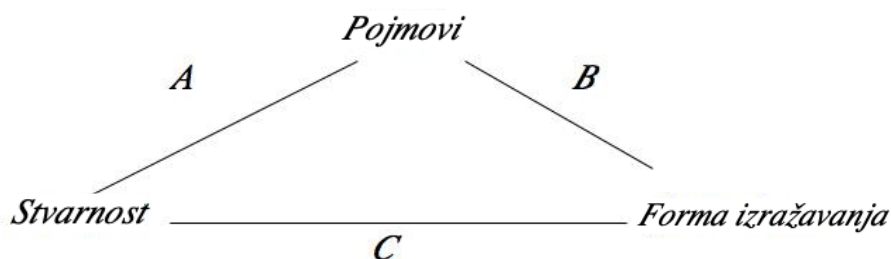
Postoje dva oblika lepog: prirodno lepo i veštački lepo. Prirodna lepota je ona koju priroda sama dizajnira. Na području oblačenja, dakle, prirodno se odnosi naročito na ljudsko telo, na njegove prirodne date oblike i funkcije. Osećamo zdravo i skladno telo kao lepo, a tu lepotu prepoznamo kada opazimo usklađenost telesnih formi sa njihovim organskim zadacima. Mentalna osnova lepote ovde je i koherencija, odnosno sklad forme (tela) i sadržaja (organske funkcije).

Takva definicija prirodne lepote ljudskog tela je, naravno, samo polazna osnova, kojoj se pridružuju još rasni, kulturni i drugi društveni faktori. Doživljavanje lepote ljudskog tela određeno je kulturološkim kriterijumima jer svako zdravo i organski funkcionalno telo ne doživljavamo kao lepo.

Kao što vidimo, kulturni kriterijumi su već uključeni u estetsko vrednovanje lepote ljudskog tela. Stoga je vrednovanje prirodne lepote tela direktno povezano sa ocenom veštačke lepote koju je stvorio sam čovek. Prvo, usmeravanjem kulturnih pojmova i kriterijuma na izbor onih karakteristika prirodno lepog tela koje su konstitutivne za estetiku određene kulture, i ocenom kao lepih pre svega onih tela koja su već prirodno formirana. Ideal telesne lepote se, dakle, uveliko menja u različitim kulturama i vremenima.

Samo tako vrednovano telo je osnova za dizajn odeće, koja mu dodaje svoje (ob)likovne kvalitete. Dizajniranje „poboljšava“ kulturno određenu lepotu tela, promenom oblika, premeštanjem težišta mase pojedinih volumena, dodavanjem ili uklanjanjem tekstilija na određenim delovima tela; ova nadogradnja ima raspon od npr. jedva vidljive vrpce oko struka kod nekih primitivnih plemena, preko slikanja i tetoviranja u drugim kulturama, do promena prirodne telesne mase, npr. u renesansi i baroku, pa čak i do potpunog prekrivanja tela, kao što su ženske nošnje u nekim muslimanskim kulturama. Ovi primeri pokazuju da nije sve što je označeno kao lepo, lepo na isti način, i lepo za sve. Lepote su različite ne samo za pojedince nego i za ljudske zajednice. Nasuprot lepom je ružno, što je nedostatak lepote onakve kako je gore definisana. Kao što je relativna lepota, tako je relativna i ružnoća: ono što je nekome lepo, ružno je za drugog; ono što neka društva smatraju lepim, druga odbacuju kao ružno. Stoga treba naglasiti da je pitanje procene lepog više socijalno nego subjektivno pitanje. Pojedinač obično sebe definiše u okviru kriterijuma i običaja svoje kulture i svoje društvene grupe.

Iako nije moguće dati opštevažeću definiciju pojma lepog, moguće je naznačiti njegovu strukturu i odnose njegovih činilaca. Osnovu čine: postojeća realnost (prirodna i društvena), saznanja o realnosti, sadržana u konceptualnim sistemima (filosofija, nauka i umetnost), te načina i oblika izražavanja tih saznanja.



Slika 21-2: Shema odnosa pojmovi-stvarnost-forma izražavanja

U ovoj shemi možemo spoznaje u pojmovima označiti kao sadržaj našeg odnosa sa stvarnošću, a formu kao izraz tog sadržaja; odnosi između pojedinih komponenti moraju biti skladni. Usklađenost mora biti dostignuta između stvarnosti i saznanja o njoj (A), koja je odražavaju. Mora postojati i usklađenost između spoznaje i forme, izraženog sa (B); i između forme, koja je uvek materijalna, i stvarnosti na koju se odnosi (C). Razumljivo je, međutim, da spoznaja nikada ne odražava svu realnost već samo onu koju pojmovi obuhvataju. Stvarnost je uvek bogatija od pojmovnih saznanja koji su iz nje apstrahovani. Stoga je razumljivo da se oblik izražavanja uvek razlikuje od stvarnosti, jer izražava apstrahovanu uopštenost spoznanja, a ne samu stvarnost. Međutim, ono izražava i odnosi se na onaj deo stvarnosti, koji je u određenom vremenu čovekovog života i njegovog društva, tako ili drugačije važan, inače se ne bi sa njime zanimao.

Svaka umetnost odražava stvarnost na drugačiji način i svoja spoznanja i iskustva izražava drugačijim sredstvima svog specifičnog jezika. Mogućnost i zadatak likovne umetnosti je da likovnim pojmovima izraze i njima obuhvate sadržaj doživljaja vidljive i opipljive stvarnosti prostora i tela, da taj svoj doživljaj, osećaj i spoznanje izraze likovnim izrazom - oblikom, bojama i materijalom. Na taj način oni transformišu postojeći i polazni oblik prostora i tela u novi, društvenom položaju prihvatljiviji oblik. Takva trostruka harmonija se može nazvati lepotom likovne umetnosti i predstavlja kriterijum za estetsko vrednovanje likovne lepote [10].

Svaki oblik likovne forme je, dakle, izraz kulturnog vrednovanja na osnovu već nabrojanih društvenih funkcija i njihovih zahteva u datom trenutku istorije. Skladnost između oblika i kriterijuma vrednovanja opisujemo izrazom lepo.

Ako tu strukturu pojma lepog prenesemo na područje odeće, reći ćemo da je, polazeći od prirodno i kulturološki određene lepote ljudskog tela, odeća dizajnirana tako da odgovarajućim likovnim pojmovima i njima odgovarajućim likovnim izrazima i materijalima, skladno ispunjava primarne funkcije zaštite tela i sekundarne društvene funkcije, koje pojedina kultura odredi kao društveno značajne prilikom dizajniranja odeće. Estetska lepota odeće je, dakle, sklad između društvenih funkcija odeće i likovnog koncepta i materijala, koji upotpunjuju prirodni oblik tela tako da telo postaje kulturološki prihvatljivo i stvara osećaj ugone za onoga koji takvu odeću koristi kao i za

posmatrača. Lep odevni predmet je, dakle, uvek istorijski postignut sklad kulturne stvarnosti ljudskog tela.

Drevni filosofi podučavali su da je za lepotu neke stvari potrebno troje: savršenstvo, pravilna proporcija i jasnoća. Stvar je savršena, učili su, ako ima sebi primeran oblik i sve što mora imati; pravilnu proporciju ima kada postoji dobar odnos između njegovih delova, npr. simetrija, zlatni odnos itd; jasnoća se postiže kada budi lepa osećanja, kada lepota blista iz nje. Možemo reći da se to odnosi i na odeću.

Pored para lepo - ružno, među umetničkim i estetskim pojmovima je značajan par sadržaj - forma. Sadržaj se može definisati kao skup doživljavanja i spoznavanja o stvarnosti, koji su za čoveka uvek socijalno uslovljeni. Stoga možemo reći da se prilikom dizajniranja odeće sadržaj iskustvenog i spoznatog uvek preklapa s kulturno odabranim funkcijama odevanja, jer preko tih funkcija društvo reguliše odnos prema ljudskom telu i određuje način njegovog doživljavanja. Time vidljivo označava odnose između klasa, slojeva, polova i generacija njegovih članova.

Sadržaj se izražava u formi. Forma u najširem smislu je sve što na bilo koji način oblikuje materiju. U likovnoj umetnosti forma označava likovnu celinu i način njenog umetničko - dizajnerskog i prostornog postojanja. Oblik odeće uvek povezuje različite umetničke odrednice - oblike, masu, zapremine, boje, teksture, materijale itd. – u celinu sa telom. Forma se odnosi na likovnu strukturu te celine, koja se manifestuje kao spoljašnost obučenog čoveka. Sa ove tačke gledišta, čak je i goli čovek obučen ako to zahteva kulturna konvencija.

Kada govorimo o estetici i estetskim osobinama, moramo praviti jasnu razliku između estetike i umetnosti. Estetika je grana filozofije, znači nije umetnost. Da bi estetika bila moguća, najpre mora postojati umetnost. Umetnost omogućava samo estetsko razmišljanje o njoj. Iz toga sledi da umetnik nije filozof-estetičar koji ni sam nije umetnik, mada, naravno, umetnik može i filozofirati, a filozof može stvarati umetnička dela. Estetika je filozofsko razmišljanje o umetnosti i vrednovanje njenih proizvoda. To je, dakle, zadatak korisnika umetnosti - gledaoca, slušaoca, čitaoca. Pošto je umetnik prvi posmatrač svog dela, on naravno može razmišljati i o njemu kao i o njegovoj estetskoj vrednosti. Lepo u svojoj suštini, kaže filozof Nikolaj Hartman [13], uvek postoji u odnosu subjekta koji posmatra i onoga što njegov aktivni položaj pretpostavlja.

Na području oblačenja možemo naići na analogne situacije. U današnje vreme, dizajner odeće obično nije i korisnik te odeće, obično je dizajnira za druge koji to ne rade sami. Međutim, to nije uvek bio slučaj, pa čak i danas nalazimo ljude koji sami sebi dizajniraju odeću. U primitivnim društvima nije postojala takva podela rada, ona se pojavila tek sa zanatlijama, raširila se manufakturama i zavlada u industrijskoj proizvodnji. U drevnim kulturama, kulturni kriterijumi su bili poznati svima tako da je svako mogao da dizajnira kulturno lepu odeću. Danas takvih homogenih kultura više nema, estetske kriterijume određuju sami proizvođači i specijalizovani dizajneri, a život se tako brzo razvija da ne postoje jedinstveni i čvrsti kriterijumi. Kažemo da nema više „ukusa”.

Izraz „ukus” je u estetici uobičajen. Za poznavaoaca lepog kaže se da ima ukusa, odeća je ukusna itd. Sam termin - kao što jasno pokazuje - potiče iz područja osećaja ukusa, odnosno iz područja hrane, gde dobar ukus hrane izaziva osećaj ugodnosti. Ukusna hrana takođe se mora lepo servirati, što dodaje osećaj vizuelne ugodnosti. Stoga je termin „ukus” počeo da opisuje opštu sposobnost razlučivanja, onu sposobnost ili moć razuma koja razlikuje lepo od ružnog, dobro od lošeg (ne u etičkoj oblasti).

Iz područja čulnog, fizičkog osećanja, termin se preusmerio na polje intelektualnih operacija. Međutim, budući da je sistem vrednosti čoveka uslovljen njegovom kulturom, estetski ukus je uvek povezan sa dobrim poznavanjem kulturnih kriterijuma, pravila i običaja, koji važe za određeno područje estetskih predmeta i pojava, a naročito za oblast umetnosti. Estetski ukus se stoga može definisati kao dobro poznavanje kulturnih merila, navika i kriterijuma pomoću kojih se može definisati estetska vrednost kulturnog objekta ili pojave. Obično kvalitet estetskog ukusa zavisi od dva faktora: urođenog dara i estetskog obrazovanja, stečenog u školi ili pojedinačno. Estetska ocena uvek izražava mišljenje korisnika proizvoda, a ne njegovog proizvođača. Sa te tačke gledišta on kritikuje ili hvali proizvođača.

21.6. Oblikovanje i estetika u uslovima industrijske proizvodnje

Likovna umetnost je celina i jedinstvo duhovnog i fizičkog rada. Umetnik svoju ideju u materijalu ostvaruje pomoću tehnoloških postupaka koji su neophodni za likovnu proizvodnju. Likovne materijale i tehnike proučava likovna tehnologija. U likovnoj praksi se moramo baviti umetnošću i odgovarajućom tehnologijom, jedno bez drugog nije moguće, umetnik može zamišljati i dizajnirati samo koristeći odgovarajuće tehničke postupke. Likovna misao se pritom artikuliše u skladu sa mogućnostima artikulacije odabranog materijala, a ovaj izbor zauzvrat omogućava da se sama misao artikuliše. Ovu dvojni artikulaciju materijala i ideja povezuju tehnički postupci, koji to direktno omogućavaju i uslovljavaju. Likovni tehnički postupci od suštinskog su značaja za likovno delo. Možemo reći da je umetničko stvaranje jedinstvo i celina umetničke misli, likovnih materijala i likovnih tehnika.

Slična struktura se može naći i u industrijskoj proizvodnji: u njoj učestvuju likovna umetnost, nauka i tehnologija. Nauka doprinosi svojim spoznajama o zakonitostima prirode. Tehnologija pretvara ova saznanja u tehničke postupke koji su potrebni da bi se priroda preoblikovala u oblik potreban čoveku. Likovna umetnost, na osnovu principa dizajna i pravila, stvara nove forme samo kao mogućnost kulturnog postojanja tela i prostora.

Ti se odnosi šematski mogu zapisati: umetnost - tehnologija - nauka. Nauka i tehnologija su direktno i čvrsto povezani jer naučno znanje omogućava tehničke procese. Takođe, umetnost i tehnologija su čvrsto povezani u samom proizvodnom procesu kada tehnika proizvodi predmete po modelu koji je predvideo dizajner. Međutim, između umetnosti i nauke – koja je u ovom slučaju prirodna nauka - ne postoji direktna veza. Može se reći da se u industrijskom dizajnu ujedinjuju tri profesije: naučnik - prirodnjak (fizičar, hemičar, matematičar), inženjer - tehnolog i likovni umetnik - dizajner. Idealan

profil za područje industrijskog dizajna bi stoga spojio sve tri profesije i područja u jedno. Ovo je veoma zahtevno i preširoko područje znanja, kojim bi jedan čovek teško ovladao.

Teoretičari industrijskog dizajna smatraju da, iako dizajner mora biti dovoljno cenjen i obrazovan u nauci i tehnologiji, on ne treba istovremeno da bude umetnik, naučnik i inženjer. Mora da poznaje i ovladava kreativnim procesima i principima dizajna u umetnosti, mora biti dovoljno širokog znanja u oblasti tehnologije da može da sledi zahteve tehničkih procesa i da može kompetentno i profesionalno da razgovara sa inženjerom tehnologom koji vodi industrijski proizvodni proces; u oblasti nauke, on mora poznavati i ovladati racionalnim razmišljanjem i sistematskim analitičkim metodama kao i eksperimentisanjem. Njegov glavni zadatak je kreirati, oblikovati formu proizvoda, uzimajući u obzir njegove prirodne i kulturne funkcije kojima je namenjen.

Industrijski dizajneri, dakle, nisu umetnici, čak to ne moraju ni biti. Zašto? U poglavlju o likovnoj umetnosti smo rekli da je zadatak umetnosti individualno izraziti subjektivni doživljaj i poimanje stvarnosti. Akcenat je na subjektivnom izrazu, na onome što sam umetnik oseća i shvata. Ukupna percepcija je izražena umetničkim delom, gde dobija sebi primeren oblik. Međutim, umetničko delo nije isto što i auto, stolica ili haljina kojima je potrebna neka praktična svrha. Umetničko delo - uprkos svojoj materijalnosti - pripada sferi duhovnog, ono je namenjeno estetskoj kontemplaciji, što se ne može reći za upotrebne predmete. Stoga umetnik kroz svoje umetničko delo može ostvariti samo svoju potrebu za izražavanjem samog sebe. Ako koristimo ekonomske izraze, mogli bismo reći da korisna vrednost umetničkog dela predstavlja vrednost za samog umetnika koji je, stvarajući ga, udovoljio svojoj potrebi za likovnim izrazom. Umetničko delo ima vrednost razmene tek kada drugi gledalac prepozna u njoj upotrebnu vrednost za sebe, kada otkrije da je slika takva da je želi videti mnogo puta jer ga to ispunjava. U ovom slučaju je umetnik izrazio i stvorio oblik, koji gledalac oseća kao svoj. Zato smo takođe napisali da umetničko delo postaje društveno značajno kada ga šira društvena zajednica ili društvo priznaju kao izraz svog viđenja sveta. Tada individualni izraz umetnika postaje izraz vremena i društva, u kojem pripadnici tog društva nalaze upotrebnu vrednost za sebe - jer ih izražava onako kako bi i oni sami, ukoliko bi bili sposobni. Upotrebna vrednost se u tom procesu pretvara u kulturno-estetsku vrednost.

Slični mehanizmi deluju i na području proizvodnje odeće. U primitivnim društvima, kada nije postojala društvena podela rada, dizajner odeće je istovremeno bio njen korisnik, odnos je tada bio kao što je gore opisano: oblik odeće odražavao je onoga koji ga je stvorio i udovoljavao je njegovoj upotrebnoj i estetskoj nameni. Podelom rada pojavili su se zanatlije: u zanatskom periodu korisnik je naručio npr. cipele kod obućara koje mu je on dizajnirao prema meri i ukusu. Ukus im je bio sličan pošto ga je određivala njihova zajednička kultura. Savremena fabrika cipela više ne poznaje budućeg korisnika svojih cipela i njegove subjektivne potrebe, pa ga ne može uzeti u obzir. Pojedinačni ukus kao odlučujući faktor može se uzeti u obzir samo u određenim granicama jer je svaka serija u ekonomskom smislu zavisna od količine proizvodnje. Zbog toga industrijska proizvodnja mora zanemariti pojedinačne želje jer su u suprotnosti sa zakonitošću serijske proizvodnje [14].

Nesklad između umetničke ekskluzivne forme i „normalnih” zahteva ljudi se odmah primećuje, piše nemački dizajner i teoretičar W. Brauneldveg. To je najveći problem takozvane „industrije ukusa”.

Budući da je svaki pojedinačni industrijski proizvod namenjen zadovoljavanju potreba pojedine osobe, a ovaj pojedinac tokom proizvodnje ne dolazi do reči, umesto ličnog dogovora dolazi do traženja umetnog kontakta, čime se bavi marketing svojim načinima istraživanja tržišta [12]. U ovom obliku „kontakta” sa korisnicima, prirodni poredak stvari je narušen: umesto prirodnog niza pitanja: šta? za koga? kako ?, nastaje niz: šta? kako? za koga? Umesto da ispita položaj potencijalnog korisnika i iz njega izvuče stvarnu potrebu, marketing obično pokušava prodati već napravljeni proizvod koristeći sugestivne metode [13].

Industrijski dizajneri, dakle, više ne rade u skladu sa svojim individualnim sklonostima, već pokušavaju da dizajniraju onako kako to predlaže marketinška služba. Budući da ona često nije svesna pravih želja budućih korisnika, njeni predlozi su više nagađanje. Srećom, kod svake osobe su još uvek prisutni podsvesni iracionalni tokovi, koji osetljivog i nadarenog dizajnera pored neodlučnih sugestija dovedu do dizajnerskih rešenja koja izražavaju njegov društveni status i time oblik koji je zajednički većini, ako ne i svim članovima društva. Veliki dizajneri imaju upravo tu sposobnost da iskažu ono, što je zajedničko datom vremenu i društvu i tako svojim idejama posluže svojim sugrađanima. Ovo je osobina koja je urođena i obično se naziva umetničkim nadarenošću ili talentom. Međutim, ova sposobnost je retko prisutna.

Ova posebna sposobnost, koja je po prirodi iracionalna, u slobodnoj umetničkoj aktivnosti se izražava neometano i slobodno jer je ništa ne ometa niti ograničava. U oblasti industrijskog dizajna, međutim, to je drugačije. S jedne strane, ograničena je zahtevima marketinga, a sa druge zahtevima mašina, koji su po svojoj prirodi racionalni i precizni.

Savršen industrijski proizvod, piše Braun-Feldveg [15], bez sumnje ima racionalan značaj, čiji je uzrok u biti mašine i mehanizovanom toku proizvodnje. Mašina normalno radi tačno i savršeno. Savršenstvo i tačnost su, dakle, istinski kriterijumi za kontrolu kvaliteta sve mašinske proizvodnje. Mehanički proces proizvodnje je beskrajno ponavljanje potpuno istih mehaničkih procesa pa on isključuje slučaj i njegove nepredvidive efekte, koji su toliko karakteristični za organsku prirodu i za ljudsko biće, koje je deo nje. Kod ručnog čovečjeg rada ima dovoljno prostora za kreativnu igru i pojavu, što strogo organizovani proces industrijske proizvodnje ne toleriše [16].

Mašinska reprodukcija dizajnerske ideje stvorila je uslove koji ranije nisu bili poznati. Ti uslovi, kaže Braun Feldveg, imaju karakter normi, koje su uglavnom tehnološke. Ove norme su karakteristika industrijske proizvodnje. Funkcija i njeni zahtevi, proizvodnja i njeni uslovi, prodaja i komercijalna distribucija, osnovne su norme kojima se podvrgava svaka industrijska proizvodnja i koje direktno utiču na dizajn [15].

Prva od ovih normi: „Šta zahteva funkcija?” merilo je ideje i određuje materijale i njihov kvalitet; iz njega se pojavljuje kritični kupac prilikom procene robe.

Druga norma, „Šta zahteva proizvodnja?” zadire u normativno razmišljanje inženjera. Ovde se pokazuje racionalizacija sa svim posledicama: pojednostavljenje proizvoda u skladu sa zahtevima

masovne serijske proizvodnje; prilagođavanje instalacijama postrojenja; način proizvodnje; vreme, troškovi i kalkulacija izrade se pojavljuju kao bitni faktori i za dizajnera.

Treća norma je trgovačka norma: „Šta tržište traži?” Kupac se pojavljuje na horizontu, govori se o prevladavajućem ukusu, uspesima i promašajima u prodaji i razmatraju njihovi uzroci [15]. Uticaj ovih normi koči slobodnu kreativnost dizajnera. Norme izazivaju zanemarivanje individualnih želja u korist opštih potreba. Oni vode u jednoobraznost, tipiziranje i standardizaciju; ka kompromisima, odnosno praktičnosti i logičnosti proizvodnje.

Američki dizajner P. Muler-Mank [17] napisao je da se marketing ne isplati, osim ako nije spreman da preuzme odgovornost za kvalitet proizvoda koji nudi. Industrijski dizajn, međutim, nema izgovor za neispunjavanje zadatka, koji je između ostalog i u tome da uzima u obzir i glas korisnika. Fokus oba razmišljanja je na odgovornosti prema fabrici i kupcu, a samo to marketingu i dizajnu daje pravu funkciju. Stoga ove dve aktivnosti ne mogu biti razdvojene, jedna ne može biti bez druge u uslovima masovne industrijske proizvodnje i masovne upotrebe.

Braun Feldveg [15] kaže da se moraju prihvatiti sledeće istine:

- zanatska kultura starog sveta odavno je nestala pod uticajem tehnologije, čak je i najmanji delić našeg individualnog okruženja oblikovala nova snaga, industrija;
- ipak ovoj industriji, koja mora da zadovolji prirodne potrebe brzorastućih društava, treba udahnuti nešto što je imalo uz pomoć čoveka ostvareno okruženje pre prve industrijske revolucije: harmoniju i stil.
- Dizajn je preuzeo ovaj zadatak.

Na osnovu gornjih zaključaka lakše prihvatamo da su i u odevnoj industriji ovi zahtevi jednako strogi i neizbežni, ali ih činjenica, da su proizvodi te industrije urađeni prema telu, ublažava u smislu da se industrija pokušava što više prilagoditi individualnim željama i potrebama kupaca, npr. manjim serijama, koje trgovina raspoređuje na veće geografsko područje, kao i izradom modela u različitim uzorcima i bojama isl. Znači, odlučujući kriterijum za ocenjivanje korisne vrednosti proizvoda kao njegove estetske vrednosti je: da li sa njim možemo i moramo da živimo? Odeća je za većinu ljudi tako intimna stvar da nisu spremni da kupuju proizvode koji ne zadovoljavaju funkcionalne i kulturne potrebe koje ih dovode do izbora.

Dobar dizajner mora biti svestan zahteva i normi industrijske proizvodnje, jer ih mora uzeti u obzir da mu ne bi ograničavale njegovu kreativnu slobodu. Takođe bi trebao biti svestan, da mu to znanje omogućava da razgovara i savjetuje se sa inženjerima, koji mu svojim poznavanjem tehničkih mogućnosti mašina mogu bitno olakšati težak i odgovoran zadatak. Estetika industrijske proizvodnje se stoga bitno razlikuje od estetike umetnosti i proizlazi iz sasvim različitih okolnosti i zanatskog ručnog rada.

21.7. Šta nam pokazuje odeća

Sigurno je da je klima jedan od onih prirodnih faktora koji određuju da li će se osoba zaštititi odećom ili ne. Ipak, klima ne određuje kako da se ona obuče. U Africi je, uglavnom, klima takva da svi ljudi tamo mogu biti goli, ali oni to nisu. Na istoj geografskoj širini, neki ljudi potpuno prekrivaju svoje telo, npr. Arapi, dok su drugi uglavnom goli, npr. neka crnačka plemena.

Biti obučen ili nag je pitanje kulture. Etnolog dr. Boris Kuhar [19] kaže da je upoznao kiridske narode na svom putovanju Afrikom. Devojke ovog plemena, piše on, sedele su na stenama pored puta, smejući mu se. Sve osim jedne su bile gole, koliko osoba uopšte može biti gola. Imali su samo uske pojaseve, na kojima je sprema visilo nekoliko gvozdениh ili bronzanih štapića i prstenova. Tako se navikao na njihovu golotinju da je više nije primećivao, kao što je ni one same nisu primećivale. Dečaci i muškarci su takođe bili potpuno goli, eventualno kakav komad kože, koji su nosili na zadnjici. Djevojke nisu ni primećivale tu golotinju, kao što ni muškarci nisu zapažali njihovu golotinju. Među golima, zaključuje Kuhar, goli se ne primećuje.

Nudisti su upoznati sa istim iskustvom. Ako su svi goli, kažu, nemate šta da pokažete, jer niko ne registruje ono što vidi na svakom koraku. Svako ko želi pokazivati svoje genitalije među nagima, bio bi jako razočaran jer bi pokazao nešto što svi pokazuju. Takođe ni nosevi ljudi na ulici nisu uočljivi. Ali kada bi svi prekrili nos, odmah bi primetili onog čiji je nos nepokriven. Razlike privlače pažnju, a ne ono što je jednako.

Drugi opet tvrde da se odećom pokrивamo zbog stida, koji je, kažu, urođen. Oba primera pokazuju da među nagima nikog nije stid zato što je nag - zašto bi ga bilo, kad su svi takvi! Takođe, stidljivost je kulturno stvorena, a ne urođena. Njeno poreklo je seksualni moral, odnosno kulturološka pravila koja određuju polne odnose. Iza morala, koji je deo etike, uvek se skriva pogled na svet koji stoji u kulturi društva, odnosno način na koji konceptualizujemo stvarnost. Odeća sa svojim likovnim karakteristikama takođe izražava i simbolizuje važeći pogled na svet.

U vremenu pre industrijske revolucije osnova evropskog shvatanja stvarnosti bila je hrišćanska religija. Osnovno učenje o hrišćanstvu kaže da je život na ovom svetu samo priprema ljudske duše za zagrobni život na onom svetu. Živeti u ovom svetu sa svojim fizičkim i čulnim zahtevima nije važno, njih se treba odreći i posvetiti brizi o večnom životu. Telo za hrišćanstvo, dakle, nije predstavljalo vrednost, naprotiv, bilo je sinonim za ružno i grešno, pa ga je trebalo što više skrivati, a ne isticati. To je bio zadatak odeće. Odeća je imala, i još uvek ima u svim kulturama, mistična i magična značenja i upravo prikrićvanje i otkrićvanje tela ili njegovih pojedinih delova je, osim njegovog ukrašavanja, uvek bilo važan način regulacije i vizuelizacije društvenih normi u odnosima među polovima, pojedincima, kao i između klasa, slojeva i profesija.

Lepota i ukrašavanje odeće, izraz su čovekove potrebe da se razlikuje od drugih, i da na taj način pokaže da ima karakteristike koje ga razlikuju u društvu, prema kriterijima društva i kulture u kojoj živi. On pokušava da poveća svoju privlačnost na seksualnom polju kroz lepotu i dekoraciju. Takođe se uzdiže iznad mase onih koji su suviše siromašni da bi sebi priuštili potrebno vreme i resurse. U

klasnim, i na drugi način raslojenim društvima, oduvek su važili strogi propisi o načinu odevanja članova pojedinih klasa. U kastama u Indiji, ljudi su uvek bili razdvojeni po svojoj odeći i njome pokazivali svoju klasnu pripadnost. U evropskom feudalnom društvu, život pojedinca bio je čvrsto određen njegovom pripadnošću sloju ili klasi, a znak toga bila je odeća. Tek je francuska revolucija promenila i demokratizovala oblačenje tako što više nije propisivala načine odevanja, već je prepustila diferencijaciju bogatstvu ili siromaštvu građana.

Telesna aktivnost je uvek bila važan faktor za način oblačenja. Fizički rad u robovlasničkom i feudalnom društvu nije bio društveno značajan, obavljali su ga samo niži slojevi. Rad kao visokocenjena društvena vrednost, uspostavio se pobedom građanske klase u Francuskoj revoluciji. U višim društvenim slojevima, do tog vremena su se muškarci takmičili sa ženama u ukrašavanju i kindurenju, tek tada je ukrašavanje muškaraca iščezlo. Stručnjaci ovu promenu nazivaju „veliki muški otkaz”. Građansko društvo je stvorilo novi ideal „muške lepote.” Snaga, efikasnost, profesionalni i stručni uspeh itd, to su bili novi društveni kriterijumi po kojima su vrednovali građanskog muškarca, kindurenje je bilo suvišno. Građansko društvo je rad poštovalo i cenilo. Međutim, fizički rad je prepustilo proletarijatu i uvelo razliku u odeći, ne toliko u dekoraciji, koliko u kvalitetu tekstila. Odbacila je bivšu podelu društva i motom „sloboda, jednakost, bratstvo” omogućila sposobnim prelazak iz nižih u više slojeve društva. Tip odeće je, dakle, manje-više isti, a siromašniji su se trudili da odećom postignu barem izgled bogatijih.

Muška odeća se u osnovi nije promenila od Francuske revolucije, jer se ni ideal muškosti nije promenio. Drugačije je sa ženskom odećom, jer su se tokom istog perioda njena društvena uloga i položaj menjali, a promene su bile jasno vidljive u modi. Moda (od lat. modus - način) označava prelazni način društvenog ponašanja koji, u skladu sa ukusom trenutka, reguliše način na koji se pojedinac oblači i ponaša u nekoj društvenoj zajednici. Moda, kao izraz individualne potrebe za ličnim iskazivanjem, kao i imitiranja društveno prihvaćenih ideala lepote i uspešnosti, postala je danas psihološka potreba većine ljudi. U modi, kao načinu odevanja, psiholog vidi duboku podsvesnu želju za identifikacijom sa važećim modelom lepote i mladosti; sociolog to shvata kao društveno uslovljeno ponašanje; istoričar kroz modu prati evoluciju dizajna estetike i njene promene; privrednika to zanima jer je proizvodnja odeće važna privredna grana. Moda je odavno postala tako važan društveni fenomen da se više ne može prepustiti samo ženama, da parafraziramo poznatu izreku. Nevidljive konce mode i dan danas vuče društvo kao viša instanca.

Pojava novih opšteprihvaćenih navika, nove ideologije, pronalazak nove tkanine, novih tekstilnih mašina, nove umetnosti ili ponovno otkrivanje starog, može imati dubok uticaj na modu. Tako je moda postala važan način izražavanja društvenog čoveka, koja u svojoj suštini proizlazi iz potrebe materijalne transformacije prirode za potrebe čoveka, ali istovremeno iz potrebe da se simbolično obeleži njegov položaj u prirodi i društvu. Umetnost, estetika, politika, moral, jezici itd. potiču iz istih korena. Moda tako odražava i izražava određeni trenutak društvenog razvoja, njegovih dostignuća i suprotnosti.

U stvarnosti je to uvek bilo tako: crne i stroge španske haljine u 17. veku izražavale su kontrareformaciju i inkviziciju; prelepi prozračni muslini, koji su više otkrivali nego prikivali grudi buržoaskih žena tokom direktorija, nisu nestali zbog Napoleonovog moralizma, već zbog njegove

ekonomske politike: zabranio je uvoz indijskih tkanina kako bi ekonomski naneo štetu Englezima i da bi zaštitio industriju svile u Lionu.

Sociološki aspekti evolucije mode nakon Drugog svjetskog rata su zanimljivi. Prvu promenu Dior je 1947. godine uveo sa novim izgledom (New Look) [20] kada je kroz oblik odeće uveo ženama uzak struk, okrugle bokove i istaknute grudi, dok je muškima dizajnirao postavljena ramena i uske bokove. Dakle uspostavio je polne sheme tela, koje bi se mogli opisati kao dva trougla: muški trougao stoji na jednom vrhu i dostiže maksimalnu širinu u ramenima, dok ženski trougao stoji na osnovici i vrh je okrenut prema gore. Dakle široka ramena i uski bokovi za muškarce, široke i duge suknje i male glave za žene. Dior je tako nakon decenija u kome su oba spola bila izložena ratnim naporima, koji su zanemarili polne razlike, opet otkrio pol kao značajnu kulturnu temu.

Novi izgled (New Look) zamenjen je linijom koja je dobila nadimak „vreća” [21] jer je odeća u istoj širine padala od ramena preko kukova do kolena, čime je izbrisala struk, dok su kraće suknje ponovo pokazivale noge od kolena dalje. Sociolozi u vreći vide izraz vremena (od 1950. do 1960.), koje je masovno uključivalo žene u proizvodnju, kada su žene postale sastavni deo sveta rada i iz kuća i kuhinja ušle u šire društvene prostore. Korseti kojima je novi izgled (new look) stiskao njihova tela, postali su neugodni prilikom obavljanja radnih operacija u fabrikama i kancelarijama, duge suknje su sprečavale ulazak u autobuse, vozove i tramvaje, koji prevoze žene do njihovih radnih mesta. Naglašavanje spolnih razlika ometalo je zajednički rad muškaraca i žena jer je usmeravao pažnju na pojave koji nisu značajne za radne zadatke.

Obe ove linije su samo preslikavale modna rješenja od pre rata. Dior je upotrebio drevnu šemu razlika u polovima, a vreća je bila zakasneli odjek Šanelove modne revolucije dvadesetih godina, prve koja je oslobodila žensko telo iz klešta steznika i dugih sukanja.

Tek 1960. godine došlo je do velikog preokreta s mini suknjama engleskinje Meri Kvant [22], koja je nešto kasnije objasnila značaj ove revolucije u ženskoj modi. Mini suknja nije bila samo moda, već i znak nove ere, novog društvenog položaja žena. Makaze koje su odrezale suknju iznad kolena takođe su odsekle prethodni mentalitet žena. Bila je to doba prvih dugokosih, Bitlsa, hipi filosofije, znači pobune protiv skučenosti društva koje se fokusiralo isključivo na poslovni uspjeh i sticanje bogatstva. Mini suknja je naglasila želju žena da same raspolažu svojim telom, želju koju je izražavao široki pokret feminizma. Žena je želela javno pokazati da njeno telo više nije nikakav kulturni tabu, nešto zabranjeno, rezervisano samo za poglede supružnika i onih koji to pravo kupe. Potreba društva da uključi žene u proizvodnju, morala se suočiti sa ostacima starog morala i otvoriti novi: mini suknja je afirmisala ženu kao oslobođen subjekat, a istovremeno je učinila seksualnim simbolom, simbolom seksualne „revolucije”. Sasvim logično, mini suknja je evoluirala u „vruće pantalone” za koje sociolozi kažu da su bili simbol koncepta žene kao predmeta. Predmeta, koji različite industrije koriste za oglašavanje svojih proizvoda, od hrane za bebe do automobila. Prelaz iz mini suknje u vruće pantalone bila je deformacija prvobitnog oslobađanja žene.

Iz ove mode se preko mode koja se je napajala svemirskim letovima, razvio prilično udoban način oblačenja, nazvan „casual,” slučajna moda, a glavno pravilo je bilo da se svako mogao obući u ono

što je „slučajno” uzeo u ruke. Ovaj stil ženskog oblačenja u velikoj meri se oslanjao na tipično mušku odeću, od košulja i blejzera do pantalona, koji su postali sastavni deo ženske garderobe. To je bila moda širokih krojeva koji su potpuno prekrivali oblike tela. Kombinovala je nekoliko opštih psiholoških i kulturoloških težnji: prodor žena u tradicionalne muške radne prostore, okarakterisan prihvatanjem muške odeće; težnja za udobnošću i slobodom kretanja pod komotnom odećom, kao i nastavak otpora ugladenosti i krutosti tradicionalno zamišljenog poslovnog sveta i uniformisanosti sve nasilnije vojske, koja je postala važna u kontekstu sve većih ratova u svetu. Na svoj način, ona je govorila o potrebi za slobodom u bezbednosti, sigurnosti i satnici koji je bila tipična za doba posle Vijetnamskog rata, koji je stvorio hipi pokret.

Svih ovih godina stara američka odeća, traperice, koje su se konačno prihvatile tokom velikih studentskih pobuna 1968. do 1970, polako su i postepeno postajale popularne i od tada nisu prestale da budu jedan od najpopularnijih odevnih predmeta. Odevanje američkih radnika započelo je svoj novi procvat kao uniforma mladih koji su se okupili u studentskim pokretima tih godina i njen uspeh počiva na sazrevajućim generacijama koje su začete nakon rata: više od polovine ljudi na svetu bilo je u tim godinama mlađe od 25 godina.

Mladi ljudi koji su tada upoznali ovu udobnu odeću, nisu je odbacili kada su postali stariji, džins je osvojilo svet. Džins označava socijalnu i spolnu ravnopravnost. Zanimljivo je da je ovaj izraz jednakosti omogućen malim i već dugo poznatim tehničkim izumom, patentnim zatvaračem. Ranije su se pantalone zakopčavale dugmadima, a dugmad su bila za žene sa strane, za muškarce napred. U tim godinama, međutim, koristili su patent zatvarače umesto dugmadi, a zbog pojednostavljenja proizvodnje su ih postavili na istom mestu, napred, za oba pola. Američka modna novinarka napisala je tih godina da džins pantalone naglašavaju seksualnost smanjujući rodni jaz: muškarcima daju nešto ženstveno, a ženama nešto muževno. Međutim, one su dovoljno jasno zadržale razlike. Zato su bolje izražavale rodnu ravnopravnost od pokušaja uniseksa, iste muške i ženske odeće, koje je ponudio Francuz Esterel. Objasnio je svoju ponudu na taj način da nije mislio na isti pol, već sjedinjenje oba pola, na par koji razmišlja i oseća svoj položaj na isti način i zato se isto oblači. Međutim, očigledno je da su ljudima potrebne spoljne razlike u izgledu njihovog pola, ali da više nisu tako naglašene kao što su bile jer pol više nema iste kulturne funkcije kao nekada.

Kao što vidimo, oblik odeće ukazuje na čitav niz društvenih i kulturnih sadržaja i pomaka. Za dizajnera je problem upotreba pravih likovnih sredstava i materijala za izražavanje. Promena funkcije odeće mu se čini kao posebna promena oblika što je, dakle, problem likovne umetnosti. To, međutim, ima svoje unutrašnje zakone i logiku. Ovakva logika se manifestuje npr. u odnosima dugačko - široko i usko - kratko, koji su usko povezani sa oblicima tela i njegovim kretanjem. Duge haljine i suknje pokrivaju noge i, kako bi što manje smetale hodanju, obično su široke. Uska odeća je obično kratka, jer u suprotnom hodanje ne bi bilo moguće. Ali široka i dugačka suknja utiče na prividnu masu donjeg dela tela, koja zbog svoje širine postaje prekratka u poređenju s gornjim delom. Zato dugačka i široka suknja zahteva produženje nogu visokim potpeticama na cipelama. Užim suknjama ovo ne treba i zato su potpetice niže i obično šire. Na sličan način, ovi umetnički odnosi određuju i oblik i veličinu glave: za široke i duge suknje obično je potrebna frizura koja smanjuje izgled glave, uske i kratke

suknje dopuštaju frizure koje povećavaju izgled glave. Takve osnovne umetničke odluke utiču na sve delove odeće, od cipela, pokrivala za glavu, upotrebe ukrasnih dodataka i dezena do torbi.

Promene dizajna odeće naravno utiče na način na koji se krećemo, na kretnje, na društvenu i seksualnu igru, koja je sa tim u vezi. Duge suknje zahtevaju drugačiji način hodanja od kratke, drugačiji način sedenja, stajanja, hodanja po stepenicama. One tada menjaju osećaj vlastitog tela u odnosu na druge i na okolinu. Ali podsvesno, u novoj situaciji se čovek sam od sebe ponaša i kreće drugačije, jer koristi pokrete koji izražavaju novo duševno stanje. Stoga isti podsvesni i iracionalni tokovi, koji pokreću promenu mode, vode i dizajnere kao članove ovog društva prilikom dizajniranja.

Moglo bi se reći da oni podsvesno osećaju i intuitivno znaju koji likovni izrazi, koji oblici i boje su najprikladniji za određene psihološke i sociološke sadržaje. Upravo to razdvaja dobre dizajnere od prosečnih i loših. Mnogo puta ovi iracionalni tokovi se sukobljavaju sa interesima industrije, kao što se dogodilo 1970-ih nakon pobede mini suknje koja je zahtevala malo tekstilne robe.

Novine američke odevne industrije „Woman's Wear Daily”, koje imaju najveći uticaj na modu u SAD-u, priredile su pravi propagandni rat protiv mini suknje, a vreme kada se to dešavalo bilo je vreme velike zbrke u proizvodnji i kupovini odeće. Međutim, pošto su te godine bile i godine značajnog prosperiteta, spor je rešen tako da je svaka žena kupila mini i midi pa i maxi suknju, čime se osigurala da će biti pravilno odevna. Novinar pariškog Ekspresa ovako je prokomentarisao to vreme: jedva su se žene navikle kako prekrstiti noge u mini suknji i kako da ih prekrste u pantalonama, a morale su ispočetka da uče kako da to rade u midi i maxi suknjama. Ali ova zbnjenost je takođe ukazala na zbrku u idejama koje su zahvatile evropsko, a posebno američko društvo nakon završetka rata u Vijetnamu.

Sve ove stvari su relativno malo istražene. Još uvek je najbolje delo koje je napisao američki antropolozi J. R. Hanks, J. Richardson I A.L. Kroeber 1940. godine, pod nazivom „Tri veka ženske modne odeće” [18]. Osnovna misao njegove knjige je da ne treba prebrzo i popreko povezivati istorijske događaje sa modnim promenama jer one imaju svoj ritam razvoja. Moda se menja u ciklusima čije amplitude traju oko pola veka, dok za celi interval treba oko stotinu godina. Tako se npr. dužina suknje najmanje menjala tokom tih 300 godina. Samo jednom, u periodu 1927-1930, suknje su se brzo i mnogo skratile intervencijom Koko Šanel. Trebalo je još 42 godine da je Meri Kvant to mogla ponoviti. U interesu odevne i tekstilne industrije je da postanu svesne važnosti ovih pitanja i da se upuste u naučno istraživanje njihovih unutrašnjih zakonitosti kako bi lakše planirali i usmerili svoju proizvodnju. Čak i kod nas.

21.8. Slikovni prilog



a

(<http://rebloggy.com/post/people-brazil-brasil-south-america-tribal-national-geographic-culture-portraits>)

Indijanci uz Amazonije - minimalna odeća oko pojasa, dekorativni krzneni obruči na nadlaktici, i ritualno oslikavanje tela sa magičnim značenjem.



b

(<https://www.tattoodo.com/guides/styles/japanese>)

Tetoviranje ima u Japanu dugu tradiciju, još od 3.veka n.e. Imalo je ritualni značaj, označavalo je pripadnost kasti ili pozivu. I dan danas je vrlo rasprostranjeno.

Slika 21-3: Tetoviranje tela



(<http://stravagante-jewelry.com/murano-glass-jewelry-beads-history.html>)



(<https://www.pinterest.com/pin/272397477451156054>)



(<https://courses.lumenlearning.com/boundless-arthistory/chapter/art-of-new-zealan>)

Slika 21-4: Kindurenje tela

Kindurenje tela je poseban deo odevanja kao dopunjavanje tela u skladu sa kulturnim pravilima. Nekada je imalo izrazito ritualno i magično značenje, od kojih je i danas ostalo nešto, npr. nošenje horoskopskih znakova (znaka rođenja).



(<https://www.pinterest.ph/pin/668925350873254061/>)



(<https://www.shutterstock.com/search/muslim+woman+praying>)

Slika 21-5: Tradicionalna odeća muslimana in muslimanki

Islamska religija propisuje da se žene trebaju što više prekriti.



(<https://www.ancientworldmagazine.com/articles/roman-girls-bikinis-mosaic-villa-romana-del-casale-sicily/>)

300-400 n. št.



(<https://allthatsinteresting.com/history-of-womens-swimwear>)

1875-1927



1946



1960



2000

Slika 21-6: Istorija ženskih kupaćih kostima od rimskog doba do danas

Razvoj položaja žena u društvu u slikama nekoliko kupaćih kostima: 1930. kupaći kostim je još uvek imao krilo do sredine butina (levo); 1950. kupaći kostim „bikini“ iz dva dela, površina nepokrivene kože se povećavala (u sredini), sve dok se 1970. godine nije pojavilo gotovo nago telo - kupaći kostim zadržava samo gaćice, a gornji deo je bez tekstila (desno). Količina tekstila je obrnuto proporcionalna socijalnoj slobodi žena - što je manje tekstila, to je više slobode.



a

(https://i.guim.co.uk/img/media/b15847674b422732ce665130888af9247c2944b1/207_614_3127_1877/master/3127.jpg?width=1200&height=900&quality=85&auto=format&fit=crop&s=f46f4b4d2a07fc3b12537552bcf54d45)



b

(<https://www.vogue.com/slideshow/twiggy-sixties-icon-in-vogue>)



c

(<https://www.voanews.com/arts-culture/marilyn-monroe-dresses-personal-photos-going-auction>)



d

(<https://lovelifelifebykim.wordpress.com/tag/audrey-hepburn/>)

Slika 21-7: Ideali lepote sredinom 20. veka

Kultura odevanja istovremeno je i kultura tela, i u skladu sa svojim pogledima na svet, usmerava pažnju na određene delove tela, a druge zanemaruje. Ideale lepote sredinom 20. veka ilustrovale su filmske glumice Jaine Mansfield (a) i Marilin Monroe (c) i Audri Hepburn (d) i model Tvviggi (b).



1907

1909

1911

1913

<https://www.pinterest.com/pin/151855818660839035/>

Ako telo nije oblikovano u skladu s idealom vremena (levo gore), pomažu mu u tu svrhu posebno dizajnirani delovi odeće: elastični korset (u sredini) stiska višak masnoće na bokovima, struku i na truhu u prihvatljive granice.



1967

1968

1971

1973

<https://www.pinterest.com/pin/474637248216308281/>

<https://www.pinterest.com/pin/523754631645069533/>

Velika depresija, koja je započela 1930-ih, dovela je do velike nezaposlenosti i siromaštva. Kao rezultat, promenio se i stil oblačenja. Ženske haljine postale su minimalističke i uzdržane.

Pristalice Pravca 60 zagovarale su minimalizam, koristeći princip „manje je više«. Žene treba da nose pantalone i muške košulje i koriste posebnu šminku kako bi osvetlile boju kože.



<https://www.thefashionfolks.com/blog/20th-century-fashion-history-1990-2000/>

1990



[https://www.pinterest.co.kr/pin/423831014912836770/?amp_client_id=CLIENT_ID\(_\)](https://www.pinterest.co.kr/pin/423831014912836770/?amp_client_id=CLIENT_ID(_))

2000



https://www.thedoublef.com/fr_en/the-rooster/fashion-week-fall-winter-2020-2021-fashion-trends/

2020/2021

Slika 21-8: Ženska moda 1907 – 2020



Osemdeseta

<https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcS4spyZ699rCdqH2UEzJvkvLb90iO1DW9Unaw&usqp=CAU>



Devedeseta

<https://fashiontimeless.tumblr.com/post/183882828339/rosemarie-wetzel-for-chanel-spring-1995>



<https://makeminevogue.wordpress.com/2013/04/30/robe-de-mariee-de-christian-dior-autumn-winter-1979-80/>

<https://www.pinterest.com/pin/151433606198330395/>

Dizajner uz pomoć tkanine menja obris, siluetu, oblik tela, premešta masu zapremine, definiše plastiku modulacijom nabora, izborom uzoraka usmerava oko prema naviše, naniže, poprečno ili preko, i sve to podržava bojama. Moda iz osamdesetih i devedesetih godina prošlog stoleća.

Slika 21-9: Kreiranje tela pomoću tkanine



Slika 21-10: Moda na dvoru francuskog kralja Luja 14

<https://ma-demoiselle-moon.tumblr.com/post/177980432962/fashion-under-the-reign-of-louis-xiv>

Plemstvo je svoje privilegije i vlast dokazivalo luksuznom odećom i kindurenjem oba pola.



Slika 21-11: Nošnje iz druge polovine devetnaestog veka

<https://i.pinimg.com/originals/e1/51/19/e151193902c5c697610611c6f38a0f48.jpg>



Slika 21-12: Pariske plesne haljine iz 1830

<https://fashionhistory.fitnyc.edu/1810-1819/>

Kako se ideal muške lepote u buržoaskom društvu promenio, muški kostim je neukrašen, osim izvezenog prsluka (slika 19-9a). Čega god se muškarac odrekao, okačio je na svoju ženu kao eksponat svog uspeha (slika 19-9b).



a

<https://stylecaster.com/history-of-the-miniskirt/>



b

[https://1.bp.blogspot.com/-q-phNrGGcUM/Uw370wUgBbI/AAAAAAAAAeeA/ISR79L4eolw/s1600/Women+in+Mini-skirts+in+the+1960's+\(1\).jpg](https://1.bp.blogspot.com/-q-phNrGGcUM/Uw370wUgBbI/AAAAAAAAAeeA/ISR79L4eolw/s1600/Women+in+Mini-skirts+in+the+1960's+(1).jpg)

Mini suknja je prevazišla jedan od najupornijih tabua evropske ženske odeće: otkrila je noge po celoj dužini (b). Levo (a) je krilo do kolena i čak malo niže. Mini suknja zahtevala je rešenje problema sa čarapama i taj sramotu su rešile najlonke.

Slika 21-13: Mini suknja dolazi



1948

<https://artsandculture.google.com/exhibit/christian-dior-the-new-look/cQKikHJ-Ok8UIg>

Dior je 1948. stvorio novu liniju (New Look), gde je ponovo stegnut struk, naglašeni bokovi i grudi, suknja produžena do gležnjeva.



1958

<https://www.pinterest.com/pin/467037423831268282/>

Već „ukročena” linija iz 1958. godine sa kraćom suknjom. Akcenti na ženskim oblicima nisu jasno očuvani. Vrećasta linija je padala od ramena na bokove, u potpunosti pokrivajući struk. Zahtevala je poseban način kretanja u struku koji je isticao bokove.

Slika 21-14: Moda posle 2. svetskog rata



a



b

<https://www.pinterest.com/pin/242631498648214290> <https://www.pinterest.com/pin/407012885062595572/>
Slika 21-15: Maksi kaputa za žene (a) ispod kojeg su se nosile mini suknje i vruće -pantalone (hot pants) (b)



Slika 21-16: Muška odeća suštinski se nije promenila od Francuske revolucije na ovamo

<https://www.aliexpress.com/i/32914072860.html>



Slika 21-17: "Farmerice" su večite

<https://www.pinterest.com/pin/5066618318749325/>

<https://www.pinterest.com/pin/5066618318749325/>

Šezdesetih godina prošlog veka mladi su odbili sve tabue građanske kulture u svim oblastima i do krajnosti pojednostavili međusobne odnose, od seksualnih do profesionalnih. Odeća američkih radnika, farmerke, postala je simbol ove revolucije mladih.

Literatura

1. Rudofsky B. 1984. The unfashionable human body. New York, Van Nostrand Reinhold Co.: 281 str.
2. Elden S. 2008. Eugen Fink and the question of the world. Parrhesia: a journal of critical philosophy 5: 48-59.
3. Vêtement. 1972. Nouveau Petit Larousse. Paris, Librairie Larousse: 1071.
4. Kale E. 1982. Uvod v znanost o kulturi. Zagreb, Školska knjiga: 170 str.
5. Larsen T. 2013. Tylor E. B., religion and anthropology. The British Journal for the History of Science 46 (3): 467-485.
6. Marx K. 1967. Obdobja ekonomskoga formiranja družbe. Očrti kritike politične ekonomije (prvi osnutek) 1857 do 1858. Ljubljana, Cankarjeva založbe: 67.

7. Kroeber A. L., Kluckhohn C. 1952. Culture: a critical review of concepts and definitions. Papers. Peabody Museum of Archaeology & Ethnology, Harvard University 47(1): 223 str.
8. Ilić M. 1985. Kultureme : eseji iz kulture i umetnosti. Beograd, Naučna knjiga:258 str. Kultureme Sociologija kulture in umetnosti : izbrana poglavja.
9. Merriam-Webster's Dictionary and Thesaurus. 2006. Merriam-Webster Inc.:
10. Sruk V. 1980. Filozofsko izrazje in repetitorij. Murska Sobota, Pomurska založb: 103.
11. Read, H. 1967. Education through art. London, Faber and Faber Publishing: 320 str.
12. Butina M. 1982. Elementi likovne prakse. , Ljubljana, Mladinska knjiga: 21-22.
13. Hartman N. 1979. Estetika. Beograd, BIZG: 526 str.
- 14 Forma. 1965. Filozofijski rječnik. Zagreb, Matica Hrvatska: 143.
15. Braun-Feldweg W. 1966. Industrial Design heute: Umwelt aus der Fabrik, Hamburg, Rowohlt: 255 str.
16. Williams R. 1977. Keywords: A Vocabulary of Culture and Society. Science and Society 41 (2):221-224.
17. Müller-Munk P. 1937. Industrial Design. Design 38 (7): 12-15.
18. Richardson J., Kroeber A. L. 1940. Three centuries of women's dress fashions, a quantitative analysis. Berkeley, University of California press: 153. str.
19. Enciklopedija Slovenije. 1992. Dr. Boris Kuhar. Enciklopedija Slovenije, Knjiga 6. Ljubljana: Mladinska knjiga: 64.
20. Oeltjenbruns B. 2014. History of Christian Dior's New Look. Cause A Frockus, Jun 16, 2014 (<https://www.causeafrockus.com/2014/06/history-christian-diors-new-look/>) (13. 8. 2019)
21. Zachary C. 2015. Born on this day in fashion history: Hubert de Givenchy (<https://theartofdress.org/2015/02/21/born-on-this-day-in-fashion-history-hubert-de-givenchy/>) (13. 8. 2019)
22. Hutchings H., Writers L. 2019. Mary Quant. The London Journal 44 (2): 151-154