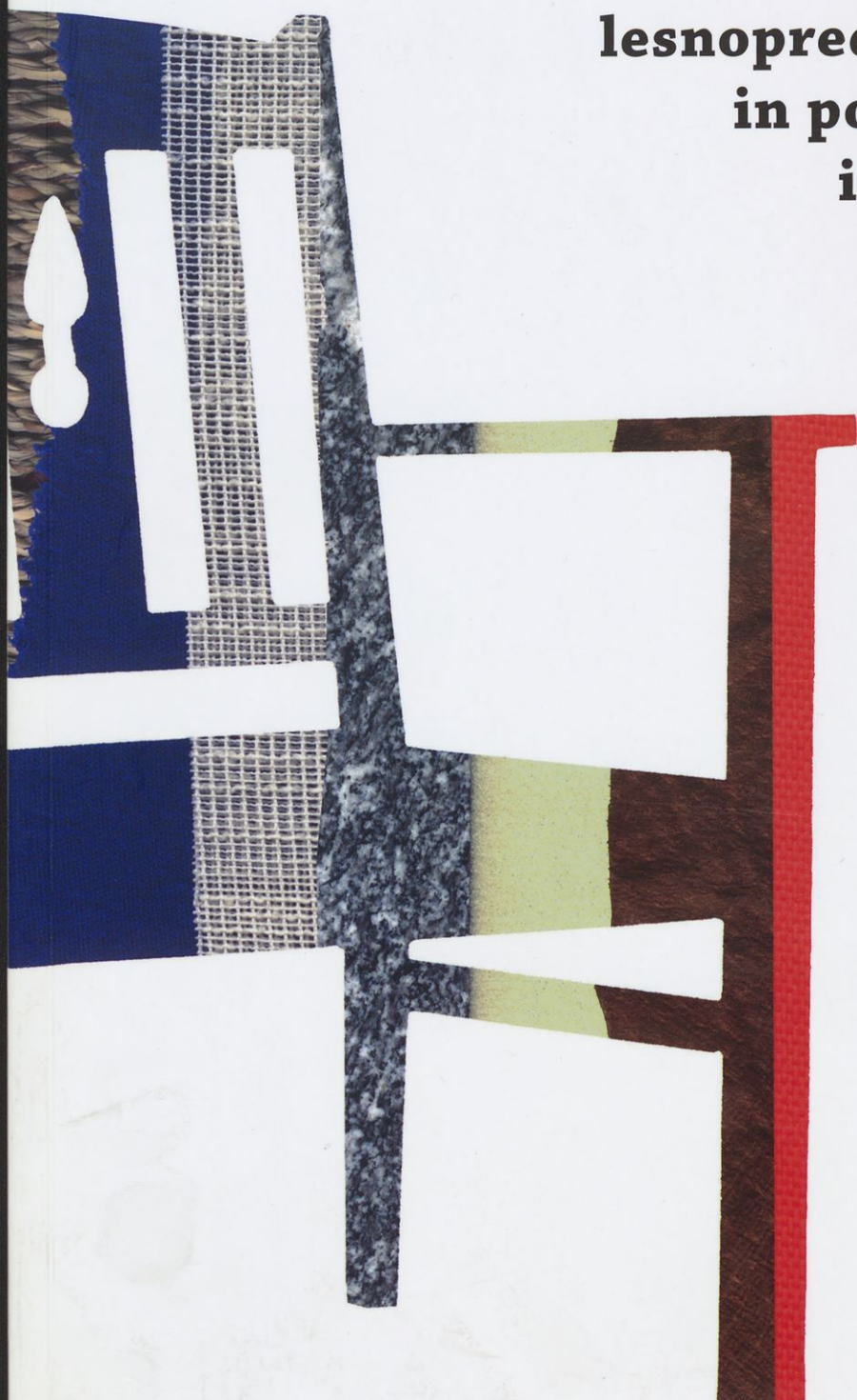


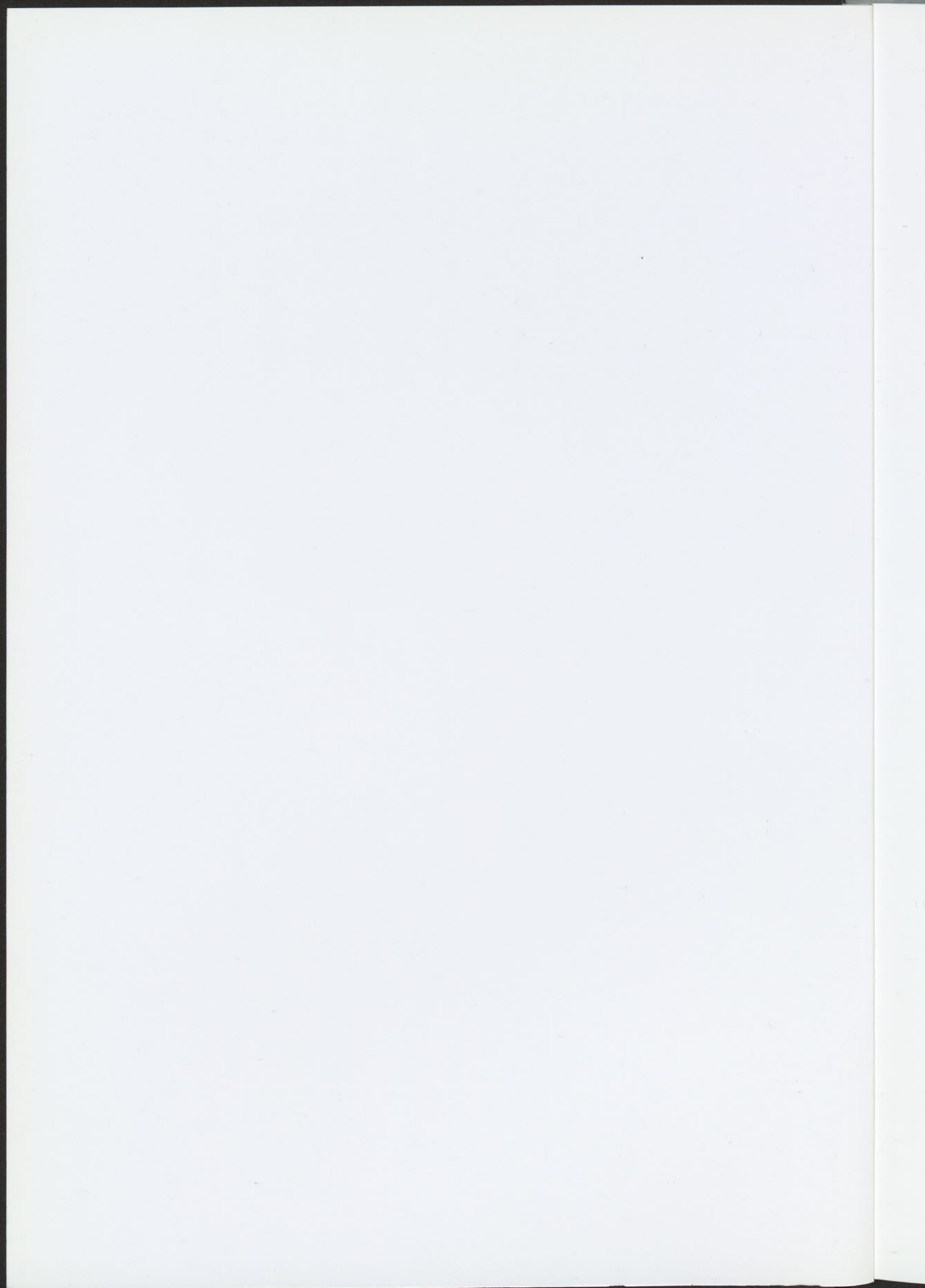
Nelesni materiali

v izdelkih
lesnopredelovalne
in pohištvene
industrije

Marko Petrič

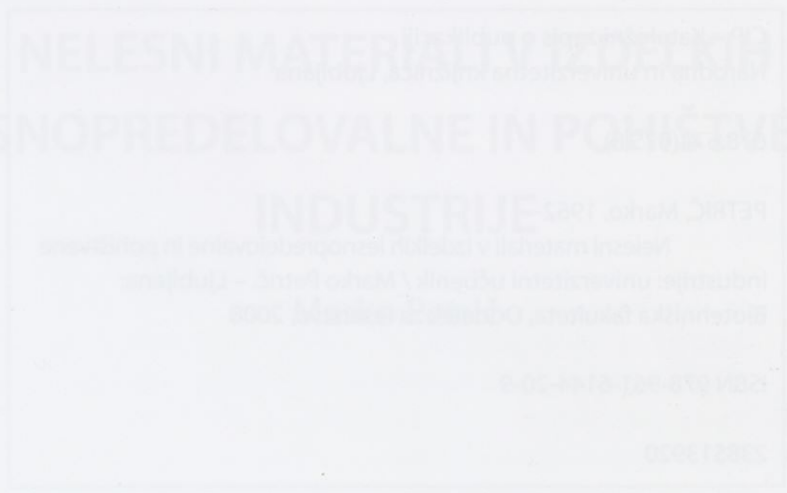


Univerza v Ljubljani
Biotehniška fakulteta
Oddelek za lesarstvo



NELESNI MATERIALI V IZDELKIH LESNOPREDELOVALNE IN POHIŠTVENE INDUSTRIJE

Univerzitetni učbenik Nelesni materiali v izdelkih lesnopredelovalne in pohištvene industrije, M. Petric, Marko Petric, 1992. 120 str., 1000 tolarjev. ISBN 978-961-01-1033-0.



NELESNI MATERIALI V IZDELKIH LESNOPREDELOVALNE IN POHIŠTVENE INDUSTRIJE

UNIVERZITETA LJUBLJANA
FIZIKALNO MATEMATIČNA FAKULTETA

ODSTREŽEK ZA KUPNO

AVAN

Marko PETRIC

Prof. dr. Varni Petric, prof. dr. Boris Lujica

prof. dr. Varni Petric, prof. dr. Boris Lujica

Odgovorni urednik: Marko Petric

Marko Petric

ODSTREŽEK ZA KUPNO

Avan

Marko Petric

Prof. dr. Varni Petric, prof. dr. Boris Lujica

1992

Univerzitetni učbenik, 120 str., 1000 tolarjev.

ISBN 978-961-01-1033-0

1000 tolarjev

Univerzitetni učbenik

1992

Izdal in založil

Oddelek za lesarstvo, Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva 101, Ljubljana

Univerzitetni učbenik Nelesni materiali v izdelkih lesnopredelovalne in pohištvene industrije, ki se uporablja pri predmetu Polimerni in ostali nelesni materiali (1. letnik univerzitetnega študija lesarstva, prva stopnja) in delno pri predmetih Materiali v lesarstvu in tehnologija površinske obdelave (2. letnik visokošolskega strokovnega študija tehnologij lesa in vlaknatih kompozitov, prva stopnja), ter Površinska obdelava lesnih izdelkov (3. letnik univerzitetnega študija lesarstva, prva stopnja) je izdan na podlagi sklepa dekana Biotehniške fakultete prof.dr. Janeza Hribarja z dne 10.3.2008.

CIP – Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

678:674(075.8)

PETRIČ, Marko, 1962-

Nelesni materiali v izdelkih lesnopredelovalne in pohištvene
industrije: univerzitetni učbenik / Marko Petrič. – Ljubljana:
Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 2008

ISBN 978-961-6144-20-9

238513920

**NELESNI MATERIALI V IZDELKIH LESNOPREDELOVALNE IN POHIŠTVENE INDUSTRIJE
UNIVERZITETNI UČBENIK**

Avtor

Marko PETRIČ

Recenzenta

prof.dr. Vesna Tišler, prof.dr. Boris Ljuljka

Odgovorni in tehnični urednik

Marko Petrič

Oblikovanje platnic

Andrej Pohleven

Lektorica

Darja Vranjek

Tisk

Tiskarna Pleško, d. o. o.

Rožna dolina, C. VI 32-34, SI 1000 Ljubljana, Slovenija

Tiskano 2008

500 izv.

UDK: 678:674(075.8)

ISBN 978-961-6144-20-9

NELESNI MATERIALI V IZDELKIH LESNOPREDELOVALNE IN POHIŠTVENE INDUSTRIJE

Marko Petrič

Univerza v Ljubljani
Biotehniška fakulteta
Oddelek za lesarstvo



Ljubljana
2008

KAZALO VSEBINE

PREDGOVOR	13
I. UVOD	15
II. ZNANOST O MATERIALIH	16
II.A. O izrazih »gradivo«, »material« in »tvorivo«	16
II.B. Znanost o materialih	17
III. SUBMIKROSKOPSKA, MIKROSKOPSKA IN MAKROSKOPSKA ZGRADBA SNOVI:	18
III.A. Submikroskopska zgradba snovi	18
III.A.i. Kristalinične in amorfne snovi	21
III.B. Mikroskopska zgradba snovi - mikrostruktura	22
III.C. Makroskopska zgradba snovi	24
IV. MEHANSKE LASTNOSTI SNOVI – PREGLED OSNOVNIH POJMOV	24
IV.A. Elastična deformacija	25
IV.B. Plastična deformacija	27
IV.C. Trdota	28
IV.D. Duktilnost (razteznost) in žilavost	31
V. POLIMERI	32
V.A. Kaj so polimeri in kako nastanejo?	33
V.A.i. Sintetične in naravne polimerne snovi	34
V.B. Oblike polimernih molekul	35
V.C. Kristaliničnost in amorfnoost polimerov	36
V.D. Stopnja polimerizacije	38
V.E. Jakost vezi v polimernih molekulah in med njimi, toplotne in mehanske lastnosti polimerov, temperatura steklastega prehoda	38
V.E.i. Temperatura steklastega prehoda	38
V.E.ii. Termoplasti (plastomeri)	40
V.E.iii. Duromeri (duroplasti)	41
V.E.iv. Elastomeri	41
V.F. Homopolimeri in kopolimeri, različne skupine kopolimerov	41
V.G. Pregled izbranih, za področje lesarstva ali splošno pomembnejših polimernih gradiv	42
V.G.i. Polietilen, HDPE in LDPE	42
V.G.i.a. Polietilen nizke gostote, LDPE	43
V.G.i.b. Polietilen visoke gostote, HDPE	43
V.G.i.c. Razlike med LDPE in HDPE	43
V.G.i.d. Pomen polietilena v lesarstvu	43
V.G.ii. Polipropilen, PP	45
V.G.iii. Polivinilklorid, PVC	45
V.G.iii.a. Trdi PVC	46
V.G.iii.b. Mehki PVC	46
V.G.iv. Polivinilacetat, PVAC	47
V.G.v. Polistiren, PS	47
V.G.v.a. Ekspandiran polistiren	47
V.G.vi. Poliakrilati	48
V.G.vii. Formaldehidne smole	49
V.G.vii.a. Fenoplasti	49
V.G.vii.b. Melaminske smole	50
V.F.vii.c. Sečninske smole	50
V.G.viii. Poliamidi	50
V.G.ix. Poliestri	52



200817418

V.G.x.	Alkidi	52
V.G.xi.	Poliuretani	53
V.G.xi.a	Uporaba poliuretanskih materialov - splošno	54
V.G.xi.b.	Poliuretani za izdelke lesnopredelovalne in pohištvene industrije	54
V.G.xii.	Polikarbonat	56
V.G.xiii	Poliepoksidi	56
V.G.xiv	Celulozni nitrat (nitroceluloza) in drugi derivati celuloze	56
V.g.xv.	Naravna in sintetična guma	57
V.G.xvi	Silikoni	60
VI.	ELEKTRIČNI PREVODNIKI, POLPREVODNIKI IN IZOLATORJI	60
VII.	KOVINE IN ZLITINE	61
VII.A.	Zgradba kovin, kovinska vez.	62
VII.B.	Realne strukture – napake v kristalni zgradbi	63
VII.C.	Povezava mehanskih in drugih lastnosti kovin z napakami v kristalni zgradbi	65
VII.D.	Zlitine ali legure	66
VII.E.	Pregled nekaterih najpomembnejših kovin in njihove uporabe na področju lesarstva	67
VII.E.i.	Železa in jekla	67
VII.E.ii.	Aluminij in aluminijeve zlitine	69
VII.E.iii.	Baker in zlitine bakra	70
VII.E.iv.	Cink in cinkove zlitine	71
VII.E.v.	Kositer	72
VII.E.vi.	Nikelj	52
VII.E.vii	Krom	53
VIII.	TOPLOTNE LASTNOSTI SNOVI	53
VIII.A.	Toplotna razteznost	53
VIII.B.	Toplotna prevodnost	55
VIII.C.	Toplotna prestopnost	57
VIII.D.	Toplotna prehodnost	58
IX.	KERAMIKA	60
IX.A.	Povezava lastnosti keramičnih materialov z njihovo submikroskopsko zgradbo	81
IX.B.	Sintranje	83
X.	STEKLO IN STEKLOKERAMIKA	85
X.A.	Vrste stekla	86
X.A.i.	Kremenovo steklo	86
X.A.ii.	Natrijevo steklo	87
X.A.iii.	Borosilikatna in boratna stekla	88
X.A.iv.	Svinčevo steklo	88
X.A.v.	Barvna stekla	89
X.A.vi.	Motna stekla	89
X.A.vi.a.	Peskano steklo	90
X.A.vi.b.	Jedkano steklo	90
X.A.vii.	Kaljena in delno kaljena stekla	90
X.A.viii.	Lepljena (laminirana) stekla	91
X.A.ix.	Žično steklo	92
X.A.x.	Termoizolacijska stekla	92
X.A.xi.	Samočistilna stekla	92
X.B.	Steklokeramika	93

XI.	NARAVNE KAMNINE	94
	XI.A. <i>Magmatske kamnine</i>	94
	XI.B. <i>Sedimentne kamnine</i>	95
	XI.C. <i>Metamorfne kamnine</i>	96
XII.	SREDSTVA ZA BRUŠENJE	96
	XII.A. <i>Toga brusilna sredstva</i>	96
	XII.B. <i>Prosta brusilna sredstva</i>	97
	XII.C. <i>Upogibna brusilna sredstva</i>	97
	XII.C.i. <i>Podlaga</i>	97
	XII.C.ii. <i>Vezivo</i>	98
	XII.C.iii. <i>Abraziv</i>	98
	XII.C.iii.a <i>Gostota posipa</i>	99
	XII.C.iii.b <i>Zrnavost</i>	100
	XII.C.iii. <i>Dodatni plasti na upogibnem brusilnem sredstvu</i>	101
XIII.	KOMPOZITI	101
	XIII.A. <i>Definicija kompozitnega materiala</i>	101
	XIII.B. <i>Adhezija</i>	102
	XIII.C. <i>Zakaj kompozitni materiali?</i>	104
	XIII.D. <i>Matrica in ojačitve</i>	105
	XIII.E. <i>Kompozitni materiali v lesarstvu</i>	107
	XIII.E.i. <i>Lesno-polimerni kompoziti</i>	107
	XIII.E.ii. <i>Uporaba različnih drugih kompozitov na področju lesarstva</i>	107
	XIII.E.iii. <i>Laminati</i>	108
XIV.	NANOTEHNOLOGIJA IN NANOMATERIALI	108
	XIV.A. <i>Uvod</i>	108
	XIV.B. <i>Nanomateriali</i>	111
	XIV.C. <i>Lastnosti nanomaterialov</i>	112
	XIV.D. <i>Pregled možne uporabe nanotehnologije in nanomaterialov po posameznih področjih</i>	113
	XIV.D.i. <i>Nanomateriali v širokopotrošnih izdelkih</i>	113
	XIV.D.ii. <i>Kemija in varstvo okolja</i>	114
	XIV.D.iii. <i>Medicina</i>	115
	XIV.D.iv. <i>Farmacija</i>	115
	XIV.D.v. <i>Informacijsko komunikacijske tehnologije</i>	115
	XIV.D.vi. <i>Proizvodnja zračnih plovil in vozil</i>	115
	XIV.E. <i>Nanotehnologija in nanomateriali na področju lesarstva</i>	115
	XIV.E.i. <i>Nanokompoziti z lignoceluloznimi nanomateriali</i>	115
	XIV.E.ii. <i>Površinski premazi za les</i>	116
	XIV.E.iii. <i>Nanododatki v sredstvih za obdelavo lesa</i>	117
	XIV.E.iv. <i>Lepila za les</i>	118
	XIV.E.v. <i>Varstvo in obnova lesenih objektov kulturnozgodovinske dediščine</i>	118
	XIV.E.vi. <i>Novi materiali in izdelki iz lesa</i>	118
	XIV.E.vii. <i>Nanomateriali za sodobne senzorje</i>	118
	XIV.E.viii. <i>Raziskave lesa z nanoindentacijo</i>	119
	XIV.F. <i>Vplivi nanomaterialov na zdravje</i>	119
XV.	MATERIALI V OBLAZINJENEM POHIŠTVU	119
	XV.A. <i>Zgradba oblazinjenega pohištva</i>	120
	XV.B. <i>Materiali za oblazinjeno pohištvo</i>	120
	XV.B.i. <i>Materiali za površinsko preoblačenje izdelka</i>	121
	XV.B.i.a. <i>Tekstilni materiali</i>	121

	XV.B.i.b. Usnje	127
	XV.B.ii. Polnilni materiali	130
	XV.B.iii. Vzmetni materiali za izdelavo elastičnega jedra	130
	XV.B.iv. Materiali za podlago	131
	XV.B.v. Pomožni in okrasni materiali	131
	XV.B.vi. Materiali za ogrodje kot nosilni skelet izdelka	132
XVI.	DODATEK: NEVARNE SNOVI	133
	XVI.A. Toksične ali strupene in zdravju ter okolju škodljive snovi	133
	XVI.B. Jedke in dražilne kemikalije	136
	XVI.C. Vnetljive, eksplozivne in oksidativne snovi	136
	XVI.D. Druge nevarne snovi	136
	XVI.E. Promet z nevarnimi snovmi, varnostni list	137
XVII.	LITERATURA	138
XVIII.	STVARNO KAZALO	140

KAZALO SLIK

Slika 1:	del kuhinjskega sestava.	15
Slika 2:	zgradba sodobne smuči (levo) in prikaz ene izmed faz pri izdelavi smuči (desno).	15
Slika 3:	različni materiali, vidni med obnovo starega stilnega pohištva	16
Slika 4:	kapljice vode na lesu, katerega površina je bila obdelana s površinskim premazom Nanoseal wood, ki vsebuje delce nano velikosti.	17
Slika 5:	kapljice vode na samočistilnem površinskem premazu.	18
Slika 6:	različne oblike ogljika: a) diamant, b) grafit, c) lonsdaleit, d) C60, e) C540, f) C70 (oblike d, e in f prištevamo k fulerenom), g) amorfni ogljik in h) ogljikova nanocevka.	20
Slika 7:	visokoločljivostna TEM posnetka a) silicijevega nitrida in b) plasti titana in aluminija.	20
Slika 8:	atomi Cr v tanki plasti. Posneto z mikroskopom na atomsko silo. Višina 13 nm, širina 80 nm, na mreži dimenzij 213 nm x 213 nm.	21
Slika 9:	shematski prikazi reda dolgega dosega oz. kristaliničnih struktur. Metuljčki na levi strani lahko predstavljajo katerekoli gradnike, krogle in elipsoidi na desnih dveh slikah so simbol za atome.	21
Slika 10:	shematski prikaz dveh amorfnih struktur.	22
Slika 11:	polikristalinični naravni mineral apatit (levo), monokristal žvepla na polikristalinični podlagi (na sredini) in gruča kristalov arzenopirita, dolomita, kalcita, sfalerita in pirita (desno).	23
Slika 12:	primera mikrostruktur, posnetih s svetlobnim mikroskopom (levo) in z vrstičnim elektronskim mikroskopom (desno). Na sredini je shema, ki povezuje pojma mikrostruktura in kristalna zgradba.	23
Slika 13:	na oko vidne razlike v gostotnem profilu iverne plošče.	24
Slika 14:	plošča iz kompozita les – polimer.	24
Slika 15:	deformacija valja zaradi natezne obremenitve.	25
Slika 16:	grafični prikaz Hookovega zakona.	26
Slika 17:	krivulji nateznega preizkusa σ - ϵ za jeklo in aluminij.	27
Slika 18:	primeri instrumentov za določanje (od leve proti desni) Brinellove, Rockwellove, Vickersove in Knoopove trdote.	28
Slika 19:	krivulje σ/ϵ za tri različne materiale, z različnimi nateznimi trdnostmi in žilavostmi.	31
Slika 20:	razmerje med trdnostjo in žilavostjo za posamezne skupine snovi.	32
Slika 21:	različne mehanske lastnosti polimernih materialov: A) fleksibilni termoplasti, B) togi termoplasti, C) togi duromeri, D) elastomeri.	33
Slika 22:	oblike makromolekul: linearne, razvejane in zamrežene polimerne molekule.	35
Slika 23:	shematski prikaz štirih linearnih makromolekul v raztegnjenem in zvitem stanju.	35
Slika 24:	shematski prikaz amorfnе polimerne strukture.	36
Slika 25:	linearna makromolekula, ki se je zvila v pravilno, urejeno obliko.	36
Slika 26:	lamela, sestavljena iz več linearnih makromolekul.	36
Slika 27:	območja kristaliničnosti (obkrožena z rdečo črto) in amorfности (obkrožena z zeleno črto).	37
Slika 28:	dvodimenzionalna predstavitev molekul v delno kristaliničnem polimeru.	37
Slika 29:	lamelarna kristalinična področja se izmenjujejo z območji amorfности.	37
Slika 30:	shematski prikaz sinteze polietilena.	38
Slika 31:	krivulji specifični volumen / temperatura za kristalinične in amorfne snovi.	39
Slika 32:	spremembe volumna v odvisnosti od temperature za amorfen in delno kristaliničen polimerni material.	40
Slika 33:	zdrs polimernih verig pri plastični deformaciji.	40
Slika 34:	elastomer v neobremenjenem in obremenjenem stanju.	41
Slika 35:	shematski prikazi a) razvejanega monomera, b) izmeničnega kopolimera, c) razvejanega naključnega kopolimera, d) blok kopolimera, e) cepljenega kopolimera.	42
Slika 36:	monomer polietilena (vodikovi atomi niso vpisani) ter mednarodna znaka za najbolj pogosti obliki polietilena, polietilen visoke gostote (na sredini, HDPE) in polietilen nizke gostote (desno, LDPE).	42
Slika 37:	nekaj primerov izdelkov iz polietilena: levo polietilenska folija, na sredini polietilenske laboratorijske platenke in desno, kuhinjske polietilenske deske za rezanje.	44
Slika 38:	deske iz kompozita les/polimer.	44

Slika 39:	polipropilen.	45
Slika 40:	polipropilenski stoli, v kombinaciji s kovinskim materialom.	45
Slika 41:	polivinilklorid.	45
Slika 42:	PVC vrtno pohištvo (levo) ter PVC kot material za okenski okvir (desno).	46
Slika 43:	shematski prikaz načina delovanja mehčal.	46
Slika 44:	polivinilacetat.	47
Slika 45:	polistiren.	47
Slika 46:	termoizolacijska plošča iz ekspandiranega polistirena (levo), zgradba plošče iz ekspandiranega polistirena (na sredini), pohištveni sedežni element, napolnjen s polistirenskimi kroglicami (desno).	48
Slika 47:	poliakrilati (A), polimetilakrilat (B), polimetilmetakrilat (C) in poli R-metakrilati (D).	47
Slika 48:	reakcija formaldehida s fenolom.	48
Slika 49:	vezan les, zlepljen s fenolfomaldehidnim lepilom.	48
Slika 50:	melamin.	50
Slika 51:	sečnina ali urea.	50
Slika 52:	prikaz sinteze najlona.	50
Slika 53:	prikaz vodikovih vezi v aramidu (kevlarju).	51
Slika 54:	poliamid kot osnova za z vlakni ojačan kompozitni material za izdelavo sedežnega pohištva (levo), ter poliamidno kolo za pisarniški stol (desno).	51
Slika 55:	sinteza polietilen tereftalata (poliestra) iz tereftalne kisline in etilen glikola.	52
Slika 56:	prikaz sinteze poliuretana.	53
Slika 57:	poliuretanska pena.	54
Slika 58:	poliuretanski nalimki na mizni plošči.	54
Slika 59:	heksametilen diizocianat (levo), 2,4-toluen diizocianat (na sredini) in 2,6-toluen diizocianat (desno).	55
Slika 60:	kemijska formula polikarbonata.	56
Slika 61:	epiklorhidrin, iz katerega je možno izdelati poliepoke.	56
Slika 62:	osnovna enota v celuloznem nitratu.	56
Slika 63:	zbiranje soka kavčukovca za proizvodnjo lateksa in naravne gume.	57
Slika 64:	<i>cis</i> -1,4 poliiizopren (levo) in zvit molekula poliiizoprena (desno).	58
Slika 65:	zamreženje naravne gume z žveplom – vulkanizacija.	58
Slika 66:	<i>trans</i> -1,4 poliiizopren (levo) ter raztegnjena makromolekula te snovi (desno).	59
Slika 67:	del verige sintetične stirensko-butadienske gume (levo) ter prikaz polistirenskih in polibutadienskih blokov v kopolimeru (desno).	59
Slika 68:	vzorci za robne trakove iz akrilonitril butadien stirena.	59
Slika 69:	primer silikonskega polimernega materiala – polidimetilsiloksan.	60
Slika 70:	razpored kovinskih atomov v eni ravnini pri najgostejše zloženih kovinskih strukturah.	62
Slika 71:	heksagonalni najgostejši sklad.	62
Slika 72:	kubični najgostejši sklad.	63
Slika 73:	prikaz točkastih napak v kristalni strukturi.	64
Slika 74:	robna dislokacija.	64
Slika 75:	intersticijski atomi otežijo kristalni zdrs.	65
Slika 76:	posnetki monokristala kadmija (Cd), narejeni z vrstičnim elektronskim mikroskopom.	65
Slika 77:	shematski prikaz plastičnega preoblikovanja kovin s premikom robne dislokacije pod vplivom delovanja zunanje sile.	65
Slika 78:	TEM posnetek dislokacij v zlitini (levo) ter visokoločljivostni TEM posnetek niobijevega nitrída NbN, z dislokacijami, ki so vidne kot vertikalne črte (desno).	66
Slika 79:	kovinski material z manjšimi zrni (desno) ima večjo trdnost, saj meje med zrni otežkočajo gibanje dislokacij.	66
Slika 80**:	shematski prikaz zgradbe substitucijske (levo) in intersticijske kovinske zlitine (desno).	67
Slika 81:	stol z jeklenim ogrodjem (levo) in jeklene vzmeti v vzmetnici (desno).	69
Slika 82:	primer kovinskih izdelkov za pohištveno industrijo.	69
Slika 83:	kombinacija lesa in aluminija pri oknu.	70
Slika 84:	nekateri pomožni pohištveni elementi iz bakra.	70
Slika 85:	medeninasto pohištveno ogrodje (levo) in vratna kljuka (desno).	71
Slika 86:	bronaste kljuka za okna in vrata.	71
Slika 87:	pohištveni element s cinkom kot prevladujočim materialom.	72
Slika 88:	okrasne kositrove plošče za dekoracijo pohištva.	73

Slika 89:	ponikljana kovinska postelja.	72
Slika 90:	toplotna razteznost snovi v eni dimenziji.	74
Slika 91:	volumska razteznost materiala.	76
Slika 92:	prevajanje toplote (kondukcija) znotraj snovi, med površinama, ki imata različni temperaturi.	77
Slika 93:	prestop toplote s plinaste faze na površino trdne snovi.	79
Slika 94:	prehod toplote.	80
Slika 95:	kristalni zdrs v mnogih ravninah pri keramiki ni možen, zaradi elektrostatskih odbojnih sil med enako nabitimi ioni.	81
Slika 96:	adsorpcija vode na delce v glini.	82
Slika 97:	industrijski ekstrudor.	83
Slika 98:	sintranje - shematski prikaz nastanka vratu med dvema zrnoma.	83
Slika 99:	prikaz zgostitve materiala med sintranjem.	84
Slika 100:	mikrostruktura keramičnega aluminijevega oksida (levo) ter prelomna površina kompozitnega materiala – Al_2O_3 keramike, modificirane s kovinskimi delci (desno).	84
Slika 101:	mikrostruktura porcelana.	85
Slika 102:	(SiO_4^{4-}) tetraeder ter skupina tetraedrov, povezanih s skupnimi ogljčki v verižno strukturo.	85
Slika 103:	razpršitev snopa svetlobe na polikristaliničnem materialu (a) in prehod svetlobe preko stekla (b).	86
Slika 104:	nekaj običajnih izdelkov iz natrijevega stekla za rabo v gospodinjstvu.	87
Slika 105:	primeri izdelkov iz barvnega stekla.	89
Slika 106:	kristalinični vključki železovega oksida v steklu.	90
Slika 107:	lom kaljenega stekla.	91
Slika 108:	dvoslojno lepljeno obarvano steklo.	91
Slika 109:	shematski prikaz dogajanja na samočistilni površini.	93
Slika 110:	polikristalinična zgradba steklokeramike, posneta s polarizirano svetlobo.	93
Slika 111:	primeri magmatskih kamnin (granitna plošča v izdelku, levo), sedimentnih kamnin (apnenec – »hotaveljski marmor«, na sredini) in nebrušeni rožnati marmor (desno).	94
Slika 112:	sestava upogibnega brusilnega sredstva.	97
Slika 113:	surovine za abrazivna zrna na upogibnih brusilnih sredstvih: levo dva primera elektrokorunda, desno kremen.	99
Slika 114:	površini brusilnih sredstev z odprtim (levo, granulacija 30) in zaprtim (desno, granulacija 80) posipom.	100
Slika 115:	mikrostruktura ene od mnogih vrst jekel, ki jih ne uvrščamo med kompozitne materiale.	102
Slika 116:	shematski prikaz mehanskega sidranja.	103
Slika 117:	difuzijska teorija adhezije.	103
Slika 118:	elektrostatski privlak na stični površini.	104
Slika 119:	primeri vozila in zračnega plovila, v katerih je vgrajenih veliko kompozitni materialov.	104
Slika 120:	kolesarska čelada in okvir za kolo iz sodobnih kompozitnih materialov.	105
Slika 121:	shematski prikaz zgradbe kompozitov s sferičnimi (a) in luskastimi (b) delci ter kompozit cementno vezivo – okrogli polistirenski delci (desno).	105
Slika 122:	kompoziti, ojačani s kratkimi in naključno orientiranimi vlakni (a), s kratkimi, med seboj vzporednimi vlakni (b) ter kompoziti, ojačani z dolgimi vzporednimi vlakni (c).	106
Slika 123:	shematski prikaz načina ojačitve matrice z vlakni.	106
Slika 124:	zunanja talna obloga iz kompozita les-polimer.	107
Slika 125:	primer plastovite zgradbe laminata za talne obloge.	108
Slika 126:	vrstični tunelski mikroskop (STM, levo) ter posnetek površine ogljika, narejen s STM, na katerem se jasno razločijo posamezni atomi (desno).	109
Slika 127:	princip delovanja vrstičnega tunelskega mikroskopa (STM).	110
Slika 128:	delovanje mikroskopa na atomsko silo (AFM).	110
Slika 129:	mikroskop na atomsko silo AFM (levo), konica mikroskopa (na sredini) in površina zgoščenke (CD) z zapisanimi podatki, posneta z AFM (desno).	111
Slika 130:	shematski prikaz ogljikove nanocevke.	111
Slika 131:	sestavljanje nanomaterialov od spodaj navzgor, po »bottom-up« principu.	112

Slika 132: vodoodbojno blago, obdelano z nanodelci.	113
Slika 133: princip delovanja tim. »quantum-dots« (levo) in različne barve koloidnih raztopin z različno velikimi nanodelci, obsevanih z UV svetlobo (desno).	114
Slika 134: TEM posnetek celuloznih nanokristalov.	116
Slika 135: lotos z vodoodbojnimi listi (levo), ter shematski prikaz lotosovega samočistilnega efekta (desno).	116
Slika 136: hidrofobna površina lesa, obdelanega s sredstvom z nanodelci.	117
Slika 137: zaščitni nanodelci ZnO v lumnu lesne celice.	118
Slika 138: shematski prikaz nanoindentacije na celični steni.	119
Slika 139: izdelek iz skupine oblazinjenega pohištva – dvoranski stol.	120
Slika 140: sestavni deli oblazinjenega pohištva	120
Slika 141: bombaž.	123
Slika 142: polje z lanom (levo) in industrijsko konopljo (desno).	124
Slika 143: ramija (levo) in sisalova vlakna (desno).	125
Slika 144: postopki za izdelavo tekstilij, vrste tekstilij in njihova uporaba.	126
Slika 145: vezavi platno (levo) in keper (desno).	127
Slika 146: vzmetna košara.	130

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: primerjava nekaterih lastnosti grafitu in diamanta	19
Preglednica 2: približne vrednosti Youngovega modula za različne snovi	26
Preglednica 3: približne vrednosti natezne trdnosti za nekatere izbrane snovi	27
Preglednica 4: vrednosti trdote za nekatere izbrane snovi	29
Preglednica 5: nekatere metode za določanje trdote	30
Preglednica 6: Mohsova lestvica trdote	31
Preglednica 7: električna prevodnost nekaterih prevodnikov, polprevodnikov in izolatorjev	61
Preglednica 8: kompatibilnost oz. nekompatibilnost cinka z lesom	72
Preglednica 9: linearni temperaturni razteznostni koeficienti nekaterih materialov	75
Preglednica 10: toplotna prevodnost nekaterih snovi (W/mK)	77
Preglednica 11: toplotna prehodnost nekaterih konstrukcijskih elementov in različnih izdelkov	79
Preglednica 12: linearni temperaturni razteznostni koeficienti nekaterih vrst stekel	87
Preglednica 13: dodatki za obarvanje stekel in njihovi barvni učinki	89
Preglednica 14: oznake in lastnosti podlag iz papirja pri upogibnih brusilnih sredstvih	98
Preglednica 15: oznake in lastnosti podlag iz tekstila pri upogibnih brusilnih sredstvih	98
Preglednica 16: povprečne velikosti zrn v odvisnosti od zrnivosti po standardu FEPA	100

PREDGOVOR

Les je obnovljiv, trajnosten in okolju prijazen material, ki v ljudeh vzbuja estetske, tople občutke. Le težko si predstavljamo, kakšni bi bili naši domovi in pravzaprav kar ves naš svet, brez vsakodnevnega stika z lesom in izdelki iz tega plemenitega materiala – od pohištva za opremo bivalnih prostorov, preko parketa in drugih lesenih talnih oblog, pa vse do vrat, lesenih okenskih okvirjev, različnih opažev in ograj. Ob besedi pohištvo nehote takoj pomislimo na les in ne morda na kakšna druga tvoriva kot so npr. kovine ali plastika. Zakaj? Neka raziskava na Finskem je pokazala, da večina vprašanih lesu pripisuje naslednje prednosti: je zanesljiv, okolju in zdravju človeka prijazen material, zelo prijetnega videza in ima visoko vrednost. Nekoliko drugačno je mnenje nemških uporabnikov, ki bolj poudarjajo dobro oblikovanje, a enako kot v prejšnjem primeru, ekološke prednosti lesa kot materiala za pohištvo.

Po drugi strani so v izdelkih iz lesa nepogrešljivi tudi različni drugi, nelesni materiali. Naravne in sintetične polimerne snovi uporabljamo za veziva v ivernih in vezanih ploščah, za lepila, lake in dekorativne folije, za polnila v oblazinjenem pohištvu ter za različne nosilce, ročaje, ogrodja ipd. Kovine so pomembne kot ogrodni material pri oblazinjenem pohištvu, na prvem mestu je seveda njihova nepogrešljiva vloga pri orodjih in lesnoobdelovalnih strojih. Steklo srečamo pri pohištvu v vratih in kot gradivo za police, seveda je bistveni element oken. Naravne kamnine uporabljamo za delovne plošče, usnje in tekstil pa za površinsko preoblačenje oblazinjenega pohištva.

Zaradi pomembnosti različnih nelesnih materialov v izdelkih lesne industrije in splošneje, zaradi njihove tehnološke pomembnosti, npr. pri orodjih za obdelavo lesa, se je že zgodaj pokazala potreba po vključitvi osnovnega tečaja o nelesnih materialih v študijske programe lesarstva. Tako so že študentje višješolskega študijskega programa lesarstva na Oddelku za lesarstvo na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani poslušali predavanja iz predmeta »Pomožni materiali v lesarstvu«. S prenovo študija, ki je višješolski strokovni študij lesarstva nadomestila z visokošolskim strokovnim študijskim programom, je predmet dobil novo ime, »Nelesni materiali«. Predmet se je razvijal tako, da so enciklopedična znanja o nelesnih materialih postajala vedno manj pomembna, vedno bolj aktualno pa je postalo, zaradi množice različnih novih materialov, ki se na tržišču pojavljajo dobesedno vsakodnevno, razumevanje povezav med notranjo zgradbo materialov in njihovimi lastnostmi. V študijskem letu 2007/08 smo na Oddelku za lesarstvo pričeli z izvajanjem novih študijskih programov lesarstva, v skladu z zahtevami bolonjske deklaracije. V okviru te zadnje prenovitve je bil v prvi letnik univerzitetnega študijskega programa lesarstva prve stopnje umeščen nov predmet z nazivom »Polimerni in ostali nelesni materiali«. Študentje naj bi pri tem predmetu osvojili temelje zveze med zgradbo in lastnostmi snovi. Pridobljeno znanje bodo lahko samostojno uporabljali za pregledno obvladovanje skupin gradiv in njihove možne aplikacije v lesarstvu. V praksi naj bi znali pravilno izbrati najprimernejši nelesni material za kombinacijo z lesom, glede na pričakovane zahteve in pogoje uporabe lesnega tvoriva ali končnega izdelka.

Moje izkušnje kot predavatelja pri bivšem predmetu »Nelesni materiali« in sedaj pri predmetu »Polimerni in ostali nelesni materiali«, so pokazale, da se v študijske programe lesarstva na Biotehniški fakulteti vpisujejo študentje z zelo raznolikim predznanjem fizike in kemije. Žal je znanje osnov kemije in fizike pri nekaterih študentih dokaj slabo. Zato so bila predavanja pripravljena tako, da bi tudi študentje s skromnejšim predznanjem pridobili osnovne kompetence, ki jim omogočajo uspešen nadaljnji študij lesarstva, še posebej pri predmetih, ki obravnavajo lepljenje in površinsko obdelavo lesa, lesne kompozite in lesne plošče, ipd. Velik problem je do sedaj predstavljalo dejstvo, da študentje za predmet niso imeli na voljo posebej napisanega učbenika. Seveda različna študijska gradiva kot so npr. kopije prosojnic, gradiva, objavljena na spletu, ipd., kaj šele samo zapiski, za študente ne zadostujejo. Prav v prvem letniku bi namreč študentje morali ugotoviti, da so postali študentje in niso več dijaki. To pomeni, da morajo zahtevano snov naštudirati in se je ne samo »naučiti«. Zato je bila potreba po primernem učbeniku zelo velika.

Študijskih gradiv za področje materialov oz. znanosti o materialih je na voljo zelo veliko. Učbenikov o materialih je na univerzitetnem nivoju kar precej v slovenskem jeziku in ogromno v

angleščini in drugih pomembnih tujih jeziki, primerni so celo nekateri zahtevnejši učbeniki na srednješolskem nivoju. Še več učnih gradiv in različnih podatkov je možno poiskati na svetovnem spletu. Prav v tem je pravzaprav težava – različni študijski viri so tako številni, da študentje težko poiščejo in izberejo zanje in za potrebe po obsegu zelo omejenega predmeta »Polimerni in ostali nelesni materiali« najprimernejša učna gradiva. Odločitev za pripravo učbenika za predmet »Polimerni in ostali nelesni materiali« je bila zato po mojem mnenju nujna. Učbenik je kot študijski pripomoček namenjen tudi študentom prve stopnje visokošolskega strokovnega študija tehnologij lesa in vlaknatih kompozitov in sicer za predmet »Materiali v lesarstvu in tehnologija površinske obdelave«, ki ga poslušajo v drugem letniku. Prav tako upam, da bo koristil vsem, ki bi želeli osvežiti in utrditi znanje s področja materialov, bodisi študentom lesarstva višjih letnikov na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete v Ljubljani, kakor tudi študentom višješolskega študija lesarstva v Mariboru. Morda bodo učbenik vzeli v roke tudi študentje različnih drugih smeri, primeren je tudi za srednješolce, ki jih zanima področje znanosti o materialih.

Na koncu predgovora še kratko pojasnilo: podatke za pripravo predavanj in nato učbenika sem poiskal v mnogih zelo različnih virih, v zadnjem času prav gotovo prevladujejo preverjeni spletni viri. Ker je le-teh zelo veliko, sem se predvsem zaradi preglednosti besedila odločil, da virov v besedilu učbenika posebej ne navajam. Izjema so fotografije in razne risbe. Če pri sliki vir ali avtor ni naveden, pomeni, da sem avtor fotografije ali risbe sam.

Prof. dr. Marko Petrič, univ. dipl. kem.

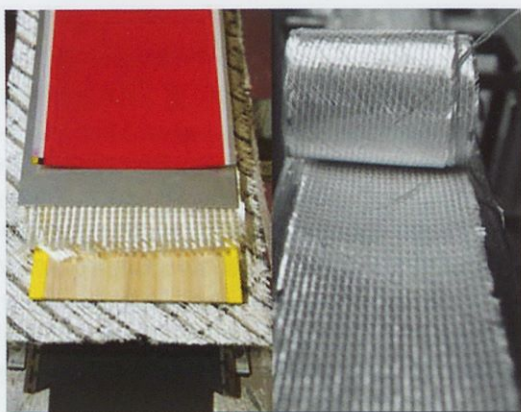
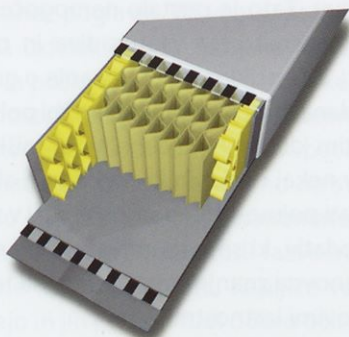
I. UVOD



Slika 1: del kuhinjskega sestava. (foto F. Budija)

Na sliki 1 je del kuhinjskega sestava. Ugotovimo lahko, da vidimo masivnega lesa ali z lesom furniranih elementov bolj malo. Še za material, ki ima videz lesa, nismo popolnoma prepričani, če gre res za les. Morda so to namesto lesa polimerne folije z imitacijo lesne teksture? Pohištveni elementi so najverjetneje narejeni iz lesnih plošč, v katerih so med seboj zlepljena lesna vlakna ali lesne iveri. Lesne plošče so značilni predstavniki kompozitnih oz. sestavljenih materialov. Vidimo lahko tudi precej kovinskih elementov, keramične ploščice, steklokeramiko, itd. Katere materiale lahko pri izdelavi kuhinjskih elementov med seboj uspešno kombiniramo? Kakšne so lastnosti teh materialov?

Ali bodo dobro prenesli povišane temperature tisti deli, ki so v bližini kuhinjske pečice? In še, ali je trdnost plošč dovolj velika, da bodo le-te prenesle težo kuhinjskih posod, steklovine in keramike, ki jo bomo naložili v omarice? Da bi nekdo, ki kuhinje načrtuje ter organizira in vodi njihovo izdelavo, znal odgovoriti na taka in podobna, izredno pomembna vprašanja, mora imeti vsaj osnovno znanje o različnih gradivih in njihovih lastnostih.



Slika 2: zgradba sodobne smuči (levo) in prikaz ene izmed faz pri izdelavi smuči (desno).

Levo: sliko je poslal in dovolil objavo g. Dominik Liam Gangl, Nordic Fischersports GmbH, Avstrija; desno: <http://www.spoiltski.com/index.php?pg=construction&l=e> 1.11.2007, objavljeno z dovoljenjem g. Sandro Mazzoni, Spoilt S.R.L., Italija).

Sodobne alpske ali nordijske smuči (slika 2) so visokotehnološki izdelek lesarske industrije, pri katerem velik delež dodane vrednosti predstavlja vgrajeno znanje. Na levi strani vidimo jedro smuči iz zlepljenih elementov ter iz raznih kompozitov, na desni eno od faz proizvodnje smuči. Za izdelavo smuči uporabljajo veliko polimernih materialov: poliakrilatov, poliestrov, mas na osnovi melamina. Lastnosti teh materialov morajo biti izbrane tako, da zagotavljajo potrebne mehanske lastnosti smuči, spodnja stran mora imeti na snegu čim boljše drsnost, materiali morajo obdržati svoje dobre lastnosti tudi pri nizkih temperaturah, ipd. Izbrane vrste lesa (velikokrat sta to jesenovina in topolovina) morajo biti v kompozit zlepljene s primerno izbranimi lepili. Pomemben del kompozitnih materialov, iz katerih so izdelane smuči, so tudi različna vlakna, katerih sestava, dolžina in medsebojni položaj tudi bistveno vplivajo na končne mehanske lastnosti smuči. Ne nazadnje, robniki so izdelani iz različnih najsodobnejših zlitin, pri katerih je še posebej pomembna njihova trdota. Spet lahko ponovimo že povedano: za izdelavo sodobnih izdelkov lesne industrije je znanje o različnih materialih in njihovih lastnostih nujno potrebno!

Poglejmo še tretji, bolj klasičen primer (slika 3). Oblazinjeno pohištvo je skupina izdelkov lesne industrije, kjer so nelesni materiali prav enako ali celo bolj pomembni kot les, iz katerega je največkrat izdelano ogrodje oblazinjenega pohištva. Vendar celo ogrodje zelo pogosto nadomeščajo različni drugi materiali, kot so kovine (npr. aluminij ali aluminijeve zlitine) ali z vlakni ojačane sintetične mase. Eden od najpomembnejših elementov oblazinjenega pohištva je polnilo, ki naj zagotavlja čim višje udobje, mora biti trajno in neobčutljivo na vlago in povišane temperature. Za polnila lahko uporabljamo kopico naravnih (npr. volna ali bombaž, lateks, dlake različnih živali ipd.) in sintetičnih materialov (poliuretanske ali polivinilkloridne pene). Vzmetenje je lahko izdelano iz različnih materialov, ki morajo imeti specifične lastnosti za predviden namen: razne vrvi, letvice iz lepljenega lesa, vzmeti iz posebnih vzmetnih jekel, ipd.). Oblazinjeno pohištvo je seveda površinsko oblečeno z različnimi naravnimi in umetnimi tekstilnimi materiali, različnimi vrstami usnja, z umetnim usnjem, sodobnimi tekstilnimi materiali, ki so zgrajeni iz mikrovlakn, ipd.



Slika 3: različni materiali, vidni med obnovo starega stilnega pohištva. (foto A. Šolar)

Ko govorimo o nelesnih materialih v lesarstvu, ne smemo pozabiti tudi na nekatere bolj ali manj skrite snovi, ki jih vsebujejo lesna tvoriva ali gotovi izdelki. Tu mislimo predvsem na vse vrste lepil kakor tudi na veziva (polimere) v različnih površinskih premazih kot so npr. laki, lazure, prekrivne barve in podobno.

Razvoj na področju materialov je res intenziven in vsakodnevno se na tržišču pojavljajo nova in nova gradiva, ki jih uporabljamo tudi v lesarstvu. Zato je postalo nemogoče, da bi kdorkoli poznal prav vsa gradiva in njihove lastnosti. Za enciklopedično znanje o gradivih in njihovih lastnostih tudi ni več prave potrebe, saj lahko v današnji informacijski družbi poiščemo prav vse podatke o materialih, ki nas zanimajo, s preprostim klikom na računalniško miško. Niti ni potrebno več iti v knjižnico, podatke lahko poiščemo v nekaj minutah kar od doma ali z delovnega mesta. Da bi to znali storiti, moramo seveda poznati pojme, ki jih bomo vtipkali v spletni brskalnik, vedeti moramo, kaj iščemo in kaj pomenijo podatki, ki se nam prikažejo na ekranu računalnika. To je mogoče le tako, da dobro obvladamo osnovna znanja o materialih, na temelju razumevanja povezav med notranjo zgradbo snovi in njihovimi lastnostmi.

II. ZNANOST O MATERIALIH

II.A. O IZRAZIH »GRADIVO«, »MATERIAL« IN »TVORIVO«

V Slovarju slovenskega knjižnega jezika (SSKJ) piše, da je »Gradivo« *snov, surovina za graditev*. »Material« ima več pomenov in sicer *kar se uporablja za izdelavo česa, snov, tvarina* ali *snov, surovina za gradnjo, graditev* ter še *snov, tvarina, ne glede na uporabnost, namen*. »Tvorivo« naj bi bila po Slovarju slovenskega knjižnega jezika *snov, iz katere se kaj dela, izdeluje; gradivo, material*, ali *snov iz katere je kaj narejeno, sestavljeno* in v ožjem smislu, ki nam je najbolj poznan v lesarstvu, tudi *že obdelan, predelan les, namenjen za nadaljnjo predelavo*. Vidimo, da je v vseh zgornjih definicijah omenjena besedica *snov*, zato pogledajmo še, kaj v SSKJ piše pod tem pojmom: *kar tvori, sestavlja stvari, predmetna telesa* ter *kar tvori, sestavlja stvari, predmetna telesa in ima določene lastnosti, značilnosti*.

O izrazih »gradivo« in »material« govorijo tudi različni drugi avtorji. Nekateri so mnenja, da lahko oba izraza uporabljamo v istem pomenu. V tem učbeniku prednostno uporabljamo naziv »materiali«.

II.B. ZNANOST O MATERIALIH

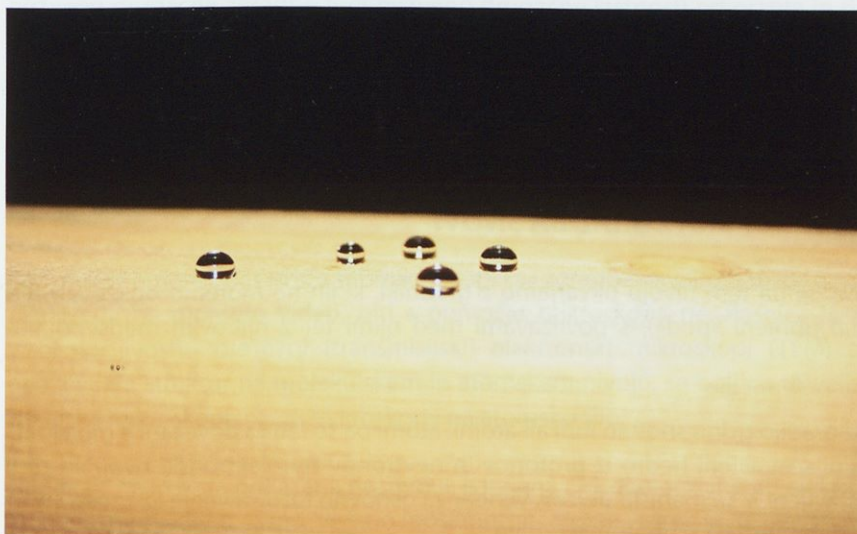
Znanost o materialih je interdisciplinarna veda, ki se ukvarja z lastnostmi materialov in njihovo uporabo, kar vključuje tudi znanje o načinih izdelave gradiv in njihove predelave v izdelek ter o opremi in metodah za proizvodnjo gradiv.

Znanost o materialih proučuje povezave med notranjo zgradbo snovi in njihovimi lastnostmi.

Obsega fiziko in kemijo trdnega stanja. Če poznamo in razumemo odnose med notranjo zgradbo snovi in njihovimi fizikalnimi, kemijskimi in tehnološkimi lastnostmi, lahko na osnovi poznavanja zgradbe neke snovi približno napovemo, kakšne bodo njene lastnosti. Še več, znanje o povezavi med zgradbo in lastnostmi snovi lahko uporabimo tako, da izdelamo neko novo snov na tak način, da bo imela lastnosti, ki jih želimo oz. smo jih vnaprej predvideli.

Razvoj materialov je tesno povezan z razvojem naše civilizacije. Najlepši dokaz za velik pomen materialov za človeško družbo so posamezna zgodovinska obdobja, ki smo jih poimenovali po gradivih, ki so se v teh obdobjih prevladujoče uporabljala: npr. kamena, bronasta ali železna doba. Danes je sodobna znanost o materialih poleg biokemije in genetike eno najhitreje razvijajočih se področij znanosti. Brez znanosti o materialih si enostavno ne moremo predstavljati razvoja avtomobilske, letalske in vesoljske industrije, miniaturizacije v elektronski industriji in s tem povezanega razmaha mobilne telefonije kakor tudi ne računalništva, ki predvsem s širjenjem in razvojem svetovnega spleta bistveno spreminja našo družbo. In ne nazadnje, kdo še ni slišal za nanomaterialne in nanotehnologije?

In za konec poglavja: Vsi vemo, da les in voda nista ravno prijatelja. Zaradi navlaževanja in nato sušenja izdelek iz lesa nabreka in se nato krči, zaradi česar je možnost pojavljanja različnih napak in poškodb, kot so npr. razpoke, velika. Če je les dalj časa preveč vlažen, se močno poveča nevarnost glivnega razkroja. Zato želimo, da bi voda z lesa čim hitreje odtekla, da bi bila zmožnost omočitve lesa z vodo čim slabša. Spet nam priskočijo na pomoč sodobni materiali, v tem primeru nanomateriali. Na sliki 4 vidimo na svetovnem spletu dobro poznano fotografijo kapljic vode na kosu lesa, obdelanem z nanomateriali, na sliki 5 pa obnašanje kapljic na tako imenovanem samočistilnem premazu, tudi razvitem na osnovi nanotehnologije, ki imitira naravno strukturo površine lotosovega lista. Kapljice vode s površin, obdelanih s samočistilnimi premazi, hitro odtečejo in jih pri tem tudi dobro očistijo. Na kapljice se namreč oprime vsa nesnaga s površine.



Slika 4: kapljice vode na lesu, katerega površina je bila obdelana s površinskim premazom Nanoseal wood, ki vsebuje delce nano velikosti.
(<http://www.nanotec.com.au/nanoseal-wood.htm> 1.11.2007, slika je objavljena z dovoljenjem podjetja Nanotec Pty Ltd, Brookvale, Avstralija)



Slika 5: kapljice vode na samočistilnem površinskem premazu.
 (<http://www.nanowerk.com/news/newsid=913.php> 1.11.2007, foto G. Meek, objavljeno z dovoljenjem C.P.Wong, Regents' Professor and Charles Smithgall Institute Chair School of Materials Science & Engineering Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia, ZDA)

III. SUBMIKROSKOPSKA, MIKROSKOPSKA IN MAKROSKOPSKA ZGRADBA SNOVI

Glede na dimenzijski nivo opazovanja narave in naravnih pojavov in sestave, zgradbe snovi, bi lahko govorili o submikroskopski, mikroskopski in makroskopski zgradbi snovi. Končne fizikalne in kemijske lastnosti snovi, ki jih lahko opazujemo in merimo, so odvisne od organiziranosti snovi na vseh omenjenih nivojih. Tako so lastnosti snovi npr. odvisne od tega, ali med gradniki – atomi – prevladujejo ionske ali kovalentne vezi, prav tako je pomembno, ali so molekule v prostoru pravilno ali pa naključno razporejene. Pomembno je tudi, kako veliki so kristali – zrna, ki sestavljajo polikristalinično snov, kakšnih oblik so ter kakšne so sile, ki jih med seboj povezujejo. Primer: dve palici iz aluminija imata na submikroskopskem nivoju popolnoma enako zgradbo (enaki gradniki – atomi aluminija, enake vezi med gradniki – kovinska vez, enaka kristalna struktura, itd.) pa vendar se njune mehanske lastnosti med seboj bistveno razlikujejo, ker so kristali – zrna aluminija, ki jih lahko vidimo samo pod mikroskopom, pri prvi palici bistveno manjši kot pri drugi. Pomaknimo se še za en dimenzijski nivo višje: mehanske lastnosti s steklenimi vlakni ojačanega poliestra so močno odvisne od dolžine steklenih vlaken, ki so vgrajena v poliestrsko osnovo ter od njihove medsebojne lege, npr. od tega ali so vlakna usmerjena in med seboj vzporedna, ali so morda položena v plasteh z navzkrižno usmerjenostjo, ali pa morda sploh niso orientirana.

III.A. SUBMIKROSKOPSKA ZGRADBA SNOVI

Kot nakazuje že ime, se na tem nivoju ukvarjamo z gradniki, ki jih ne moremo opazovati niti z mikroskopom (*sub* pomeni »pod«), s povezavami med njimi ter z njihovim medsebojnim razporedom.

Osnovni gradniki, ki gradijo trdno snov so ioni ali atomi, atomi pa so lahko povezani v molekule. Seveda so tudi atomi sestavljeni (jedro iz protonov in nevtronov ter elektronski ovoj), in tudi delci atomov so sestavljeni iz še manjših delcev. Vendar za osnovno razumevanje lastnosti snovi zadostuje, če se ne spuščamo na »subatomske« nivo.

Primarne medatomske vezi so ionska, kovalentna in kovinska vez, sekundarne pa Van der Waalsove vezi in vodikova vez. Skorajda odveč je pripomniti, da je poznavanje naštetih vrst medatomskih vezi nujno za razumevanje povezave med zgradbo in lastnostmi snovi. Za ponovitev zadostujejo

katerikoli učbeniki kemije za srednje šole, veliko podatkov in nazornih prikazov je moč najti tudi na svetovnem spletu.

Eden izmed osnovnih ciljev tega učbenika je bralcu privzgojiti občutek za to, da so lastnosti materiala odvisne od njegove zgradbe. Na submikroskopskem nivoju je res zelo šolski primer za to ogljik, ki lahko nastopa v obliki grafitu in diamanta in tudi, kot so ugotovili v zadnjih letih, še v mnogih drugih oblikah. Vendar ostanimo pri grafitu in diamantu. Kot vidimo iz preglednice 1, se lastnosti grafitu in diamanta med seboj močno razlikujejo.

Preglednica 1: primerjava nekaterih lastnosti grafitu in diamanta

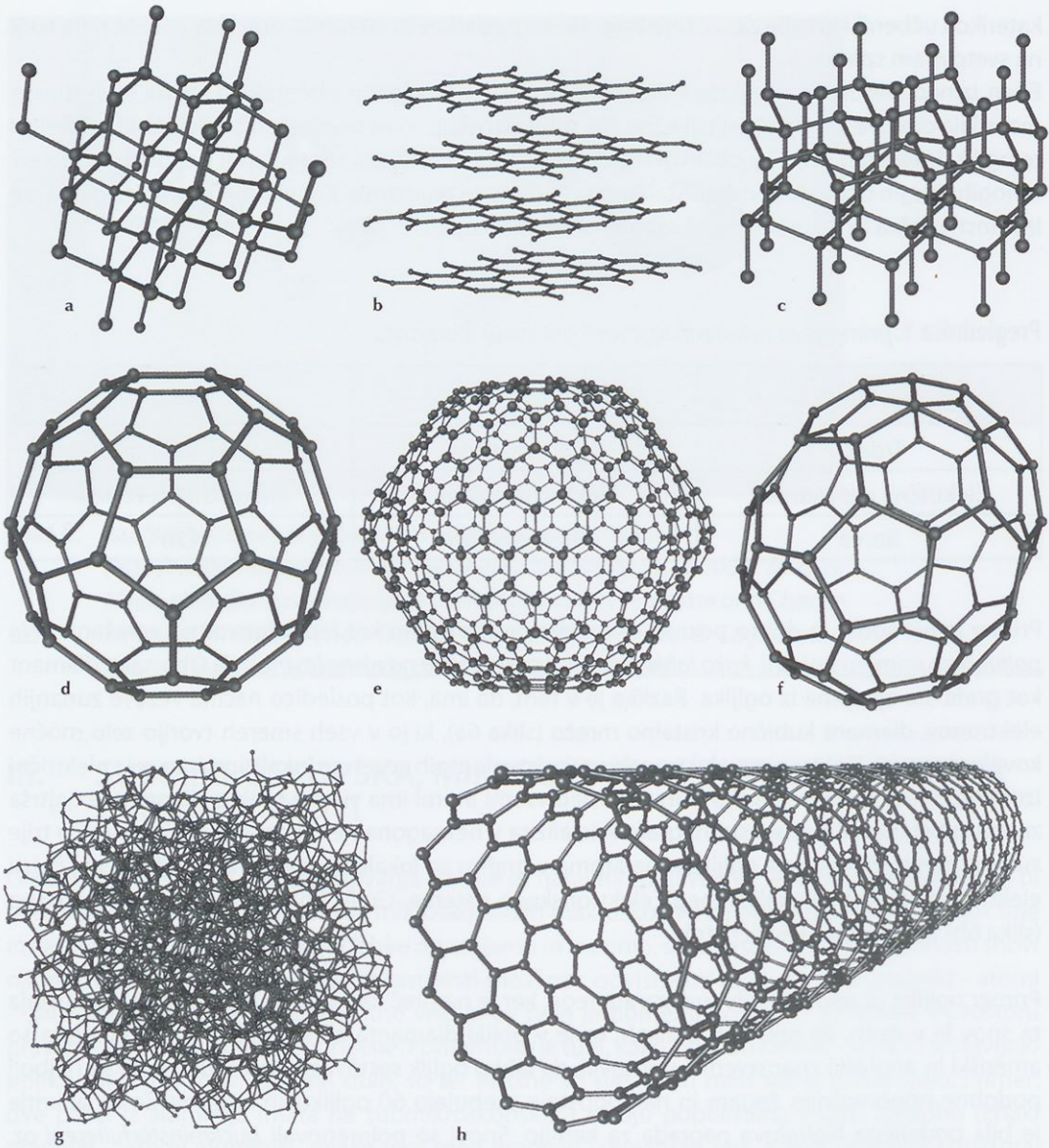
Lastnost	Diamant	Grafit
Trdota	Najtrši material	Mehak, se lušči v plasteh
Električna prevodnost	Električni izolator	Električni prevodnik
Barva	Brezbarven	Črn

Primer je res šolski in dobro poznan, a vendar ga navajamo kot lep odgovor na vprašanje »*Na poljubnem primeru pojasni, kako lahko zgradba snovi vpliva na njene lastnosti?*« Oba, tako diamant kot grafit sta zgrajena iz ogljika. Razlika je v tem, da ima, kot posledico načina vezave zunanjih elektronov, diamant kubično kristalno mrežo (slika 6a), ki jo v vseh smereh tvorijo zelo močne kovalentne vezi. Elektroni oz. elektronski pari v kovalentnih vezeh so lokalizirani, snov je električni izolator, zaradi močnih kovalentnih vezi med vsemi atomi ima visoko tališče, diamant je najtrša znana substanca. Po drugi strani grafit kristalizira v heksagonalnem kristalnem sistemu. Po trije zunanji elektroni vsakega ogljikovega atoma v grafitu so lokalizirani v kovalentnih vezeh, četrti elektron pa je del delokaliziranega elektronskega sistema. Grafit ima zato plastovito strukturo (slika 6b) ter prevaja električni tok.

Primer ogljika je zelo zanimiv tudi zaradi tega, ker je namreč kar do leta 1985 veljalo, da obstaja ta snov le v dveh, že opisanih oblikah, to je v obliki diamanta ali v obliki grafitu. Tega leta so ameriški in angleški znanstveniki ugotovili, da lahko ogljik sestavljajo molekule, ki so še najbolj podobne nogometnim žogam in najpogosteje vsebujejo 60 ogljikovih atomov. Za to odkritje je bila podeljena Nobelova nagrada za kemijo. Snovi so poimenovali *buckminsterfullereni* oz. krajše kar *fulereni*. Fullereni so sestavljeni iz sferičnih molekul, ki vsebujejo 28, 32, 50, 60, 70 ali več atomov ogljika (slike 6d do 6f). Seveda je skoraj odveč napisati, da imajo fullereni zaradi svoje bistveno drugačne zgradbe tudi bistveno drugačne lastnosti od grafitu in diamanta. V družino fulerenov uvrščamo tudi ogljikove nanocevice (slika 6h). Ogljikove nanocevice so cilindrične, ena stran valja je običajno pokrita s polkroglo oz. polovico ogljikove žoge »*buckyball*«. Ime nanocevek izhaja iz njihovih dimenzij: njihov premer namreč znaša nekaj nanometrov oz. nekaj 10^{-9} m. Dolge pa so nanocevice lahko nekaj mm. Z odkritjem nanocevek se je odprl popolnoma nov svet, svet *nanomaterialov in nanotehnologije*, ki mu je v tej knjigi namenjeno posebno poglavje in že sedaj močno vpliva na dogajanja na področju raziskav in razvoja novih materialov.

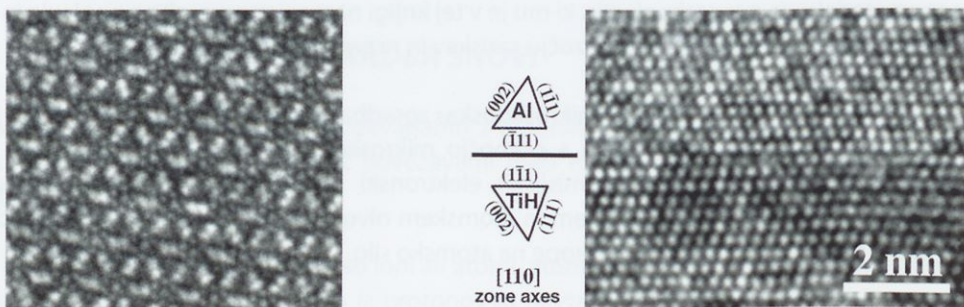
Kot smo že omenili, nas izraz »submikroskopska« zgradba navaja na to, da gradnikov in njihovega razporeda ne moremo videti, niti s pomočjo mikroskopa ne. Resnica je drugačna: sodobni visokoločljivostni presevalni (transmisijski) elektronski mikroskopi (TEM) so nam omogočili opazovanje struktur na molekulskem in atomskem nivoju, še bolj pa to velja za najsodobnejše tunelske mikroskope oz. za mikroskope na atomsko silo.

Na slikah 7 a in b sta prikazana posnetka, narejena z visokoločljivostno elektronsko mikroskopijo in na katerih lahko jasno vidimo posamezne atome, torej le težko še vedno govorimo o *submikroskopskih* strukturah.



Slika 6: različne oblike ogljika: a) diamant, b) grafit, c) lonsdaleit, d) C60, e) C540, f) C70 (oblike d, e in f prištevamo k fulerenom), g) amorfni ogljik in h) ogljikova nanocevka.

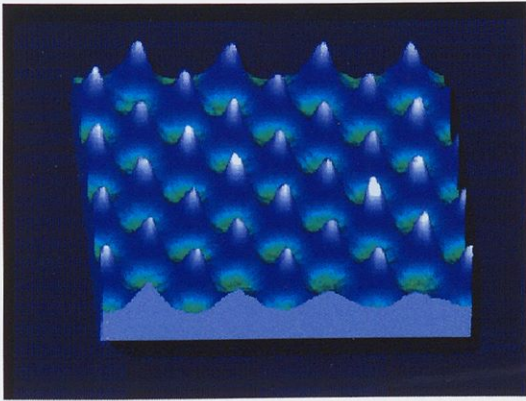
(http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Eight_Allotropes_of_Carbon.png 1.11.2007, avtor M. Ströck, objavljeno z dovoljenjem pod pogoji GNU Free Documentation license http://en.wikipedia.org/wiki/GNU_Free_Documentation_License, Verzija 1.2 ali katerakoli kasnejša verzija izdana od Free Software Foundation http://en.wikipedia.org/wiki/Free_Software_Foundation)



Slika 7: visokoločljivostna TEM posnetka a) silicijevega nitrida in b) plasti titana in aluminija.

(Levo: <http://www.iatia.com.au/technology/samples/siliconNitride.asp> 1.11.2007, slika je last K. Ishizuka, HREM Research Inc., Japan; zaprosili smo za dovoljenje za objavo, a negativnega odgovora ni bilo; desno: <http://www.metallurgy.nist.gov/facilities/TEMgallery.html> 1.11.2007, objavljeno z dovoljenjem John Bonevich, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, ZDA)

Na sliki 8 je primer posnetka, narejenega z mikroskopom na atomsko silo, na katerem vidimo posamezne atome kroma.

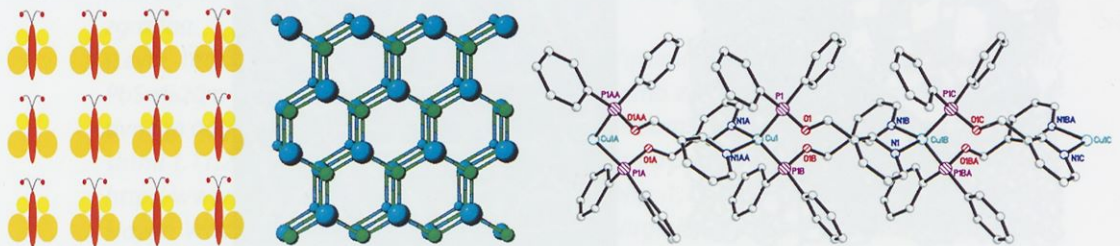


Slika 8: atomi Cr v tanki plasti. Posneto z mikroskopom na atomsko silo. Višina 13 nm, širina 80 nm, na mreži dimenzij 213 nm x 213 nm. (http://cnst.nist.gov/epg/Projects/Atom/atom_dots_proj.html 1.11.2007, slika ni avtorsko zaščiten, zato je po navedbi na spletnih straneh NIST prosto objavljiva. Rezultati povezane raziskave so objavljeni v: »Nanofabrication of a Two-Dimensional Array Using Laser-Focused Atomic Deposition, R. Gupta, J.J. McClelland, Z. Jabbour, and R.J. Celotta, Applied Physics Letters 67(10), 1378 (1995)«)

III.A.i. KRISTALINIČNE IN AMORFNE SNOVI

Med bistvene podatke o zgradbi snovi na submikroskopskem nivoju sodi tudi informacija o tem, kako so osnovni gradniki (ioni, atomi ali molekule) med seboj razporejeni. Glede na to govorimo o kristaliničnih ali amorfnih gradivih.

Za kristalinične snovi je značilno, da so njihovi gradniki v vseh treh dimenzijah pravilno razporejeni, po nekem redu, po nekem pravilu. Če to pravilo poznamo, lahko napovemo, kje v prostoru se v kristalu nahaja gradnik. Govorimo o redu dolgega dosega (slika 9).



Slika 9: shematski prikazi reda dolgega dosega oz. kristaliničnih struktur. Metuljčki na levi strani lahko predstavljajo katerekoli gradnike, krogle in elipsoidi na desnih dveh slikah so simbol za atome.

(Slika na sredini: <http://www.sintef.no/content/page14521.aspx> 1.11.2007, zaprosili smo za dovoljenje za objavo in nismo dobili negativnega odgovora; desno: struktura kationskega dela spojine $\text{CuPF}_6\text{PPh}_2(3\text{-OCH}_2\text{C}_5\text{H}_4\text{N})_2$, objavljeno z dovoljenjem K.K. Klausmeyer, iz osebne komunikacije K.K. Klausmeyer, R.P. Feazell in C.E. Carson, Baylor University, Waco, Texas, ZDA)

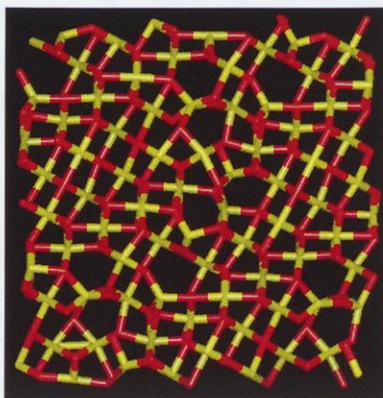
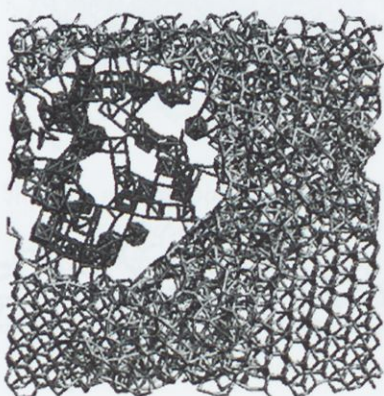
Primeri kristaliničnih snovi so kovine, keramika, lahko tudi polimerni materiali. Ko govorimo o kristaliničnih snoveh, moramo omeniti še pojme kristal, kristalna struktura, prostorska in kristalna mreža. S pojmom kristal označujemo trdno snov, pri kateri so gradniki v prostoru pravilno razporejeni, s kristalno zgradbo oz. strukturo pa način ureditve, razpored gradnikov v prostoru. Gradniki, to so ioni, atomi ali molekule, v trdnih snoveh ne mirujejo. Točneje, ne

mirujejo nad termodinamsko temperaturo absolutne ničle. Če ravnotežna težišča, okrog katerih gradniki nihajo, nadomestimo s točkami, dobimo tridimenzionalni geometrijski razpored, ki ga imenujemo kristalna ali prostorska mreža. Izkaže se, da vse kristalinične snovi kristalizirajo v enem od 7 kristalnih sistemov. Kristalni sistemi so določeni s kombinacijo simetrijskih operacij, ki določajo, kako se gradniki ponavljajo v prostoru. Najmanjši del kristala, ki se ponavlja v vseh smereh, je osnovna celica. Gre za skupino gradnikov (vsaj 4, lahko tudi več kot 1000), ki so razporejeni v vzporednih ravninah. Gradniki se lahko pojavljajo na ogliščih, robovih, ploskvah ali povsem znotraj osnovne celice.

V zgornjem odstavku smo zelo zgoščeno razložili nekaj pojmov s področja kristaliničnih snovi. Bistveno je, da si študentje zapomnijo, da je za kristalinične snovi značilen pravilen razpored gradnikov v prostoru. Več si lahko pogleda vsakdo sam v različnih drugih bolj specializiranih učbenikih in drugih knjigah, ali na različnih spletnih naslovih o tej tematiki.

V nasprotju s stanjem pri kristaliničnih snoveh, govorimo pri *amorfnih snoveh* le o redu kratkega dosega. Pri amorfnih snoveh ni ponavljanja v prostoru, ni urejenosti daljnih sosedov, je pa običajno prisotna urejenost najbližjih sosedov. Amorfnost je, v nasprotju s kristaliničnim stanjem, stanje nereda. Amorfnost snovi so po svoji zgradbi v bistvu podobne tekočinam, le da je njihova viskoznost zelo visoka. Zato lahko včasih ponekod preberemo, da so amorfnost snovi podhlajene tekočine. Pri amorfnosti snovi so gradniki v trdni snovi razporejeni naključno.

Večina trdnih snovi se lahko nahaja tako v amorfnem kot v kristaliničnem stanju. Steklo, ki je najbolj značilen predstavnik amorfnih materialov, lahko npr. razumemo kot keramiko v amorfnem stanju. Prav tako poznamo tudi mnoge amorfnost polimerne materiale. Amorfnost snovi pogosto nastanejo z dovolj hitrim ohlajevanjem taline. Če bi talino ohlajevali dovolj dolgo, bi gradniki pri prehodu iz tekočega v trdno agregatno stanje imeli dovolj časa, da bi se urejeno, pravilno razporedili oz. zložili v termodinamsko ugodnejše kristalinično stanje. Če je časa premalo, tekoče agregatno stanje »zamrzemo«, obdržimo strukturo tekočine oz. amorfnost zgradbo (slika 10).



Slika 10: shematski prikaz dveh amorfnih struktur.

(Levo: <http://www.lce.hut.fi/publications/annual2001/node12.html> 5.11.2007, zaprosili smo za dovoljenje za objavo, a negativnega odgovora nismo dobili; desno: <http://www.cmmmp.ucl.ac.uk/~ijf/3c25/crystals.html> 1.11.2007, zaprosili smo za dovoljenje za objavo, a negativnega odgovora nismo dobili)

III.B. MIKROSKOPSKA ZGRADBA SNOVI - MIKROSTRUKTURA

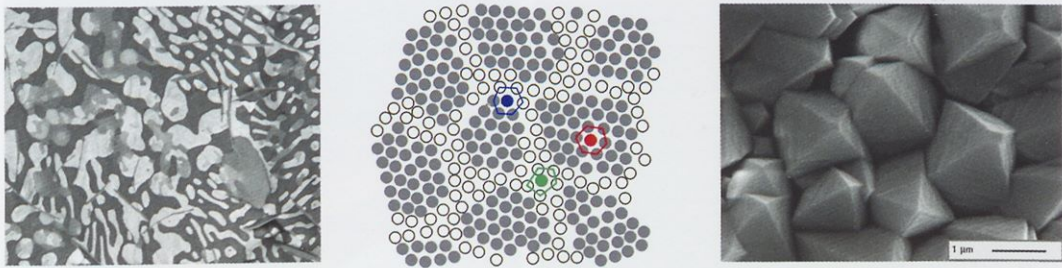
Kristalinična snov, pri kateri je kristalna mreža v celotni snovi zvezna, neprekinjena prav do robov in ploskev kristaliničnega objekta, se imenuje monokristal. Monokristal je en sam kristal. Kristalne ravnine in smeri se začnejo na eni površini kristala ter se končajo na drugi. Monokristal lahko izdelamo s primernim usmerjenim strjevanjem.

Vendar kristalinični materiali običajno ne sestojijo iz enega samega kristala temveč iz večjega števila manjših kristalov, včasih imenovanih kristaliti ali kristalna zrna in krajše tudi samo zrna. Taka snov je polikristalinična (slika 11). Kristalna zrna so med seboj ločena s kristalnimi mejami. Kristalne meje nastanejo pri strjevanju taline. V talini hkrati raste večje število manjših kristalov oz. kristalnih zrn. Ko en kristal zadene ob sosednji kristal, se njegova rast na kristalni meji ustavi.



Slika 11: polikristalinični naravni mineral apatit (levo), monokristal žvepla na polikristalinični podlagi (na sredini) in gruča kristalov arzenopirita, dolomita, kalcita, sfalerita in pirita (desno).

Če bi podobno gručo kristalov, kot je prikazana na sliki 11, prerezali, dobljeno površino spolirali in po potrebi še pojedkali tako, da bi se meje med zrna lepše pokazale, ter tako pripravljen vzorec pogledali pod mikroskopom, bi videli značilno mikrostrukturo (slika 12).



Slika 12: primera mikrostruktur, posnetih s svetlobnim mikroskopom (levo) in z vrstičnim elektronskim mikroskopom (desno). Na sredini je shema, ki povezuje pojma mikrostruktura in kristalna zgradba.

(Levo: <http://www.egr.msu.edu/classes/mse250/grummon/MSE250Sp03Lecture5Microstr/PbSn%20microstructure.jpg> 1.11.2007, zaprosili smo za dovoljenje in nismo prejeli negativnega odgovora; na sredini: http://www.uni-duisburg-essen.de/ivg/nano/structure_nppt.shtml 1.11.2007, zaprosili smo za dovoljenje in nismo prejeli negativnega odgovora; desno: <http://www.ipm.virginia.edu/newres/tbc/home.php> 1.11.2007, objavljeno z dovoljenjem Haydn Wadley in Hengbei Zhao, University of Virginia, Materials Science & Engineering, Charlottesville, Virginia, ZDA)

Za lastnosti snovi je seveda zelo velikega pomena, kako velika so kristalna zrna, kakšne sestave in kakšnih oblik so, kakšne so sile, ki jih povezujejo v trdno homogeno snov, itd. Govorimo o pojmu mikrostrukture oz. o tem, kako mikroskopska zgradba snovi vpliva na njene lastnosti. Dimenzijski nivo je med 1-100 μm , precej nad dimenzijskim nivojem osnovnih gradnikov, to je atomov in molekul. Mikrostruktura v prvotnem pomenu svoje besede opisuje velikost kristalnih zrn, njihovo sestavo, medsebojno orientacijo, medsebojne interakcije in seveda vplive naštetih značilnosti na makroskopske fizikalne lastnosti kot so trdnost, žilavost, duktilnost, trdota, odpornost proti koroziji, ipd. Večinoma lahko mikrostrukturo opazujemo s svetlobnim mikroskopom, v nekaterih primerih tudi celo s prostim očesom. Značilna primera za to sta svinec in cink. V sodobnem pojmovanju mikrostruktura zajema vse značilnosti, ki jih lahko razločimo s katerim koli mikroskopom od atomskih dimenzij navzgor. Tako pojem *mikrostruktura* sedaj pomeni tudi *kristalne napake*, različne *faze* ter *fazne meje*. To pomeni, da idealen kristal nima

mikrostrukture, prav tako tudi ne »idealna« amorfna snov. Idealen kristal ima le kristalno zgradbo, idealna amorfna zgradba še te ne. Najbližje idealnemu kristalu je *monokristal*. Pojem *faza* pomeni homogeno področje snovi z enakimi mehanskimi ter fizikalno-kemijskimi lastnostmi. Različne faze so med seboj ločene s faznimi mejami. Za opazovanje mikrostrukture se uporabljajo različne metode, npr. svetlobna mikroskopija, vrstična in presečna elektronska mikroskopija.

III.C. MAKROSKOPSKA ZGRADBA SNOVI

Izraz "makrostruktura" uporabljamo predvsem zato, da poudarimo razliko v velikosti dimenzij elementov snovi, predmetov, ki jih opazujemo na mikro nivoju, torej od mikrostrukture. Razlika med makro- in mikrostrukturno je relativna in je med pojmom težko postaviti ostro mejo. V primeru makroskopske zgradbe snovi običajno obravnavamo sestavne dele, ki so tako veliki, da jih lahko med seboj ločimo na oko ali pri zelo majhnih, do približno 10 x povečavah.

O povezavah med zgradbo snovi in njeno makrostrukturno največkrat govorimo pri kompozitnih oz. sestavljenih materialih. Nekaj primerov: iverne plošče so lesna tvoriva, ki so značilni predstavnik sestavljenih, kompozitnih materialov. Mehanske lastnosti plošče so močno odvisne od velikosti iveri, še posebej tudi od gostote plošče in od gostotnega profila plošče. Ponavadi je gostota plošče v plasteh ob površini večja od gostote v sredici (slika 13). Razlike v gostoti po debelini plošče (gostotni profil) močno vplivajo na mehanske lastnosti plošče, npr. na njeno upogibno trdnost. Sestavo plošče v prerezu lahko dobro opazujemo že s prostim očesom, torej govorimo o povezavi med makrostrukturnimi značilnostmi snovi in njenih lastnostih.



Slika 13: na oko vidne razlike v gostotnem profilu iverne plošče. (foto S. Medved)

Slika 14: plošča iz kompozita les – polimer. (foto M. Šernek)

Na sliki 14 vidimo ploščo iz vedno bolj razširjenega kompozitnega materiala polimeri – les, v prikazanem primeru je bila uporabljena reciklirana plastika. Seveda velja, da delež lesa in polimerne osnove, kakor tudi velikost delcev in njihova orientiranost, močno vplivajo na lastnosti izdelkov iz omenjenega kompozitnega materiala.

IV. MEHANSKE LASTNOSTI SNOVI – PREGLED OSNOVNIH POJMOV

V tem učbeniku obravnavamo nelesne materiale, njihovo uporabo v lesarstvu ter njihove lastnosti. Pri tem ves čas poudarjamo povezave med lastnostmi snovi in njihovo zgradbo. Da bi pri proučevanju teh povezav lahko razumeli, o čem govorimo, je seveda potrebno prej poznati osnovne pojme, s katerimi lastnosti snovi opišemo oz. jih lahko izmerimo.

Za uporabo snovi zelo pomembna skupina lastnosti so mehanske lastnosti, ki so tako kot vse druge značilnosti tesno povezane z notranjo zgradbo materialov. Ko govorimo o mehanskih lastnostih snovi, mislimo na odpornost materiala proti zunanji silam (trdnost) ter na zmožnost, sposobnost materiala za oblikovanje.

Vsak material na nek način reagira na zunanje obremenitve, pri čemer se deformira. Pri *reverzibilni* (obrnjivi) ali elastični ali prožni deformaciji telo po razbremenitvi zavzame dimenzije, ki jih je imelo pred obremenitvijo. Samo elastična deformacija je značilna za toge in krhke snovi (npr. keramika, steklo), ki so pod vplivom delovanja zunanjih sil pred poružitvijo sposobne le majhne, a elastične deformacije. Po drugi strani je reverzibilna deformacija značilna tudi za elastomere, to je za materiale, ki so sposobni zelo velike prožne deformacije.

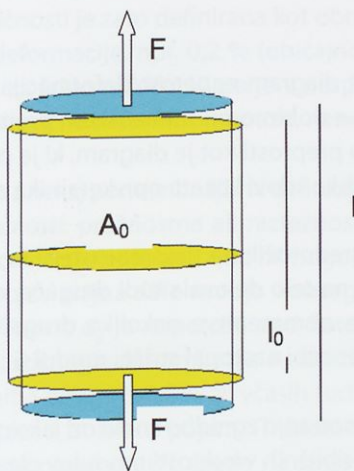
Pri *ireverzibilni* (neobrnjivi), trajni, plastični deformaciji, deformacija ostane tudi po razbremenitvi. Gradiva, ki jih lahko trajno deformiramo, so različni sintetični polimerni materiali, primer takih gradiv so tudi različne kovine (npr. baker, aluminij).

Tretja vrsta deformacije je *porušitev* (porušenje, pretrg, prelom, ipd.) materiala. Za materiale, ki se pri delovanju zunanje sile relativno lahko porušijo, pravimo, da so krhki.

Pri vsakem tipu deformacije pride do sprememb v snovi na submikroskopskem nivoju, to je na nivoju gradnikov – ionov, atomov, molekul in njihovega medsebojnega razporeda. To pomeni, da pri elastični deformaciji gradniki v snovi sicer obdržijo svoje prvotne sosede, pod obremenitvijo se morda le povečajo razdalje med njimi, molekule morda spremenijo obliko iz zavite v raztegnjeno, ipd. Pri trajni deformaciji gradniki v snovi spremenijo svoje prvotne sosede, pri poružitvi z njimi izgubijo stik.

IV.A. ELASTIČNA DEFORMACIJA

Na sliki 15 je, z namenom uvedbe osnovnih pojmov, prikazan preprost primer natezne obremenitve valjastega telesa. Valjasto telo, katerega velikost površine osnovne ploskve znaša A_0 (na sliki 15 označeno z rumeno barvo), natezno obremenimo s silo F . Sila deluje pravokotno na osnovni ploskvi valja. Zaradi delovanja sile se valj deformira, podaljša, velikost površine, na katero smo delovali s silo, pa se nekoliko zmanjša (na sliki 15 označeno z modro barvo).



Slika 15: deformacija valja zaradi natezne obremenitve.

Če silo delimo s ploščino, na katero je sila delovala, dobimo napetost, σ :

$$\text{Napetost: } \sigma = \frac{F}{A_0}; \left[\frac{N}{m^2} = Pa \right]$$

Ker je sila delovala pravokotno na površino, govorimo o normalni napetosti. Če bi bila smer delovanja sile vzporedna z opazovano ploskvijo, bi imeli opravka s tangencialno napetostjo. Opozoriti velja še, da v zgornji enačbi nastopa začetna ploščina A_0 . Ker je pri telesu v deformiranem oz. raztegnjenem stanju ploščina, na katero deluje natezna sila, nekoliko manjša, je prava, resnična

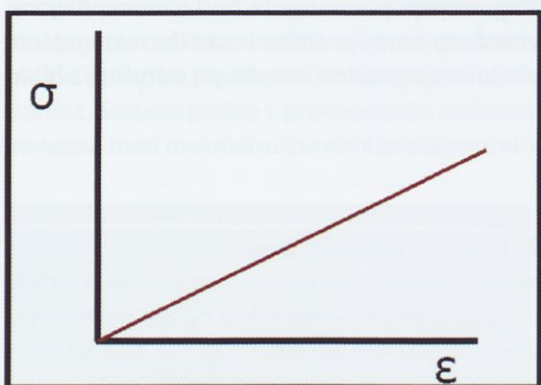
napetost seveda višja. Kot tudi vidimo s slike 15, se je valj zaradi delovanja natezne sile podaljšal. Mera za deformacijo je v tem primeru relativni linearni raztezek, ε :

$$\text{Deformacija (relativni linearni raztezek): } \varepsilon = \frac{l-l_0}{l_0} = \frac{\delta l}{l_0} \left[\frac{m}{m} = 1 \right]$$

Izkaže se, da SAMO V OBMOČJU ELASTIČNE DEFORMACIJE VELJA, da sta napetost in deformacija med seboj sorazmerni:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Zapisi smo dobro znani Hookov zakon, ki pravi, da sta napetost in deformacija v območju elastične deformacije med seboj v premem sorazmerju. Sorazmernostni faktor se imenuje prožnostni ali Youngov modul, tudi modul elastičnosti. Enota je Pa, red velikosti za prožnostne module večine snovi je MPa ali celo GPa. Hookov zakon je pravzaprav enačba premice (slika 16), Youngov modul pa je strmina te premice.



Slika 16: grafični prikaz Hookovega zakona.

Grafični prikaz Hookovega zakona ni nič drugega kot diagram napetost/deformacija oz. kot ga preprosto pogosto imenujemo, diagram σ - ε . Grafe σ - ε dobimo pri mehanskem preizkušanju in so zelo značilni za posamezne snovi in ne vedno tako preprosti kot je diagram, ki je prikazan na sliki 16. Grafi kot je na sliki 16, so značilni za toge in krhke snovi kot sta npr. keramika ali steklo.

Naj poudarimo še, da smo se zaradi enostavnosti osredotočili na najpreprostejši in v literaturi najpogosteje naveden natezni preizkus. Sila bi lahko na telo delovala tudi drugače, npr. tlačno, strižno, itd. Hookov zakon bi imel v primeru strižne obremenitve nekoliko drugačno obliko, namesto Youngovega oz. prožnostnega modula bi v enačbi nastopal strižni modul G.

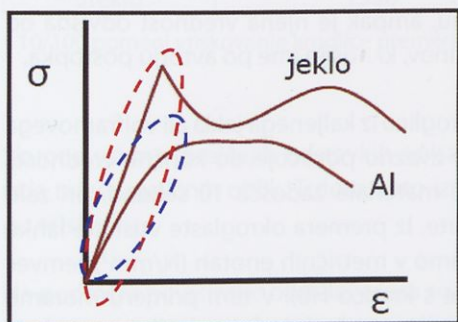
Youngov modul je merilo za togost gradiva in odraža notranjo zgradbo snovi oz. jakosti vezi med gradniki v snovi. V preglednici 2 je navedenih nekaj približnih vrednosti modulov elastičnosti za različne snovi.

Preglednica 2: približne vrednosti Youngovega modula za različne snovi

Snov	E [GPa]
Guma	0,01-0,1
Polipropilen	1,5-2
Polistiren	3-3,5
Hrastov les (vzdolžno)	11
Magnezij (Mg)	45
Baker (Cu)	110-130
Jeklo	190-210
Silicijev karbid (SiC)	450
Diamant	1050-1200

IV.B. PLASTIČNA DEFORMACIJA

Seveda vsi diagrami napetost/deformacija niso tako preprosti kot graf na sliki 16. Tako sta na sliki 17 prikazani σ - ϵ krivulji za dve kovini, za jeklo in za aluminij. Tudi na teh dveh krivuljah imamo na začetku območji linearnosti (proporcionalnosti, elastičnosti), kjer pod vplivom zunanje obremenitve pride do elastične deformacije in za kateri velja Hookov zakon.



Slika 17: krivulji nateznega preizkusa σ - ϵ za jeklo in aluminij.

Z rdečima in modrima črtkanima črtama sta označeni območji proporcionalnosti, v katerih velja Hookov zakon.

V materialih, ki jih lahko plastično preoblikujemo, to pomeni, da so sposobni tudi plastične deformacije in da niso togi in krhki, od neke točke dalje na diagramu napetost/deformacija zveza med σ in ϵ ni več linearna. Točko imenujemo meja plastičnosti, tudi meja tečenja (*yield point*). Od te točke naprej pri materialu, ki ga (natežno) obremenimo, poteče ireverzibilna, plastična deformacija in oblika materiala se, ko prenehamo z obremenitvijo, ne povrne v prvotno stanje. Pri veliki večini materialov je prehod iz območja elastične v območje plastične deformacije postopen, taka je tudi krivulja za aluminij na sliki 17. Zato meje plastičnosti ne moremo natančno določiti. Meja plastičnosti je zato definirana kot obremenitev, ki je potrebna za povzročitev malenkostne plastične deformacije, npr. 0,2 % (običajno pri kovinah) ali 2 % (pri polimernih materialih). Na krivulji σ/ϵ za jeklo na sliki 17 pa je v nasprotju z aluminijem preskok iz območja elastičnosti v območje plastične deformacije izrazit, nenaden, z lahko določljivo mejo.

Nadaljujmo z nekaj pomembnejšimi definicijami pojmov, ki opredeljujejo mehanske lastnosti snovi: **Meja elastičnosti:** prožnostna ali razteznostna meja σ_{pr} je največja obremenitev, ki ne zapušča trajnih deformacij. Ker je običajno ni mogoče določiti, definiramo mejo elastičnosti kot napetost, kjer se že pojavi trajna deformacija v obsegu 0,01 % ali pa 0,005 %.

Meja plastičnosti: σ_p je napetost, nad katero se material občutneje plastično deformira. Če je začetek plastičnega deformiranja neizrazit, definiramo mejo plastičnosti kot napetost, ki po razbremenitvi povzroči 0,2 % ali včasih tudi 2 % trajne deformacije oz. raztezka.

Trdnost: Opisno bi lahko pojem »Trdnost« preprosto razložili kot sposobnost materiala, da se upira zunanji obremenitvi. Glede na smer delovanja zunanjih sil govorimo o tlačni, natezni ali pa strižni trdnosti materiala. Če trdnost izrazimo z vrednostjo, običajno v MPa ali v GPa, vrednost pove največjo napetost, ki jo še vzdrži preskušano gradivo.

Preglednica 3: približne vrednosti natezne trdnosti za nekatere izbrane snovi

Snov	Natezna trdnost, σ_m [MPa]
Guma	15
Polipropilen	20-80
Borov les (vzdolžno)	15
Aluminijeva zlitina 2014 T-6	455
Baker (Cu)	220
Jeklo	400-800
Silicijev karbid (SiC)	3450
Ogljikova nanocevka	62000

IV.C. TRDOTA

Trdota je odpornost materiala proti vdiranju drugega, mnogo tršega telesa. Lahko bi rekli tudi, da je trdota odpornost gradiva proti plastični deformaciji, ki jo običajno določamo s penetracijo neke druge snovi v material, ki ga preizkušamo. Trdota in (natezna) trdnost sta med seboj običajno povezani in trdoto lahko celo uporabimo za ocenjevanje trdnosti. V nasprotju z nekaterimi prej obravnavanimi mehanskimi lastnostmi, trdota ni veličina, ki bi bila natančno definirana z osnovnimi enotami v mednarodnem merskem sistemu, ampak je njena vrednost odvisna od postopka merjenja. Trdoto merimo na več različnih načinov, ki nosijo ime po avtorju postopka.

Brinellova trdota: po Brinellu v preizkušane vtiskamo kroglico iz kaljenega jekla ali volframovega karbida, premera 10 mm, in sicer s silo 29 kN. Sila se zvezno povečuje do končne vrednosti. Praviloma obremenitev traja 30 sekund. Za zelo trde materiale zadošča 10 sekund, pri zelo mehkih materialih pa snov obremenjujemo do 3 minute. Iz premera okroglaste vtisnine lahko izračunamo Brinellovo trdoto, ki jo praviloma ne izražamo v metričnih enotah (N/mm²) temveč z brezrazsežnim številom (z oznako BHN ali pogosteje s kratico HB). V tem primeru moramo natančno definirati pogoje merjenja (material iz katerega je izdelana kroglica, njen premer, sila vtiskanja).

Rockwellova trdota: po Rockwellu vtiskamo v preizkušano snov kroglico (oznaka HRB) ali stožčasto konico (oznaka HRC) iz diamanta ali iz jekla. Način preizkušanja je pri vseh variantah enak. Začetno lego za merjenje globine dobimo tako, da snov vtisnemo v preizkušane s silo 98,1 N. Nato dodamo glavno obremenitev (v 2 do 8 sekundah), po 4 sekundah razbremenimo do začetne obremenitve in izmerimo globino vtiska. Sile vtiskanja so različne, odvisno od materiala, ki ga preizkušamo. Trdoto izrazimo s kratico RH. Tako kot pri Brinellovi trdoti, je vrednost Rockwellove trdote brezrazsežno število.

Vickersova trdota: Vickersovo trdoto (HV, brezrazsežno število, v SI enotah v MPa ali GPa) določamo tako, da v snov vtiskamo diamantno piramido in za izračun trdote izmerimo diagonalo kvadratne udrtine, ki jo je v preizkušancu naredilo telo, ki smo ga vtiskali. Sila obremenitve znaša od 50 N do 1200 N. Vickersovo trdoto pretvorimo v MPa tako, da njeno vrednost pomnožimo s faktorjem 9,807.

Knoopova mikrotrdota (HK): tudi v tem primeru v material vtiskamo diamantno piramido, ki ima drugačne dimenzije od piramide za določanje Vickersove trdote. Ta način določanja trdote je še posebej primeren za določanje trdote zelo krhkih materialov ali pa vzorcev, ki jih imamo na voljo v obliki tankih plasti ali folij. Tako kot v prejšnjih primerih jo običajno navajamo brez enot ali v Pa.



Slika 18: primeri instrumentov za določanje (od leve proti desni) Brinellove, Rockwellove, Vickersove in Knoopove trdote.

(http://www.intertrade.com.cn/cn/ad_vip/showad_vip.asp?id=649 4.11.2007, prosili smo za dovoljenje za objavo in nismo prejeli negativnega odgovora)

Preglednica 4: vrednosti trdote za nekatere izbrane snovi

Snov	Brinellova trdota (HB)
Borov les	1,6 (10/100)*
Aluminij (Al)	15
Baker (Cu)	35
Neravno jeklo	1250
Steklo	1550

* 10/100 pomeni vtiskovanje kroglice premera 10 mm s silo 1 kN.

Skupno vsem v prejšnjih odstavkih opisanim načinom določanja trdote je, da v snov vtiskamo trda telesa različnih oblik. Trdoto nato izračunamo iz oblike in dimenzij poškodbe, ki je nastala po vtiskanju.

Na področju površinske obdelave lesa so se za določanje trdote utrjenega površinskega sistema (na katero vplivajo mehanske lastnosti podlage in utrjenega filma premaza) uveljavili še drugi načini:

Določanje trdote po Buchholzu: metoda temelji na principu vtiskanja konusno obrušenega kolesčka ($\alpha = 60^\circ$, $D = 30$ mm, $\delta = 5$ mm) telesa v obliki ošiljenega koluta v film, za 30 sekund s silo 5 N. Merilo za trdoto je dolžina vtisnine. Kot podlago praviloma uporabimo stekleno ali jekleno ploščico. Buchholzevo trdoto izražamo z brezdimenzijskim številom (100/dolžina udrtine) ali včasih v mm, ki predstavljajo dolžino udrtine. V standardu SIST EN ISO 2815 je navedeno, da se kot rezultat navede dolžina vtisa l v mm na 0,1 mm natančno.

Merjenje trdote po Königu temelji na metodi dušenega nihanja. Nihalo je opremljeno z dvema jeklenima kroglicama, s katerima je položeno na površino, ki ji določamo trdoto. Ko nihalo zanihamo, se kroglici premikata po površini in nanjo pritiskata. Trdota snovi je tem večja, čim manj je nihanje telesa dušeno in čas nihanja nihala daljši. Trdoto izrazimo s časom nihanja v sekundah, ki je potreben, da se nihalo izniha iz amplitude 6° na 3° .

Merjenje trdote z razenjem: odpornost proti razenju, ki odraža tudi trdoto površine (filma), merimo s posebnimi svinčniki ali s posebnimi napravami za razenje med katerimi je najbolj poznan tako imenovan vzmetni svinčnik. Svinčniki za merjenje trdote imajo jedra različnih trdot, od 9H (zelo trdo) do 9B (zelo mehko). S konico svinčnika (začnemo z najvišjo trdoto) vlečemo pod kotom 45° po površini. Trdoto merjene površine izrazimo s trdoto najtršega svinčnika, ki je na površini povzročil nastanek raze.

V tako imenovani vzmetni svinčnik je vstavljena igla s konico poloblaste oblike premera 1 mm. Obremenitev na konico je lahko različna, od 1 N do 20 N, kar uravnavamo s premikanjem drsnega obroča, s katerim stiskamo ali raztegujemo vstavljeno vzmet. S konico vzmetnega svinčnika drsimo s hitrostjo od $30 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ do $40 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ po površini v dolžini vsaj 60 mm. Obremenitev na konico običajno stopnjujemo do te mere, da se pri razenju pojavi plastična deformacija (sled) širine 0,5 mm ali pride do porušitve materiala, kar pomeni, da nastane raza oz. da film razpoka. Kot rezultat zabeležimo uporabljen silo na konico.

Pregled nekaterih metod za določanje trdote je zbran v preglednici 5.

Preglednica 5: nekatere metode za določanje trdote

Metoda določanja trdote	Osnovni princip	Kratek opis	Enota
Po Brinellu	vtiskanje kroglice	$HB = \frac{0,204 F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$ <p>F: sila (N) D: premer kroglice, ki jo vtiskamo (mm) d: premer vtiska (mm)</p>	običajno brez dimenzij (HB), SI enota je Pa
Po Rockwellu	vtiskanje kroglice ali stožčaste konice	Obstaja vrsta kombinacij glede na obliko telesa, ki ga vtiskamo in glede na obremenitev. Merilo za trdoto je globina deformacije.	brez enot (HRC ali HRB)
Po Vickersu	vtiskanje piramide	$HV = 0,102 \frac{F}{A} = \frac{0,1891 F}{d^2}$ <p>F: sila (N) A: površina vtisnjene piramide v mm² d: dolžina diagonale vtiska (mm)</p>	običajno brez dimenzij (HV), SI enota je Pa
Po Knoopu	vtiskanje piramide	$HK = 14,2 \frac{F}{d^2}$ <p>F: sila (N) d: dolžina daljše diagonale vtiska (mm)</p>	običajno brez dimenzij (HK), SI enota je Pa
Po Buchholzu	vtiskanje telesa v obliki ošiljenega koluta	<p>Trdota po Buchholzu = $\frac{100}{l}$</p> <p>l: dolžina vtiska (mm)</p>	običajno brez dimenzij, lahko tudi v mm, ki izražajo dolžino vtiska
Po Königu	dušenje nihanja	Trdoto izrazimo s časom nihanja v sekundah, ki je potreben, da se amplituda nihala zmanjša od 6° na 3°.	s
S svinčniki	razenje s konico svinčnika	Trdoto merjene površine izrazimo s trdoto najtršega svinčnika, ki je na površini povzročil nastanek raze.	trdota svinčnika, ki prvi razi, npr. H, HB, B2, H3, F
Z vzmetnim svinčnikom	razenje s konico vzmetnega svinčnika	Obremenitev na konico običajno stopnjujemo do te mere, da se pri razenju pojavi plastična deformacija ali pride do porušitve materiala, kar pomeni, da konica razi film oz. ta razpoka.	N

Mohsova trdotna lestvica: nemški mineralog in geolog Friedrich Mohs je med seboj primerjal trdoto različnih mineralov in jih leta 1812 razporedil v lestvico (preglednica 6), od najmehkejšega do najtršega minerala. Vrednosti na lestvici so brezrazsežna števila. Lestvica ni linearna. Tako je diamant štiridesetkrat trši od lojevca, korund pa le devetkrat. Zato Mohsove lestvice v znanstvene namene ne uporabljamo. Vendar se je relativna Mohsova trdotna lestvica v vsakdanji, splošni rabi dobro uveljavila. Proizvajalci različnih materialov v spremni dokumentaciji še vedno pogosto navedejo tudi njihovo trdoto po Mohsu. Še posebej pogosto po Mohsovi trdotni lestvici navajajo trdoto abrazivnih zrn pri sredstvih za brušenje.

Preglednica 6: Mohsova lestvica trdote

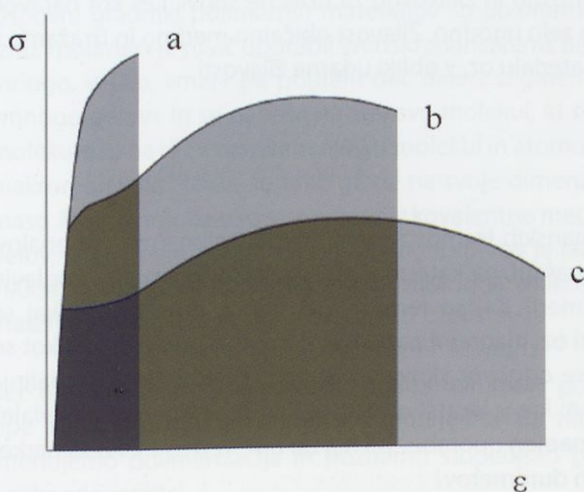
Mineral	Trdota po Mohsu	Učinek
Lojavec	1	noht ga zareže
Sadra	2	noht ga razi
Kalcit	3	bakreni kovanec ga razi
Fluorit	4	žepni nož ga lahko razi
Apatit	5	žepni nož ga še razi
Ortoklaz	6	jeklina konica ga razi
Kremen	7	razi steklo
Topaz	8	reže steklo
Korund	9	reže steklo
Diamant	10	reže steklo

IV.D. DUKTILNOST (RAZTEZNOST) IN ŽILAVOST

Duktilnost ali razteznost nam pove, kolikšna je sposobnost neke snovi, da se plastično deformira pred zlomom oz. pretrgom. To pomeni, da so med nateznim preizkusom kohezijske sile znotraj snovi dovolj velike, da snov držijo skupaj in da ne pride do porušitve. Duktilne snovi pri nateznem preizkusu izkažejo pred porušitvijo oz. pretrgom občuten raztezek.

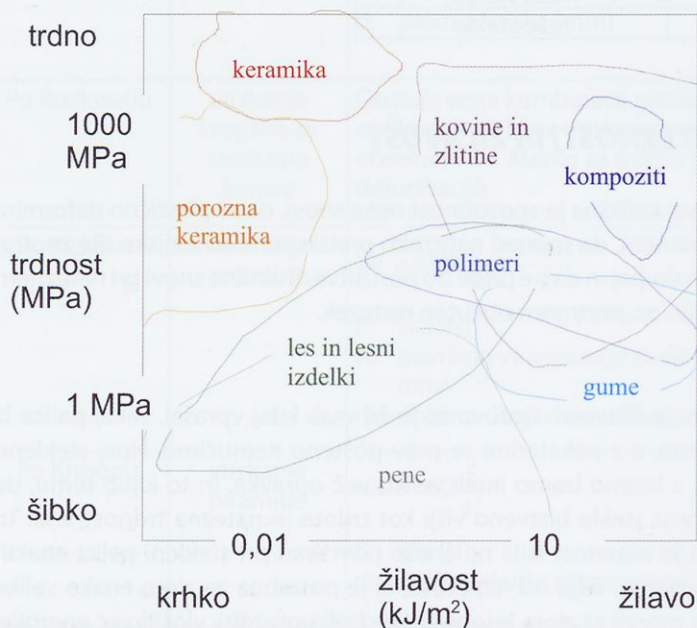
Žilavost

Nekaj več pozornosti namenimo še žilavosti. Gotovo se je že vsak kdaj vprašal, zakaj palice iz nekaterih snovi kar lahko zlomimo, a z nekaterimi se prav pošteno namučimo. Npr., stekleno palico zlomimo kar mimogrede, z leseno bomo imeli veliko več opravka. In to kljub temu, da sta tako trdota kot natezna trdnost stekla bistveno višji kot trdota in natezna trdnost lesa. To z drugimi besedami pomeni, da je napetost (sila na enoto površine) pri stekleni palici enakih dimenzij, potrebna, da pride do zloma, višja od napetosti, ki je potrebna za zlom enako velike lesene palice. Kljub temu smo se morali za zlom lesene palice bolj potruditi, vložiti več energije, več dela. Prav energija oz. delo, ki ju moramo vložiti v snov, da povzročimo zlom, je bistvo pojma žilavosti. **Žilavost je definirana kot količina energije, ki jo material absorbira pred zlomom.** Lahko bi tudi rekli, da je žilavost odpornost proti širjenju razpok v materialu. In kam gre energija, ki jo vložimo v material? Večinoma v elastično in plastično deformacijo. Poglejmo tri krivulje na diagramu σ/ϵ na sliki 19!



Slika 19: krivulje σ/ϵ za tri različne materiale, z različnimi nateznimi trdnostmi in žilavostmi.

Naj spomnimo še, da je duktilnost oz. razteznost mera za velikost plastične deformacije pred zlomom, vendar to še ne pomeni, da so duktilne snovi hkrati tudi žilave. Ključ za žilavost je kombinacija duktilnosti in trdnosti. Tako bo imelo gradivo z visoko trdnostjo in visoko razteznostjo višjo žilavost od gradiva z nizko trdnostjo in visoko duktilnostjo. Žilavost lahko izračunamo tako, da izračunamo velikost površine pod krivuljo napetost/deformacija, ki jo dobimo pri nateznem preizkusu. Enota za žilavost je izražena v enotah za energijo na enoto volumna. Tako ima najnižjo žilavost na sliki 19 material a, ki ima sicer najvišjo natezno trdnost. Material c je najbolj duktilen, saj se pri izbrani napetosti najbolj deformira, kar lahko razberemo na osi x, material b pa je med vsemi tremi snovmi najbolj žilav.



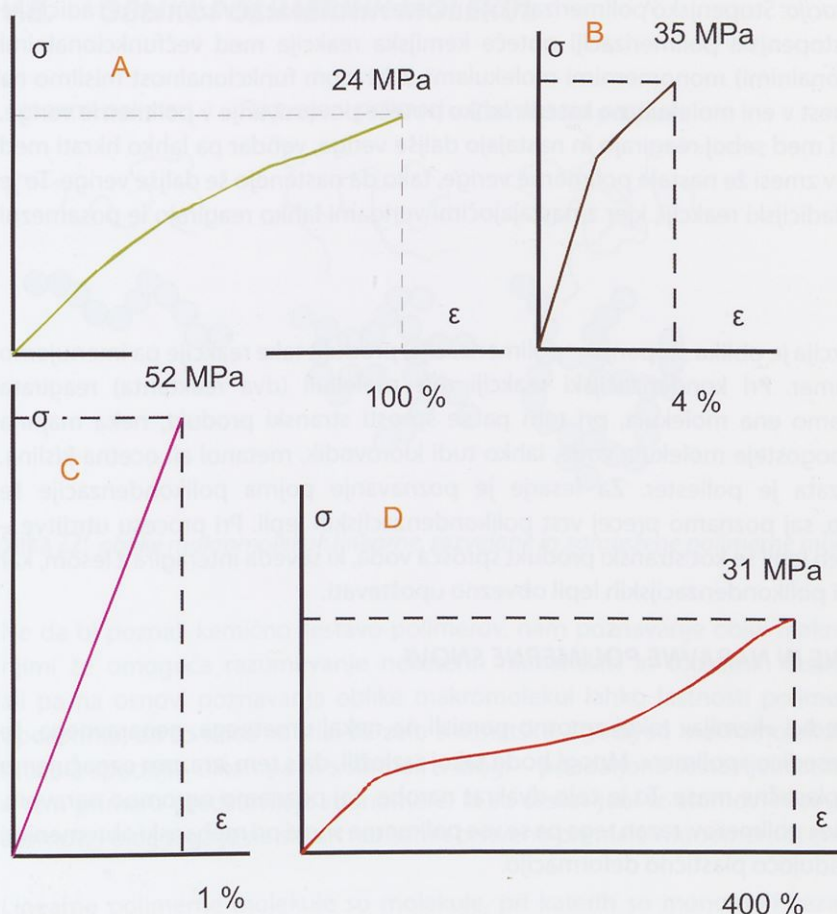
Slika 20: razmerje med trdnostjo in žilavostjo za posamezne skupine snovi.

(povzeto po http://www-materials.eng.cam.ac.uk/mpsite/interactive_charts/strength-toughness/IEChart.html 1.11.2007)

Na sliki 20 je prikazano razmerje med trdnostjo in žilavostjo za različne snovi. Les kot naraven material in izdelki iz lesa imajo to razmerje zelo ugodno. Žilavost običajno merimo in izražamo v obliki odpornosti proti širjenju razpok v materialu oz. v obliki udarne žilavosti

V. POLIMERI

Na sliki 21 nadaljujemo z obravnavo mehanskih lastnosti snovi, tokrat polimernih materialov. Pri tem se nam kar takoj zastavi precej vprašanj, na katera bomo skušali odgovoriti v poglavju o polimernih gradivih. Kaj sploh so polimeri? Kaj so termoplasti, kaj so duromeri in kaj so elastomeri? In zakaj so mehanske lastnosti oz. diagrami napetost/deformacija ravno taki kot so prikazani na sliki 21? Toliko že vemo, da se odgovor skriva v notranji zgradbi snovi. Nadaljnja vprašanja, ki se postavljajo pred bralca, so: kje v lesarstvu uporabljamo polimerne materiale? Katere polimerne snovi izbrati za določen namen uporabe? Ali naj bo npr. vezivo v laku za parket v skupini fleksibilnih termoplastov ali togih duromerov?



Slika 21: različne mehanske lastnosti polimernih materialov: A) fleksibilni termoplasti, B) togi termoplasti, C) togi duromeri, D) elastomeri.

V.A. KAJ SO POLIMERI IN KAKO NASTANEJO?

Osnovni gradniki polimernih materialov so polimerne molekule oz. polimeri. Kaj so polimeri? Izraz »polimer« je prvič uporabil švedski znanstvenik Berzelius, leta 1827. Predpona »poli« pomeni mnogo, veliko, »mer« pa pomeni del, delec, segment. Izraz polimer pomeni dobesedno torej »mnogo delov« in se nanaša na sestavo molekul, ki sestavljajo polimerne materiale. Polimerne molekule so na dimenzijskem nivoju molekul in atomov zelo velike molekule, imenujemo jih tudi makromolekule. Velike so tako glede na svoje dimenzije kakor tudi glede na svojo molekulsko maso. Makromolekule so sestavljene iz kovalentno med seboj povezanih malih molekul, sestavnih delov, ki jih imenujemo monomeri. Monomerov je lahko v makromolekuli nekaj 10, 100, 1000, 10000, lahko tudi nekaj sto tisoč ali tudi reda velikosti milijon, odvisno od vrste polimernega materiala.

Ker nas v tem delu ne zanima toliko kemizem polimerov, še posebej ne njihova sinteza, tipe polimerov glede na njihov nastanek le na hitro preletimo. Proces nastanka polimera imenujemo polimerizacija in poznamo stopenjsko polimerizacijo, adicijsko polimerizacijo ter polikondenzacijo.

Adicijska polimerizacija: Pri adicijski polimerizaciji se nenasičene monomerne molekule (ki vsebujejo dvojne vezi) ena po ena pripajajo k rastoči polimerni verigi:



Stopenjska polimerizacija: Stopenjsko polimerizacijo je morda nekoliko težje razumeti od adicijske polimerizacije. Pri stopenjski polimerizaciji poteče kemijska reakcija med večfunkcionalnimi (najmanj dvofunkcionalnimi) monomernimi molekulami. Z izrazom funkcionalnost mislimo na število reakcijskih mest v eni molekuli, na katerih lahko poteče povezovanje v polimerne verige. Monomeri ali dimeri med seboj reagirajo in nastajajo daljše verige, vendar pa lahko hkrati med seboj reagirajo tudi v zmesi že nastale polimerne verige, tako da nastanejo še daljše verige. To je drugače kot pri poliadijski reakciji, kjer z nastajajočimi verigami lahko reagirajo le posamezni monomeri.

Polikondenzacija

Kondenzacijska reakcija je oblika stopenjske polimerizacije, produkt take reakcije pa imenujemo kondenzacijski polimer. Pri kondenzacijski reakciji dve molekuli (dva reaktanta) reagirata tako, da nastane samo ena molekula, pri tem pa se sprosti stranski produkt, neka majhna molekula. To je najpogostejše molekula vode, lahko tudi klorovodik, metanol ali očetna kislina. Primer polikondenzata je poliester. Za lesarje je poznavanje pojma polikondenzacije še posebej pomembno, saj poznamo precej vrst polikondenzacijskih lepil. Pri procesu utrditve – polikondenzaciji – teh lepil se kot stranski produkt sprošča voda, ki seveda interagira z lesom, kar moramo pri uporabi polikondenzacijskih lepil obvezno upoštevati.

V.A.i. SINTETIČNE IN NARAVNE POLIMERNE SNOVI

Večina ljudi ob besedici »kemija« takoj zmotno pomisli na nekaj umetnega, nenaravnega, še bolj pa to velja za besedico »polimer«. Mnogi bodo takoj razložili, da s tem izrazom označujemo umetne, sintetične plastične mase. To je celo dvakrat narobe, saj poznamo ogromno naravnih, lahko bi rekli tudi »bio« polimerov, razen tega pa se vse polimerne snovi pri mehanski obremenitvi ne odzovejo s prevladujočo plastično deformacijo.

Med naravne polimere uvrščamo:

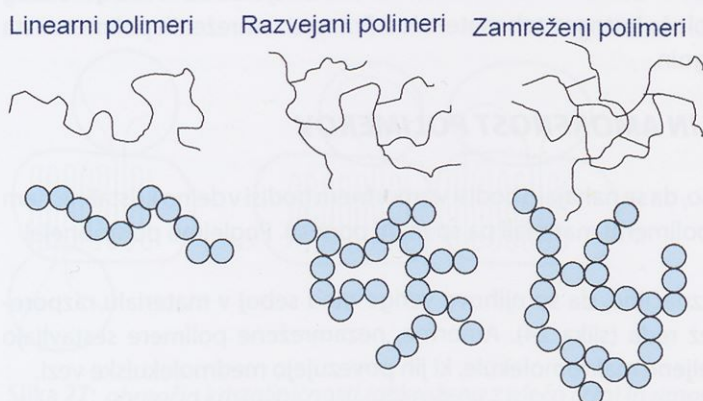
- ribonukleinsko in deoksiribonukleinsko kislino (RNK in DNK)
- škrob
- celulozo
- lignin
- hitin
- proteine, spadajo v skupino poliamidov
- encime – polipeptidi
- kavčuk

Sintetični polimeri se pojavijo konec 19. stoletja in dosežejo silovit razmah v 2. polovici 20. stoletja:

- 1907 Leo Bakeland sintetizira prvo umetno polimerno gradivo – bakelit
- 1927 se prične industrijska proizvodnja vinilkloridnih smol, med njimi tudi polivinilklorida
- 1930 polistiren
- 1938 pojav najlona
- 1941 razvit je polietilen
- 1971 kevlar

Po slovarju slovenskega knjižnega jezika pomeni »plastičen« *ki se da gnesti, oblikovati*. Izraz plastika torej navaja na to, da tak material lahko plastično preoblikujemo. Če torej že uporabljamo izraz plastika, z njim označimo veliko skupino sintetičnih polimernih materialov, ki jih med postopkom izdelave polizdelka ali izdelka plastično preoblikujemo. Nikakor pa izraza plastika ne smemo splošno uporabljati za vse sintetične, umetne, polimerne materiale. Poznamo namreč veliko gradiv, ki jih ne moremo zmehčati in plastično preoblikovati niti pri povišanih temperaturah. Zato se je rabi izraza plastika še najbolje izogibati in uporabljati bolj nevtralne pojme kot so »umetna masa«, »polimerno gradivo«, »sintetični polimerni material«, ipd.

V.B. OBLIKE POLIMERNIH MOLEKUL



Slika 22: oblike makromolekul: linearne, razvejane in zamrežene polimerne molekule.

Ne da bi poznali kemično sestavo polimerov, nam poznavanje oblik makromolekul in sil med njimi že omogoča razumevanje nekaterih mehanskih in toplotnih lastnosti makromolekul, ali pa na osnovi poznavanja oblike makromolekul lahko lastnosti polimerov napovemo. Naj opozorimo, da so skice na sliki 22 zelo shematske. Zgoraj so makromolekule prikazane v obliki nitk, na spodnjih slikah pa je s simboli – krogi – poudarjena sestavljenost makromolekul. Krogi v tem primeru predstavljajo monomere, ki so sestavljeni iz atomov in seveda ne posameznih atomov. Poleg tega je na slikah narisanih bistveno premalo monomernih enot.

Linearne polimerne molekule so molekule, pri katerih so monomeri vezani eden za drugim, nanizani, v obliki bolj ali manj dolge verige. Linearno makromolekulo velikokrat imenujemo tudi »hrbtenica«, *backbone*. Napačno bi bilo misliti, da so linearne makromolekule vedno le v raztegnjenem stanju. Prav pogosto so lahko v ravnotežnem, neobremenjenem stanju v obliki bolj ali manj zvitega klobčiča (slika 23).



Slika 23: shematski prikaz štirih linearnih makromolekul v raztegnjenem in zvitem stanju.

Razvejane makromolekule

Razvejane polimerne molekule bi lahko definirali kot dvodimenzionalne makromolekulske strukture s stranskimi verigami, ki so vezane na osnovno verigo oz. na hrbtenico polimera. Po obliki take makromolekule spominjajo na drevesne veje in od tod tudi njihovo ime. Do razvejanja pride tako, da v polimeri molekuli substituenti, npr. vodikov atom ali monomerno podenoto, ki je vezana na verigo, zamenjamo z drugim kovalentno vezanim enakim ali različnim polimerom. V zadnjem primeru nastanejo cepljeni (graftirani) kopolimeri. Razvejanje lahko poteče ne samo preko tvorbe novih C-C vezi temveč tudi preko drugih vrst kovalentnih vezi. »Veje« so na osnovno verigo lahko vezane npr. preko estrskih ali amidnih vezi, ki so značilen rezultat kondenzacijske reakcije.

Zamreženi polimeri

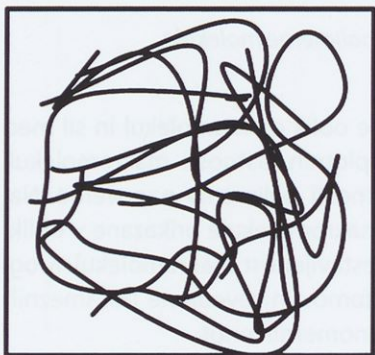
Ena od definicij pravi, da je zamreženi polimer polimer, pri katerem so sosednje linearne polimerne verige med seboj na različnih mestih povezane s kovalentnimi vezmi. Če je stopnja

zamreženja velika, tako strukturo imenujemo polimerna mreža. Polimerne mreže so lahko dvodimenzionalne, kjer so verige pravzaprav povezane v eno samo, ogromno makromolekulo. Reakcijo tvorbe primarnih kemijskih vezi med makromolekulami imenujemo zamreženje. Obseg oziroma stopnja zamreženosti določa lastnosti teh materialov. Primera zamreženih polimerov sta vulkaniziran kavčuk – guma in lignin.

V.C. KRISTALINIČNOST IN AMORFNOST POLIMEROV

Za polimerne materiale je značilno, da se nahajajo bodisi v amornem bodisi v delno kristaliničnem stanju, popolnoma kristalinični polimerni materiali pa so manj pogosti. Poglejmo podrobneje!

Za **amorfne polimerne snovi** je značilno, da so njihove verige med seboj v materialu razporejene popolnoma naključno, brez reda (slika 24). Amorfne, nezamrežene polimere sestavljajo zaklobčičene, naključno porazdeljene makromolekule, ki jih povezujejo medmolekulske vezi.

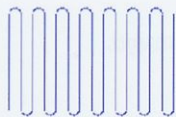


Slika 24: shematski prikaz amorfne polimerne strukture.

(Slika je last podjetja Tangram Technology Ltd-Consulting Engineers for Plastics Processing and Plastics Building Products, <http://www.tangram.co.uk>, Herts, UK, objavljeno z dovoljenjem dr. Robin Kent.)

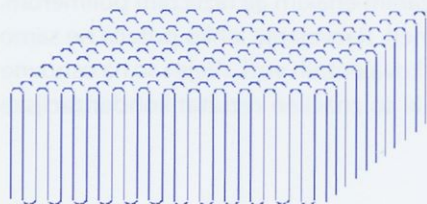
Primeri polimernih materialov z amorfno zgradbo pri sobni temperaturi so polimetilmetakrilat, polistiren ali polivinilklorid.

Za **kristalinične polimere** so značilne urejene strukture. Zelo značilno je, da se dolge verige uredijo »znotraj sebe«, z zvijanjem, tako kot je prikazano na sliki 25.



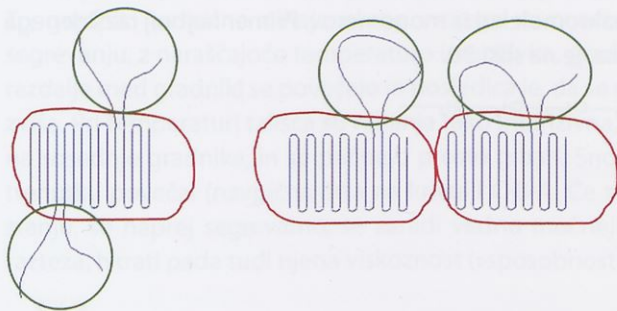
Slika 25: linearna makromolekula, ki se je zvila v pravilno, urejeno obliko.

Več pravilno zvitih linearnih molekul se lahko združi v pravilno strukturo, ki jo imenujemo lamela (slika 26). Pri polietilenu znaša debelina tako nastalih lamel, ploščic, okrog 10 nm.

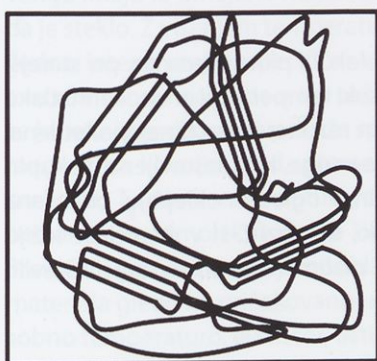


Slika 26: lamela, sestavljena iz več linearnih makromolekul.
(Povzeto po <http://pslc.ws/mactest/crystal.htm> 7.11.2007)

Polimeri največkrat niso popolnoma kristalinični, ampak delno kristalinični oz. semi kristalinični. Pri takih polimerih imamo v snovi območja amorfности in območja kristaliničnosti. Razlaga je podana pod slikami 27-29.

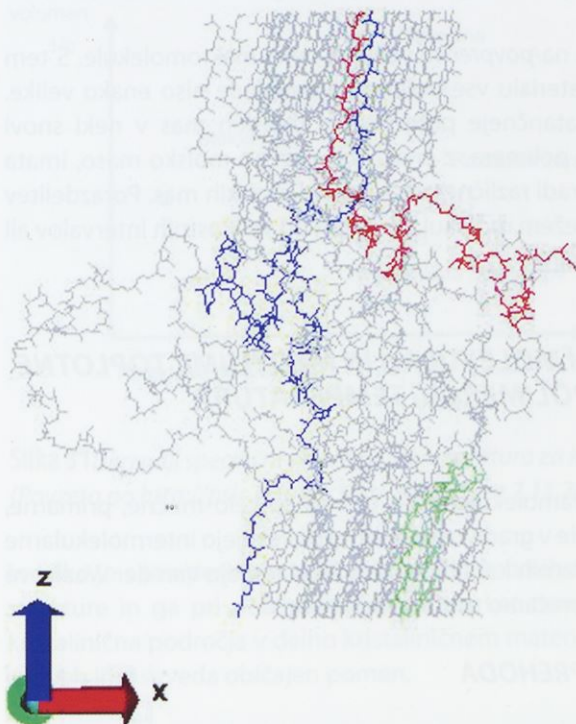


Slika 27: območja kristaliničnosti (obkrožena z rdečo črto) in amorfности (obkrožena z zeleno črto).



Slika 28: dvodimenzionalna predstavitev molekul v delno kristaliničnem polimeru.

(Slika je last podjetja Tangram Technology Ltd-Consulting Engineers for Plastics Processing and Plastics Building Products, - <http://www.tangram.co.uk>, Herts, UK, objavljeno z dovoljenjem dr. Robin Kent.)

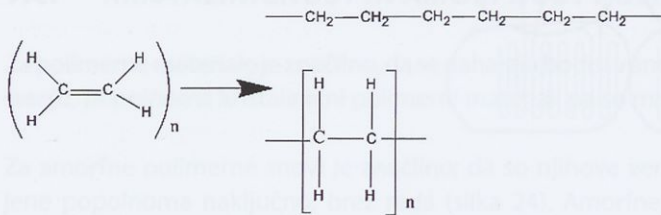


Slika 29: lamelarna kristalinična področja se izmenjujejo z območji amorfности.

(<http://web.mit.edu/rutledgegroup/projects/molsimnanomater.html> 7.11.2007, prosili smo za dovoljenje za objavo, a negativnega odgovora nismo prejeli)

V.D. STOPNJA POLIMERIZACIJE

Do sedaj se pravzaprav sploh še nismo ukvarjali s kemizmom polimerov. Na vseh slikah o polimerih (slike 22-29) so bile makromolekule prikazane shematsko, s črtami, ali pa z različnimi simboli, ki so ponazarjali sestavljenost makromolekul iz monomerov. Primer najbolj razširjenega in najbolj poznane polimera, polietilena, je na sliki 30.



Slika 30: shematski prikaz sinteze polietilena.

Povzeto po <http://pslc.ws/mactest/crystal.htm> 7.11.2007)

Na sliki 30 je na levi strani v okroglem oklepaju prikazana molekula plina etena oz. po starejši nomenklaturi etilena. Če plin v reakcijski posodi izpostavimo visoki temperaturi in visokemu tlaku ter dodamo katalizator, poteče v reaktorju reakcija poliadicije in rezultat je nastanek polietilena. Na zgornji sliki na levi strani je zelo poenostavljen prikaz nastale verige, ki je sestavljena iz skupin $-\text{CH}_2-$. Na spodnji sliki na desni strani je na poenostavljen način, v oglatem oklepaju, prikazana ponavljajoča se monomerna enota. Opozoriti seveda moramo, da vezi C-H v resnici ne ležijo pod kotom 90° glede na vez C-C temveč pod približno 110° . Z malim "n" pa smo označili število molekul etena (etilena), ki so se vključile v verigo polietilena.

Število ponavljajočih se monomernih enot v *povprečno veliki* makromolekuli imenujemo stopnja polimerizacije in včasih označujemo tudi z DP (iz angl. *degree of polymerization*). Stopnja polimerizacije nam v bistvu pove, kako velika je polimerna molekula. Seveda bi velikost molekule, kot smo navajeni, lahko izrazili tudi z relativno molekulsko maso. Jasno je, da sta stopnja polimerizacije in relativna molekulsko masa med seboj povezani. Stopnja polimerizacije ima lahko vrednost nekaj deset, nekaj sto, več tisoč, več deset- ali sto tisoč, lahko je tudi milijonskega reda velikosti.

Izraz stopnja polimerizacije se torej nanaša na *povprečno* velikost neke makromolekule. S tem smo povedali, da v nekem polimernem materialu vse polimerne molekule niso enako velike. Porazdelitve velikosti makromolekul oz. natančneje porazdelitve molskih mas v neki snovi so lahko zelo različne. Dva vzorca enakega polimera, z enako povprečno molsko maso, imata lahko med seboj precej različne lastnosti zaradi različne porazdelitve molskih mas. Porazdelitev molskih mas lahko izražamo s številskim deležem molekul v vsakem od velikostnih intervalov ali pa z masnim deležem molekul v istih intervalih.

V.E. JAKOST VEZI V POLIMERNIH MOLEKULAH IN MED NJIMI, TOPLOTNE IN MEHANSKE LASTNOSTI POLIMEROV, TEMPERATURA STEKLASTEGA PREHODA

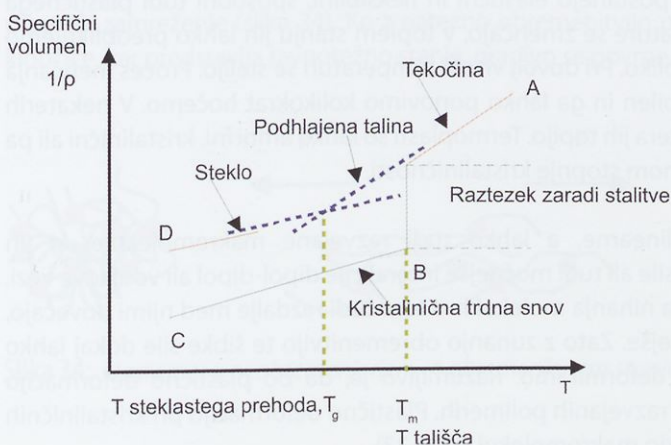
Vezi znotraj makromolekul imenujemo intramolekularne in te vezi so zelo močne, primarne, kovalentne. Po drugi strani pa makromolekule v gradivu med seboj povezujejo intermolekularne vezi. Le-te so šibke, sodijo v skupino sekundarnih kemijskih vezi. Prevladujejo Van der Waalsove vezi, odvisno od vrste polimernega gradiva srečamo tudi vodikove vezi.

V.E.i. TEMPERATURA STEKLASTEGA PREHODA

Kot smo že omenili, sta za polimerne materiale največkrat značilni amorfna ali delno kristalinična notranja zgradba. Temperatura steklastega prehoda, T_g , je značilna lastnost amorfnih materialov in zato je njeno poznavanje zelo pomembno za razumevanje mehanskih lastnosti polimerov.

Slika 31 prikazuje, kako se med segrevanjem ali ohlajevanjem spreminjata specifična volumna kristaliničnih in amorfni snovi. Specifični volumen ali recipročno gostoto izražamo v m^3/kg in nam pove, kakšen volumen zavzame enota mase neke snovi. Na krivulji C-B-A je prikazano obnašanje neke kristalinične snovi med segrevanjem. V trdnem agregatnem stanju, pod temperaturo tališča T_m , gradniki termično nihajo okrog svojega ravnotežnega položaja. Termično nihanje se pri segrevanju, z naraščajočo temperaturo intenzivira, gradniki potrebujejo za nihanje več prostora, razdalje med gradniki se povečajo in posledica je, da se gostota snovi zniža in specifični volumen zviša. Pri temperaturi tališča so nihanja tako intenzivna, da gradniki premagajo sile, ki jih vežejo na sosednje gradnike, in se pričnejo prosto gibati. Snov se je stalila, specifični volumen se je v trenutku povečal (navpična črta na krivulji C-B-A). Če talino, to je snov v tekočem agregatnem stanju, še naprej segrevamo, se zaradi vedno močnejših termičnih nihanj tekočina še naprej razteza, hkrati pada tudi njena viskoznost (»spособnost tečenja«).

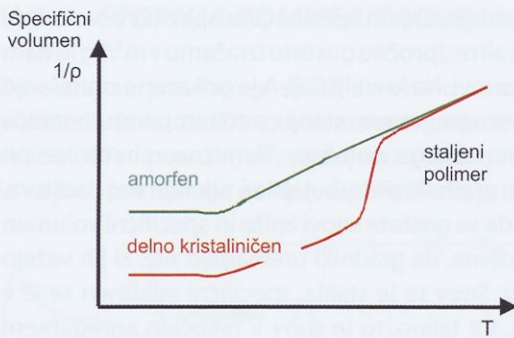
Precej drugače je pri amorfni materialih (rdeča krivulja D-A). Za amorfne snovi, npr. polimerna gradiva z amorfno zgradbo, je značilno, da so pri nizkih temperaturah toge in krhke. Polimerne verige imajo le omejene možnosti termičnega gibanja. Pravimo, da je snov v steklastem stanju, da je steklo. Z višanjem temperature postajajo termična nihanja tako kot pri kristaliničnih snoveh vedno intenzivnejša, specifični volumen se večja. Do prehoda v tekoče stanje pri segrevanju amorfni snovi ne pride v eni točki, pri temperaturi tališča, ampak je le-ta zvezen, neopazen. Da se je nekaj zgodilo, nam pokaže sprememba naklona krivulje. Točka, ki jo določimo s presečiščem tangent na krivuljo pred spremembo naklona in po njej, se imenuje temperatura steklastega prehoda, T_g . Nad temperaturo steklastega prehoda je termično nihanje že tako močno, da postanejo medmolekulske sile šibke in material je sposoben elastične in plastične deformacije. Preide v »gumasto« stanje podhlajene taline. Zato je poznavanje T_g bistveno za primerno izbiro materiala glede na pričakovano uporabo. V splošnem velja, da so materiali, ki imajo T_g nizko pod sobno temperaturo, elastični, tisti, ki pa imajo vrednost T_g nad sobno temperaturo, so zelo togi in krhki, obnašajo se tako kot npr. okensko steklo. Vendar moramo opozoriti, da opisano obnašanje ne velja za zamrežene polimerne materiale, ki se pri segrevanju ne zmehčajo, jih ne moremo plastično deformirati in se tudi ne stalijo, saj prej na zraku ob prisotnosti kisika pooglenijo ali celo zgorijo.



Slika 31: krivulji specifični volumen / temperatura za kristalinične in amorfne snovi. (Povzeto po <http://pslc.ws/mactest/crystal.htm> 7.11.2007)

In kako je s temperaturo tališča, T_m pri polimernih materialih? Pojem se nanaša na kristalinične strukture in ga pri polimerih definiramo kot temperaturo, pri kateri pri segrevanju izginejo kristalinična področja v delno kristaliničnem materialu. Pri popolnoma kristaliničnih polimernih snoveh ima seveda običajen pomen.

Za delno kristalinične polimerne materiale so na diagramih specifični volumen – temperatura značilne krivulje, ki so kombinacija krivulj za popolnoma kristalinično snov (C-B-A na sliki 31) in za amorfno gradivo (D-A na sliki 31), slika 32.



Slika 32: spremembe volumna v odvisnosti od temperature za amorfen in delno kristaliničen polimerni material.

(Povzeto po <http://pslc.ws/mactest/crystal.htm> 7.11.2007)

Poglejmo, kako jakost vezi med makromolekulami, oblika polimernih molekul, stopnja kristaliničnosti ter temperatura steklastega prehoda vplivajo na mehanske in s tem povezane tehnološke lastnosti polimernih materialov, ki jih karakterizirajo različne oblike krivulj na diagramih napetost – deformacija, ki smo jih že prikazali na začetku poglavja o polimerih, to je na sliki 21:

Glede na tehnološke lastnosti, kar pomeni možnosti (pre)oblikovanja, polimerne materiale delimo na:

- termoplaste (plastomere)
- duroplaste (duromere)
- elastomere

V.E.ii. TERMOPLASTI (PLASTOMERI)

Pod temperaturo steklastega prehoda so termoplasti krhke snovi. Ko jih segrejemo nad temperaturo steklastega prehoda, postanejo elastični in fleksibilni, sposobni tudi plastičnega preoblikovanja. Z višanjem temperature se zmeščajo, v toplem stanju jih lahko preoblikujemo in ko jih ohladimo, obdržijo novo obliko. Pri dovolj visoki temperaturi se stalijo. Proces mehčanja in ponovnega strjevanja je reverzibilen in ga lahko ponovimo kolikokrat hočemo. V nekaterih topilih termoplasti nabrekajo, nekatera jih topijo. Termoplasti so lahko amorfni, kristalinični ali pa delno kristalinični s celotnim razponom stopnje kristaliničnosti.

Večino termoplastov sestavljajo linearne, a lahko tudi razvejane makromolekule, ki jih povezujejo šibke Van der Waalove sile ali tudi močnejše interakcije dipol-dipol ali vodikove vezi. Z višanjem temperature se termična nihanja molekul in s tem tudi razdalje med njimi povečajo, medmolekulske sile postanejo šibkejše. Zato z zunanjo obremenitvijo te šibke sile dokaj lahko premagamo in material plastično deformiramo. Razumljivo je, da bo plastično deformacijo zaradi steričnih ovir težje izvršiti pri razvejanih polimerih. Plastično deformacijo pri kristaliničnih polimerih razlagamo z drsenjem verig makromolekul (slika 33).



Slika 33: zdrs polimernih verig pri plastični deformaciji.

Naštjejo še nekaj najbolj poznanih termoplastnih polimernih materialov, izmed katerih bomo nekatere podrobneje obravnavali v kratkem pregledu: poliakrilati, poliamid, polikarbonat, linearni poliestri, polietilen, polipropilen, polistiren, polivinilklorid.

V.E.iii. DUROMERI (DUROPLASTI)

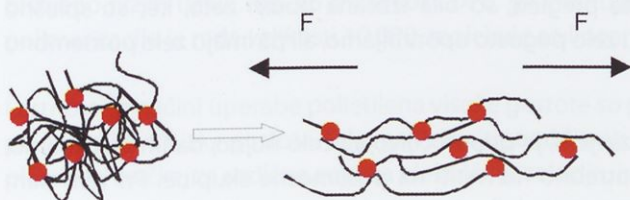
V nasprotju s termoplasti se duroplasti oz. duromeri pri segrevanju ne zmehčajo, tudi jih ni mogoče staliti. Pri segrevanju pooglenijo ali celo zgorijo. V tem primeru imamo spet lep primer povezave lastnosti snovi z njeno notranjo zgradbo. Makromolekule so v duroplastih bolj ali manj zamrežene, povezane z močnimi kovalentnimi vezmi. Vezi so tako močne, da jih samo s segrevanjem ne moremo prekiniti, kaj šele z zunanjo mehansko obremenitvijo. Zato so duromeri zelo togi, trdi in krhki materiali.

Duroplasti so zgodovinsko gledano prvi sintetični polimerni materiali (bakelit), razviti so bili precej pred termoplastnimi polimeri. V glavnem jih sedaj uporabljamo v elektrotehniki, zaradi naslednjih lastnosti: so dimenzijsko zelo stabilni, odporni proti gorenju, oblikovanje izdelkov iz njih je tehnološko enostavno in so tudi relativno poceni. V neutrjenem stanju so duromeri običajno v tekoči fazi, v kateri so delno polimerizirani ali v monomerno-polimerni zmesi. Tako lahko izdelke iz duroplastov oblikujemo z ulivanjem, po utrditvi, med katero poteče zamreženje, zavzamejo končno obliko in jih ni mogoče več preoblikovati.

Med pomembnejšimi duromeri so: močno zamrežene gume, fenolformaldehidne smole, npr. bakelit, ureaformaldehidne smole, ki so tako kot fenolformaldehidne smole pomembne v lesarstvu (lepila za izdelavo plošč iz lesnih tvoriv, polikondenzacijski laki s kislinjskim utrjevalcem), melaminske smole, zamreženi poliestri, poliepoksidne smole, zamreženi poliuretani, ipd.

V.E.iv. ELASTOMERI

Elastomeri so večinoma amorfni polimerni materiali, ki so nad temperaturo steklastega prehoda že pri nizki temperaturi sposobni velike elastične deformacije (slika 21 D). Tudi lastnosti elastomerov so odličen primer povezave lastnosti z notranjo zgradbo snovi. Nad temperaturo steklastega prehoda so makromolekule sicer precej gibljive, termično nihajo, vendar so v zavitem, zaklobčičenem stanju. Ko material natezno obremenimo, se pod vplivom napetosti klobčiči »razvijejo« v raztegnjene verige. Če bi material obremenjevali še naprej od napetosti, pri kateri so vse verige raztegnjene, bi potekel zdrs po polimernih verigah, snov bi se plastično deformirala. Pri elastomerih to možnost prepreči zamreženje (slika 34). Ko z natezno obremenitvijo prenehamo, se verige zvijejo nazaj v klobčiče, kar predstavlja ravnotežno stanje, gradivo se povrne v prvotno obliko.



Slika 34: elastomer v neobremenjenem in obremenjenem stanju.

V.F. HOMOPOLIMERI IN KOPOLIMERI, RAZLIČNE SKUPINE KOPOLIMEROV

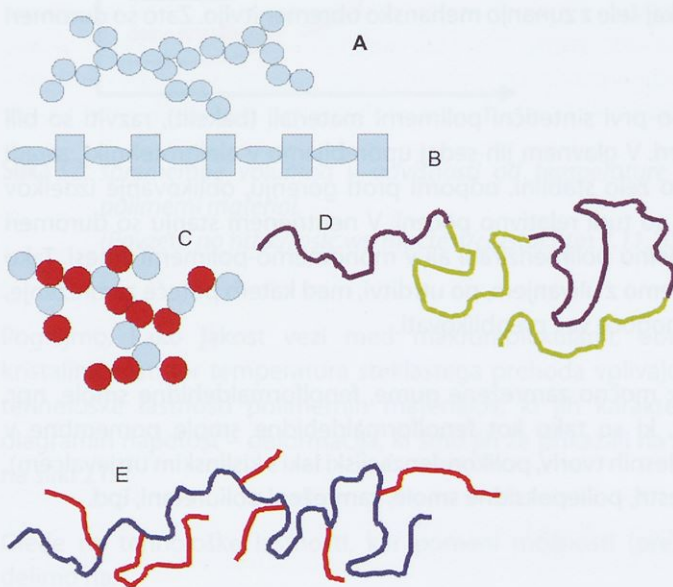
Glede na sestavo polimernih verig oz. glede na to, ali je makromolekula sestavljena samo iz ene vrste monomera ali pa imamo v molekuli dva ali celo tri različne monomere, delimo polimerne materiale na homopolimere in kopolimere ali kot jih tudi imenujemo, heteropolimere.

Za **homopolimere** je značilno, da so vsi monomeri, ki sestavljajo makromolekulo enaki.

Kopolimer ali heteropolimer je polimer, katerega molekule sestavljata dva različna monomera (lahko tudi več različnih monomerov). S pojmom kopolimerizacija označujemo sintezo kopolimera. Ker imamo v kopolimernih makromolekulah dva različna monomera, obstaja več načinov, kako sta v makromolekuli monomera razporejena. Vrste polimerov, ki jih ločimo glede na razpored

obeh monomerov v makromolekuli, so naslednje:

- naključni kopolimer
- alternirajoči ali izmenični kopolimer
- blok kopolimer
- cepljen kopolimer



Slika 35: shematski prikazi a) razvejanega monomera, b) izmeničnega kopolimera, c) razvejanega naključnega kopolimera, d) blok kopolimera, e) cepljenega kopolimera.

Na skicah sta različni vrsti monomera v kopolimeru namenoma prikazani na različne načine (z različno barvo, z različno obliko simbola za monomer). V primerih d in e so z različnimi barvami prikazana območja skupin enakih monomerov.

V.G. PREGLED IZBRANIH, ZA PODROČJE LESARSTVA ALI SPLOŠNO POMEMBNEJŠIH POLIMERNIH GRADIV

Polimerna gradiva, ki so vključena v ta pregled, so bila izbrana bodisi zato, ker so splošno pomembna in jih v vsakdanjem življenju zelo pogosto uporabljamo, ali pa imajo zelo pomembno vlogo na področju lesarstva.

Za polimerne materiale, ki so precej razširjeni, je priporočljivo ali celo nujno, da jih recikliramo. Za uspešno predelavo jih je najprej potrebno razvrstiti na posamezne skupine. Pri tem nam pomagajo posebne kode, ki so vtisnjene na izdelku iz polimernega gradiva. Sistem kod je v osemdesetih letih prejšnjega stoletja razvilo mednarodno združenje za plastično industrijo. V trikotniku je številka ali oznaka, ki označuje posamezno vrsto polimera, pod trikotnikom je lahko dodatno tudi za ta polimer določena kratica.

V.G.i. POLIETILEN, HDPE IN LDPE



Slika 36: monomer polietilena (vodikovi atomi niso vpisani) ter mednarodna znaka za najbolj pogosti obliki polietilena, polietilen visoke gostote (na sredini, HDPE) in polietilen nizke gostote (desno, LDPE).

Polietilen (po IUPAC-ovi nomenklaturi polieten) je v svetovnem merilu verjetno najpomembnejši polimerni material, prav gotovo pa po proizvodnji in porabi, saj je trdno na 1. mestu. Z izdelki iz polietilena se srečujemo vsakodnevno, npr. v obliki trgovskih vrečk, plastenk za šampone, otroških igračk, ipd.

Polietilen je bil prvič sintetiziran leta 1898, leta 1933 se je pojavil tudi industrijsko uporaben sintezni postopek. Pravzaprav bi morali govoriti o polietilenih in ne o polietilenu: poznamo namreč precej različnih vrst polietilena, ki se med seboj razlikujejo tako po razvejanosti makromolekul, stopnji kristaliničnosti, relativni molekulski masi, gostoti, kar vse pomembno vpliva na »zunanje« lastnosti materiala. Tako poznamo polietilen z ultra visoko molekulsko maso (UHMWPE), z ultra nizko molekulsko maso (ULMWPE - PE-WAX), z visoko molekulsko maso (HMWPE), polietilen visoke gostote (HDPE), zamrežen polietilen visoke gostote (HDXLPE), zamrežen polietilen (PEX), polietilen srednje gostote (MDPE), polietilen nizke gostote (LDPE) linearni polietilen nizke gostote (LLDPE) ter polietilen zelo nizke gostote (VLDPE). Najbolj znana in največ uporabljena sta polietilen nizke gostote (visokotlačni polietilen LDPE) ter polietilen visoke gostote (nizkotlačni polietilen HDPE).

V.G.i.a. POLIETILEN NIZKE GOSTOTE, LDPE

Polietilen nizke gostote, LDPE, imenujemo tudi visokotlačni polietilen, saj ga sintetizirajo pri visokem tlaku (150 MPa - 300 MPa), v prisotnosti manjših količin kisika, pri temperaturah 150 °C – 320 °C. Stopnja polimerizacije je reda velikosti 1000, makromolekule so delno razvejane. Ima termoplastne lastnosti, je prozorne ali bele barve in ga lahko obarvamo. Uporaben je v območju med -50 °C – 80 °C, temperatura tališča je pri 120 °C. Odlično je odporen proti kislinam, alkoholom, bazam in estrom, dobro proti aldehydom, ketonom in oljem, nekoliko slabše proti alifatskim in aromatskim ogljikovodikom.

Uporaba polietilena nizke gostote je zelo raznovrstna: razne plastenke, posode, cevi, plastične vrečke, splošni izdelki za uporabo v gospodinjstvu. Obdelujemo ga, oz. iz njega izdelujemo izdelke z ekstrudiranjem, brizganjem, tlačnim vlivanjem ipd.

V.G.i.b. POLIETILEN VISOKE GOSTOTE, HDPE

Polietilen visoke gostote je bil razvit kasneje kot polietilen nizke gostote. Ker ga izdelujemo pri bistveno nižjih tlakih (do 1,5 MPa) kot LDPE, ga imenujemo tudi nizkotlačni polietilen. Stopnja polimerizacije je reda velikosti 10 000, molekule so linearne in ne razvejane tako kot pri LDPE.

Lastnosti in načini uporabe polietilena visoke gostote so precej podobne tistim, ki smo jih opisali pri polietilenu nizke gostote. Tako ga veliko uporabljamo za izdelavo različnih posod za hrano, za plastične vrečke, za različne cevi, za električno izolacijo, ipd.

V.G.i.c. RAZLIKE MED LDPE IN HDPE

Poglejmo sedaj nekaj razlik v lastnostih med obema vrstama polietilena, ki so posledica tega, da ima polietilen nizke gostote razvejane molekule, polietilen visoke gostote pa linearne makromolekule. To je zanimiv primer, ki kaže na to, kako lahko malenkostne razlike v zgradbi na submikroskopskem nivoju (oblika polimernih molekul) močno vplivajo na lastnosti snovi. Linearne molekule polietilena visoke gostote se lažje pravilno zložijo, »spakirajo«, in zato je stopnja kristaliničnosti večja kot pri LDPE. Posledica je seveda tudi višja gostota materiala. Ker so molekule bolj blizu skupaj kot pri polietilenu nizke gostote, so sile med makromolekulami močnejše kot pri polietilenu nizke gostote, kar tudi vpliva na lastnosti. Tako HDPE zdrži višje temperature kot LDPE, do 120 °C, v primerjavi z LDPE ima višjo trdnost ter trdoto.

V.G.i.d. POMEN POLIETILENA V LESARSTVU

Polietilen se je kot material za komponente v lesnih izdelkih in pri pohištvu ali tudi za samostojne

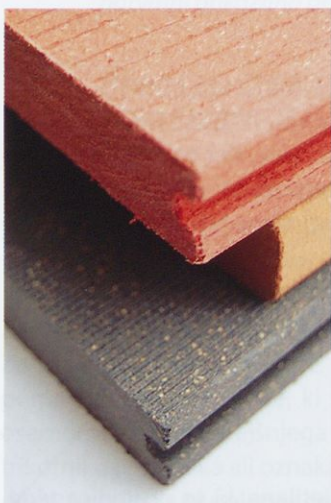
izdelke v lesarstvu relativno malo uporabljal. V zadnjem času se je kot material začel uporabljati tudi tam, kjer smo bili tradicionalno navajeni na les, na primer pri deskah za rezanje (slika 37).



Slika 37: nekaj primerov izdelkov iz polietilena: levo polietilenska folija, na sredini polietilenske laboratorijske plastenke in desno, kuhinjske polietilenske deske za rezanje.

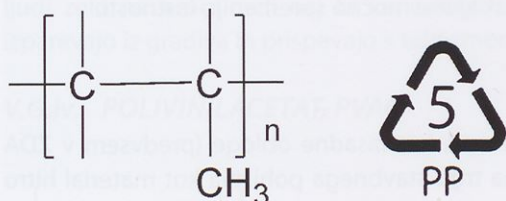
(Levo: foto F. Budija, desno: <http://www.joycechen.com/jc/common/index.php?lng=ENG&div=BB&nav=BB&page=B14> 10.11.2007, poslali smo prošnjo za dovoljenje za objavo, negativnega odgovora nismo prejeli)

V zadnjih letih hitro narašča uporaba kompozitnih oz. sestavljenih materialov, pri katerih kombiniramo polimerne materiale in les (več o kompozitih v enem od naslednjih poglavij v knjigi). Pri kompozitih polimer / les je bistvena sestavina prav polietilen, običajno HDPE. V polimerni osnovi so vmešana lesna vlakna ali lesni prah. Izdelki iz kompozitnega materiala polimer / les (včasih trgovsko poimenovanega tudi »plastični les«) se vedno več uporabljajo v najrazličnejše namene, še posebej veliko za izdelke, ki jih uporabljamo na prostem (npr. talne obloge, vrtno pohištvo, ipd.).



Slika 38: deske iz kompozita les/polimer.

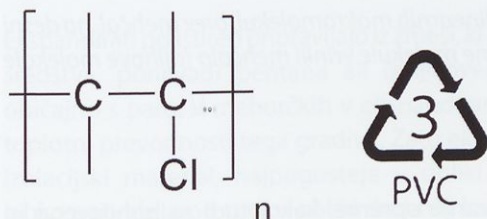
(http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Wood_plastic_composite.JPG#file 10.11.2007, slika je iz podjetja New Tech, Humble, Texas, ZDA. Objavljeno pod pogoji GNU Free Documentation license http://en.wikipedia.org/wiki/GNU_Free_Documentation_License, Verzija 1.2 ali katerakoli kasnejša verzija izdana od Free Software Foundation http://en.wikipedia.org/wiki/Free_Software_Foundation)

V.G.ii. POLIPROPILEN, PP**Slika 39:** polipropilen.

Polipropilen smo za pregled polimernih materialov izbrali, ker je po proizvodnji in uporabi na 3. mestu v svetovnem merilu. Tudi polipropilen je termoplastni polimerni material in je po svojih lastnostih precej podoben polietilenu. Verige so linearne, stopnja kristaliničnosti je med stopnjo kristaliničnosti LDPE in HDPE. Tališče ima pri 160 °C. Ker prenese tako visoko temperaturo, je primeren za sterilizacijo v avtoklavih in zato lahko izdelke iz polipropilena uporabljamo v medicinske namene. Je precej manj krhek od HDPE, zato ga lahko uporabljamo tudi kot inženirski material. Izdelke iz polipropilena uporabljamo tudi za izdelavo gospodinjskih posod za shranjevanje hrane. Razen tega iz polimera vlečejo vlakna in iz njih izdelujejo različne talne obloge. Polipropilen je kot material zanimiv tudi zato, ker je konkurenčen lesu pri izdelavi različnega pohištva (slika 40). Kot zanimivost naj dodamo še to, da v kar precejšnjem številu držav uporabljajo bankovce, ki so izdelani iz polipropilena in ne tako kot smo navajeni pri nas, iz papirja.

**Slika 40:** polipropilenski stoli, v kombinaciji s kovinskim materialom.

(<http://www.robertsandmeck.com/Prodigy.htm> 7.12.2007, poslali smo prošnjo za dovoljenje za objavo in nismo prejeli negativnega odgovora)

V.G.iii. POLIVINILKLORID, PVC**Slika 41:** polivinilklorid.

Polivinilklorid je po proizvodnji in prodaji v svetovnem merilu uvrščen na drugo mesto. Gre za pomembno polimerno gradivo, ki je amorfen termoplast. Iz etina in klorovodikove kisline pri-

dobivajo vinilklorid, naprej s polimerizacijo pa polivinilklorid v obliki belega prahu. PVC je zelo pomemben material in več kot 50 % ga porabijo v konstrukcijske namene. PVC je trd in krhek material, z dobro sposobnostjo sprejemanja mehčal, ki mu močno spremenijo lastnosti.

V.G.iii.a. TRDI PVC

Trdi PVC uporabljamo v gradbeništvu za različne cevi, kot fasadne obloge (predvsem v ZDA in Kanadi), za lesarje pa je zelo pomemben, ker na trgu stavbnega pohištva kot material hitro izpodriva klasičen material za izdelavo oken in vrat – les, ter za izdelavo različnega drugega pohištva (slika 42).

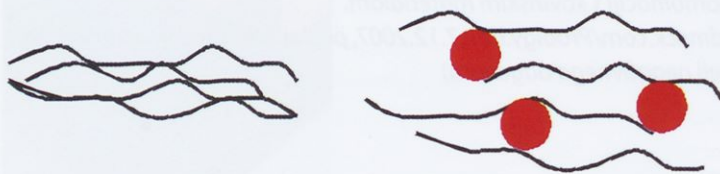


Slika 42: PVC vrtno pohištvo (levo) ter PVC kot material za okenski okvir (desno).

(Levo: <http://www.pvcpatio.com/page2.html> 10.11.2007, prošnja za dovoljenje za objavo smo poslali, a negativnega odgovora nismo prejeli)

V.G.iii.b. MEHKI PVC

Če PVC dodamo mehčala, dobimo mehko polimerno maso. Poglejmo najprej, kaj so mehčala in kako delujejo? Mehčala so dodatki (aditivi) polimernim materialom in sicer gre za majhne molekule organskih spojin (zelo pogosto so to ftalati), ki se v polimernem materialu vrinejo med makromolekule in zaradi tega povečajo razdalje med njimi. Posledica je, da so privlačne sile med makromolekulami manjše, le-te imajo več prostosti in možnosti za termična nihanja, zniža se temperatura steklastega prehoda (slika 43).



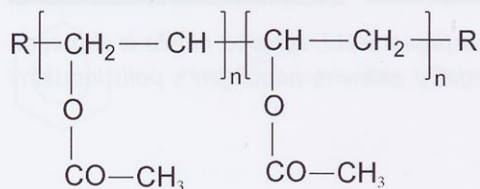
Slika 43: shematski prikaz načina delovanja mehčal.

Na levi je zgradba materiala, sestavljenega iz linearnih makromolekul, brez mehčal, na desni je skica iste snovi, pri kateri smo med polimerne molekule vrinili mehčala (njihove molekule so shematsko prikazane z rdečimi krogi).

Mehki PVC je pomemben material za izdelavo notranje opreme, kakor tudi za pohištveno in lesno industrijo. Tako ga uporabljamo za talne obloge, prte, folije za oblepljanje pohištva ter v kombinaciji s tekstilnimi vlakni za umetno usnje (skaj), ki ga uporabljamo kot material za površinsko preoblačenje oblazinjenega pohištva. Razen tega ga lahko uporabljamo za različne ročaje pri pohištvu, za tesnila pri oknih in vratih, ipd. Mehki PVC je snov, ki jo uporabljamo za izolacijo električnih vodnikov in ne nazadnje za izdelavo mehkih otroških igračk ali nepremočljive obutve (PVC).

V zadnjih letih je v javnosti veliko razprav o potencialni nevarnosti mehkega PVC za zdravje uporabnikov. Tako naj bi bili nekateri dodatki, med njimi predvsem mehčala (ftalati) za zdravje ljudi zelo nevarni, imeli naj bi kancerogen učinek. Med uporabo mehkega PVC kemikalije izparevajo iz gradiva in prispevajo k tako imenovanemu vonju po »novem avtomobilu«.

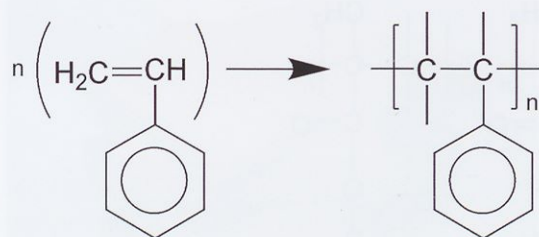
V.G.iv. POLIVINILACETAT, PVAC



Slika 44: polivinilacetat.

PVAC je pri sobni temperaturi gumast, termoplastni polimerni material. Na kratko ga omenjamo zato, ker se v obliki vodne emulzije uporablja za lepilo za porozne materiale kot so les, papir in tekstilije. Prav tako se uporablja kot vezivo v površinskih premazih za papir, da le-ta dobi svetleč izgled.

V.G.v. POLISTIREN, PS

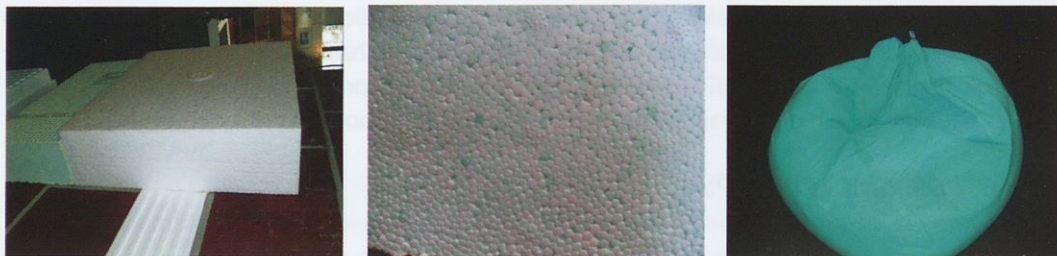


Slika 45: polistiren.

Polistiren je brezbarvna, trda in precej krhka termoplastna umetna masa, ki jo večina ljudi najbolj pozna v ekspanzirani obliki (stiropor). Velike fenilne skupine (benzenski obroči, ki so vezani na osnovno polimerno verigo oz. na hrbtenico), preprečujejo učinkovito, urejeno zlaganje verig. To je vzrok, zakaj je polistiren amorfen in ne kristaliničen material. Nekaj izdelkov iz polistirena: različni izdelki v gospodinjstvu (»plastične« skodelice za kavo), embalaža za prehranske izdelke, škatle za zgoščenke, izolacijski material v elektrotehniko, igrače, ipd.

V.G.v.a. EKSPANDIRAN POLISTIREN

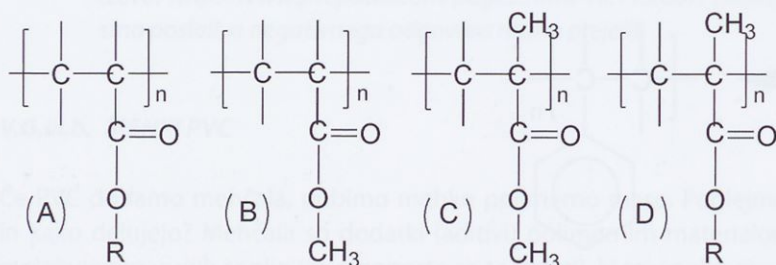
Ekspandiran polistiren pripravljajo iz zmesi, ki vsebuje 90 % - 95 % polistirena in 5 % - 10 % plinastega sredstva, ponavadi pentana ali ogljikovega dioksida. Ekspanzijo dosežejo s segrevanjem, običajno s paro. V mehurčkih v ekspandiranem polistirenu je ujet zrak, ki prispeva k zelo nizki toplotni prevodnosti tega gradiva. Zato ekspandiran polistiren veliko uporabljamo kot toplotno izolacijski material, najpogosteje v obliki obložnih plošč (slika 46). Ekspandiran polistiren lahko uporabljamo tudi v obliki drobnih kroglic, ki jih nasujemo v prostore, ki so v konstrukciji pripravljeni za izolacijo. Omenjeni material – kroglice iz polistirenske pene precej uporabljajo tudi pri proizvodnji pohištva in sicer kot polnilo.



Slika 46: termoizolacijska plošča iz ekspandiranega polistirena (levo), zgradba plošče iz ekspandiranega polistirena (na sredini), pohošteni sedežni element, napolnjen s polistirenskimi kroglicami (desno). (Desno: foto F. Budija)

V.G.vi. POLIAKRILATI

Estri akrilne kisline se imenujejo akrilati, estri poliakrilne kisline pa poliakrilati (slika 47 A). Akrilne smole (poliakrilati, akrilatne smole, poliakrilatne smole) so polimeri, ki jih uvrščamo v skupino vinilnih polimerov. Le-ti nastanejo iz vinilnih monomerov, za katere je značilna dvojna vez $C=C$. Najbolj znani vinilni polimeri so že opisani polietilen, polipropilen, polivinilklorid, polistiren, itd. Če je na mestu vodika v vinilni skupini poliakrilata metilna skupina, se taki akrilati imenujejo metakrilati (sliki 47 C in D). Najpomembnejše gradivo iz te skupine je polimetilmetakrilat (PMMA) (slika 47 C), še posebej za področje lesarstva imajo velik pomen tudi drugi poli-R akrilati, npr. etil-, n-butil-, 2-etilheksil-, dodecil-, itd. (slika 47 D).



Slika 47: poliakrilati (A), polimetilakrilat (B), polimetilmetakrilat (C) in poli R-metakrilati (D).

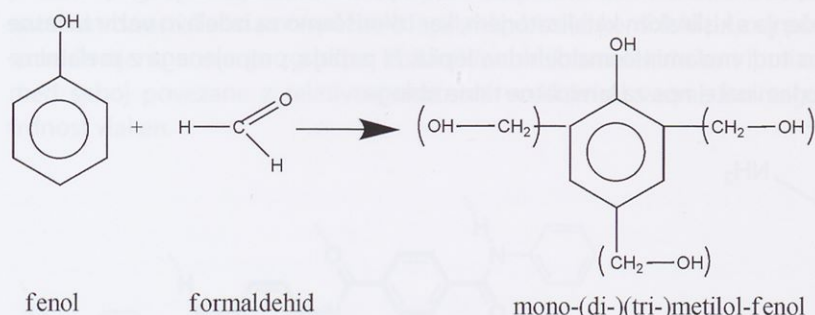
Verjetno najpomembnejši material iz skupine poliakrilatov je polimetilmetakrilat (PMMA). To je termoplasten material, s temperaturo steklastega prehoda visoko nad sobno temperaturo, $T_g = 120 \text{ }^\circ\text{C}$, zato je material pri sobni temperaturi trd in krhek. Gradivo ima amorfno zgradbo in je prosojno, zato ga imenujemo »plastično steklo«, poznano je tudi pod imenom »pleksi steklo«. PMMA srečamo vsepovsod, v optiki npr. za leče (stekla) pri očalih, v lupah, v optičnih vodnikih, ipd. V gospodinjstvu PMMA srečamo kot material za različne posode, ohišja, pri vozilih kot »stekla« na lučeh in smerokazih, itd.

Zelo pomembni so PMMA, še bolj pa drugi poli R-metakrilati, kot vezivo za poliakrilatne (pogosto imenovane akrilne ali poliakrilne) barve in lake. PMMA in druge polimetakrilate uporabljamo v obliki vodnih disperzij za vodne lesne premaze. Tako je danes večina vodnih lazur za les izdelanih na osnovi vodnih disperzij poliakrilatov. Akrilati se namreč odlikujejo po dobri kemijski in fotokemijski odpornosti in so posebej odporni proti staranju, ki ga povzroča izpostavljenost vremenskim vplivom.

Na verigah makromolekul v akrilnih smolah so lahko tudi razne funkcionalne skupine, npr. hidroksilna (-OH) ipd. Na teh mestih lahko izvedemo zamreženje z različnimi reaktanti, npr. z melaminom ali izocianati in dobimo akrilne kopolimere. V tem primeru akrilne polimerne molekule predstavljajo t.i. hrbtenico (angl. *backbone*). Če izvedemo reakcijo s poliizocianati, dobimo zamrežene akrilno-uretanske smole, ki jih uporabljamo za proizvodnjo lesnih premazov za visokokvalitetno pohištvo ali npr. talne obloge.

V.G.vii. FORMALDEHIDNE SMOLE

Če formaldehid (slika 48) reagira s spojinami, ki vsebujejo nukleofilne ogljikove atome, nastanejo monomeri, ki vsebujejo reaktivne metilolne skupine, ti pa s procesom polikondenzacije tvorijo različne polimerne, lahko tudi zamrežene strukture.



Slika 48: reakcija formaldehida s fenolom.

Glede na to, s katero snovjo formaldehid reagira, lahko nastanejo fenolne, melaminske, urea (sečninske) in druge smole. Zadnji dve vrsti smol običajno imenujemo aminske smole (tudi aminoplasti), produkte s fenolom pa fenolne smole oz. fenoplaste.



Slika 49: vezan les, zlepljen s fenolformaldehidnim lepilom. (foto M. Šernek)

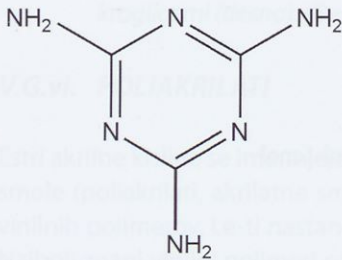
V.G.vii.a. FENOPLASTI

»Metilolni fenoli« ob primernih reakcijskih pogojih (pH, T) bolj ali manj hitro polikondenzirajo in nastanejo različne fenolformaldehidne smole. Če reakcijo izvedemo v kislem reakcijskem okolju, ob prebitku fenola, nastanejo linearne fenolformaldehidne smole, ki jih imenujemo novolaki. Če pa delamo v alkalnem okolju, ob prebitku formaldehida, nastanejo reaktivni rezoli, ki imajo proste metilolne skupine. Na teh skupinah lahko z različnimi reagenti izvedemo zamreženje in dobimo širok spekter različnih bolj ali manj zamreženih fenolformaldehidnih smol. Za lesarstvo je najpomembnejša reakcija rezola s polioli, pri povišanih temperaturah in ob prisotnosti kislinskega katalizatorja. Govorimo o kislinskem utrjevanju. Nastale polikondenzate uporabljamo kot veziva za polikondenzacijske lake s kislinskim (včasih rečemo tudi s »kislim«) utrjevanjem, v pogovornem jeziku imenovane kislinski laki.

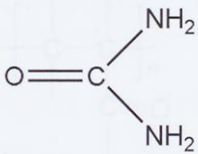
V skupino fenolformaldehidnih polimerov sodi bakelit, ki je bil prvič sintetiziran leta 1905 in ga štejemo za prvi sintetični polimerni material. Bakelit se kot značilen duromer še vedno uporablja v elektrotehniki, za ročaje pri gospodinjskih posodah, ipd.

V.G.vii.b. MELAMINSKE SMOLE

Tako kot fenoli, lahko s formaldehidom reagira tudi melamin (slika 50). Melamin je pri sobni temperaturi trdna in toplotno zelo stabilna snov. Melamin in fenoli tvorijo vmesne metilolne produkte, ki z reakcijo polikondenzacije reagirajo naprej, tako da nastanejo bolj ali manj zamreženi duromerni materiali. Tako kot v primeru fenolformaldehydnih smol tudi pri melaminformaldehydnih smolah obstaja možnost zamreženja s kislinskim katalizatorjem, kar izkoriščamo za izdelavo veziv za lesne premaze. Pomembna so tudi melaminformaldehydna lepila. Iz papirja, prepojenega z melaminskimi smolami, izdelujejo laminatne, npr. za laminatne talne obloge.



Slika 50: melamin.

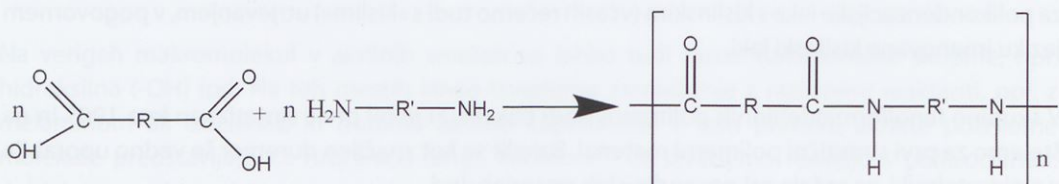
V.F.vii.c. SEČNINSKE SMOLE

Slika 51: sečnina ali urea.

Ureaformaldehydne smole proizvajajo večinoma z etrenjem z butanolom. Ker so smole precej krhke, jih zmehčajo z dodatkom različnih polihidroksi smol. V nasprotju z melaminformaldehydnimi smolami izkazujejo ureaformaldehydne smole topnost v vodi. Zato premazi iz takih smol niso odporni proti vremenskim vplivom. Uporaba ureaformaldehydnih smol kot veziva za površinske premaze je omejena na proizvodnjo nizkocenovnih kislinskih lakov za les v interieru. Seveda so v lesarstvu velikega pomena tudi ureaformaldehydna lepila.

V.G.viii. POLIAMIDI

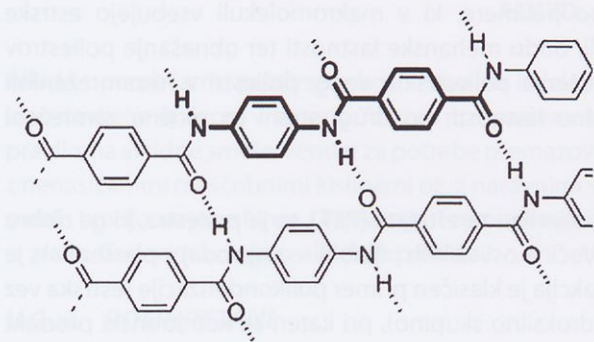
Poliamide v tem pregledu omenjamo, ker so kot polimerni material na splošno zelo pomembni, nekoliko manj jih uporabljamo na področju lesarstva. Monomeri pri poliamidih so med seboj povezani s peptidnimi vezmi. Naravni poliamidi so proteini, ki jih srečamo npr. pri volni ali svili. Veliko uporabljamo sintetične poliamide, med katere uvrščamo najlone in aramide. Amidna (peptidna) vez nastane s kondenzacijsko reakcijo med amsko in karboksilno skupino ali z reakcijo med amsko skupino in kloridom. Splošna reakcija sinteze najlona je prikazana na sliki 52.



Slika 52: prikaz sinteze najlona.

Pri polikondenzacijski reakciji, prikazani na sliki 52, se kot stranski produkt odcepi voda.

Za sintetične poliamide (najlon, aramide) so značilne dobre mehanske lastnosti (trdnost) in visoka odpornost proti kemikalijam. Zato se material uporablja za izdelavo delov, ki morajo vzdržati visoke mehanske obremenitve, kot so npr. različne armature, krogelni ležaji, za kolesčka pri pohištvu, v gospodinjstvu za različne posode ipd. Poliamidna vlakna se odlikujejo po svoji visoki natezni trdnosti. Tu imamo spet zelo lep, lahko bi rekli kar šolski primer povezave med lastnostmi snovi in njeno notranjo zgradbo. Poliamidne makromolekule so v poliamidnih vlaknih namreč med seboj povezane z relativno močnimi vodikovimi vezmi, kar zagotavlja visoko natezno trdnost vlaken.



Slika 53: prikaz vodikovih vezi v aramidu (kevarju).

(<http://en.wikipedia.org/wiki/Aramid>, 4.12.2007 Objavljeno pod pogoji GNU Free Documentation license http://en.wikipedia.org/wiki/GNU_Free_Documentation_License, Verzija 1.2 ali katerakoli kasnejša verzija izdana od Free Software Foundation http://en.wikipedia.org/wiki/Free_Software_Foundation)

V lesnih izdelkih bomo poliamide našli večinoma v obliki vlaken, iz katerih so izdelani tekstilni materiali za površinsko preoblačenje oblazinjenega pohištva (volna, svila) ter kot material za mehansko obremenjene elemente, kot so npr. kolesčka na pisarniških stoli ali vodila predalov. Na svetovnem spletu je moč najti tudi pohištvene elemente, ki so v celoti izdelani iz poliamida (slika 54).



Slika 54: poliamid kot osnova za z vlakni ojačan kompozitni material za izdelavo sedežnega pohištva (levo), ter poliamidno kolo za pisarniški stol (desno).

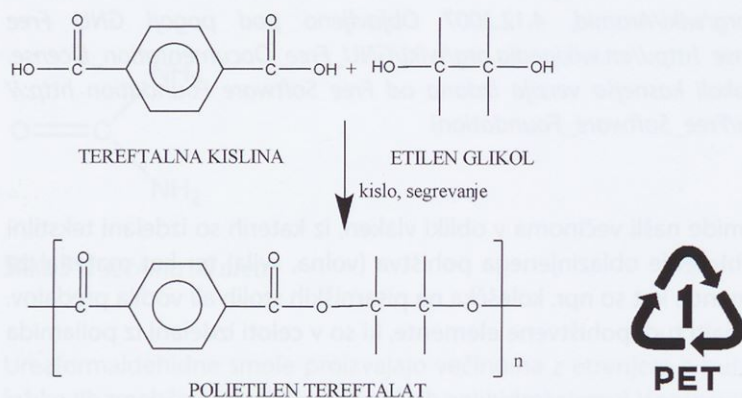
(Levo: <http://www.furniturestoreblog.com/images/moroso%20dining%20chairs%20by%20ross%20lovegrove.jpg> 4.12.07, oblikovanje Moroso Italija, objavljeno z dovoljenjem skrbnikov »Furniture Fashion Blog«, <http://www.furniturestoreblog.com/>)

V.G.ix. POLIESTRI

Za lesarstvo so poliestri pomembnejši polimerni material, saj ne smemo prezreti dejstva, da jih v različnih oblikah uporabljamo kot vezivo v lesnih premazih. Klasični primer, kjer srečamo nenasičene poliestre, so dvokomponentni stirenski parafinski poliestrski laki. Poliestrske verige z različnimi funkcionalnimi skupinami lahko uporabljamo kot hrbtenične polimere, pri katerih z reakcijami funkcionalnih skupin dosežemo želeno stopnjo zamreženja in s tem pričakovane mehanske lastnosti. Tudi polikarbonate lahko štejemo kot posebno skupino poliestrov. Ne nazadnje moramo omeniti tudi polialkide, ki po kemizmu prav tako sodijo v skupino poliestrov, vendar jih zaradi pomembnosti obravnavamo v posebnem poglavju.

Na splošno lahko kot poliestre označimo polimere, ki v makromolekuli vsebujejo estrske funkcionalne skupine. Kot smo že spoznali, bodo mehanske lastnosti ter obnašanje poliestrov pri segrevanju, odvisne od stopnje zamreženja poliestrskih verig: poliestri z nezamreženimi linearnimi verigami izkazujejo termoplastne lastnosti, po drugi strani so močno zamreženi poliestri duroplasti.

Na sliki 55 je prikazana reakcija nastanka polietilen tereftalata (PET), to je poliestra, ki ga dobro poznamo iz našega vsakdanjega življenja. Večina osvežilnih pijač, ki so naprodaj v plastenkah, je prav v embalaži iz polietilen tereftalata! Reakcija je klasičen primer polikondenzacije (estrski vez nastane pri reakciji med karboksilno in hidroksilno skupino), pri kateri se kot stranski produkt odcepi voda.



Slika 55: sinteza polietilen tereftalata (poliestra) iz tereftalne kisline in etilen glikola.

Nasičene poliestre, za katere je značilna odsotnost dvojnih vezi C=C v poliestrskih makromolekulah, uporabljamo za izdelavo različnih folij, magnetnih trakov, predvsem pa za sintetična poliestrska vlakna. Iz le-teh izdelujemo tekstilne materiale za površinsko preoblačenje oblazinjenega pohištva. Če poliestrske verige vsebujejo hidroksilne funkcionalne skupine, jih lahko izpostavimo reakciji s polizocianati in dobimo poliestrsko-uretanske kopolimere.

Za proizvodnjo barv in lakov, seveda tudi premazov za les, pa tudi za izdelavo poliestrskih lepil ter kitov, uporabljamo nenasičene poliestre. Nenasičene poliestre srečamo tudi v polimernih kompozitnih materialih, ojačanih s steklenimi vlakni. To gradivo je uporabno za proizvodnjo sedežnega pohištva ali za izdelavo ogrodja pri oblazinjenem pohištvu. Nenasičeni poliestri v verigah vsebujejo C=C dvojne vezi, ki so mesta, na katerih lahko s primernim reagentom izvedemo zamreženje. Če je reagent za zamreženje stiren, dobimo vezivo za nenasičene poliestrske premaze.

V.G.x. ALKIDI

Alkidi (alkidne smole) so pravzaprav zamreženi nasičeni poliestri, vendar jih običajno obravnavamo ločeno. Alkidi, tako kot ostali poliestri, nastanejo z reakcijo polikondenzacije med alkoholi (pri

alkidih so to polioli) ter karboksilnimi kisljinami ali anhidridi teh kisljin. Da gre za poliestre, nam pove že ime, ki je nastalo iz črk obeh reaktantov:

angleško: **ALCOHOL** (alkohol) and **ACID** (kislina) or **ACID ANHYDRIDE**

ALCYD

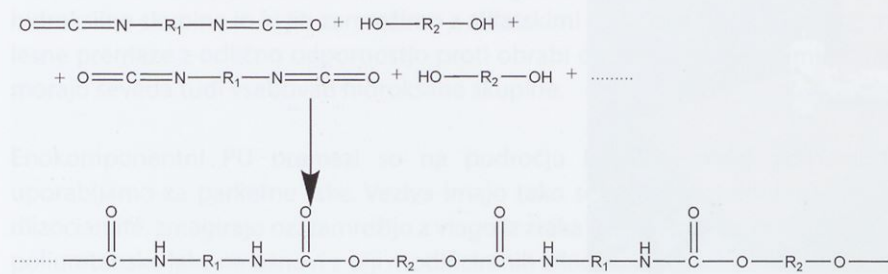
ALKYD

Alkide uporabljamo predvsem kot veziva za izdelavo premazov za les, še posebej za izdelke, izpostavljene vplivom vremena. Tako so npr. veziva v lazurah, izdelanih na osnovi organskih topil, praviloma alkidne smole. Vendar za potrebe premazov za les pridejo v poštev le alkidi, modificirani z nenasičenimi maščobnimi kisljinami oz. z naravnimi sušičimi olji. Šele tako modificirane alkidne smole tvorijo utrjene filme. Utrjevanje – zamreženje - poteče z reakcijo nenasičenih olj s kisikom iz zraka. Govorimo o oljno-alkidnih premazih.

V.G.xi. POLIURETANI

Poliuretani so splošno, v vsakdanjem življenju, izredno pomembni polimerni materiali, prav tako so neprecenljivega pomena na področju lesarstva. Tako na področju površinske obdelave lesa trenutno prevladujejo poliuretanski lesni premazi, pomembna so poliuretanska lepila in poliuretanske pene, ki jih največkrat uporabljamo kot polnila pri oblažjenem pohištvu. Poglejmo podrobneje!

Po eni izmed definicij je poliuretan vsak polimerni material, pri katerem so v verigah organske enote med seboj povezane z uretanskimi vezmi. V splošnem nastanejo z reakcijo med di- ali poliizocianati in dvo ali večfunkcionalnimi alkoholi (slika 56).



Slika 56: prikaz sinteze poliuretana.

Začetnik sinteze poliuretanskih polimerov je bil leta 1937 Otto Bayer s sodelavci. Ugotovili so, da lahko poliuretane, kot novo vrsto polimernih gradiv, izdelajo s poliadicijo iz tekočih diizocianatov in tekočih poliestrskih ali poliestrskih diolov. V komercialno uporabo so bili poliuretani uvedeni leta 1952, 1954 leta so izdelali tudi prve poliuretanske pene. Tako so leta 1960 izdelali že več kot 45.000 ton poliuretanskih pen. Zanimivo je, da je na splošno, tako kot v večini primerov pri razvoju novih materialov, ključno vlogo odigrala avtomobilska industrija, saj so poliuretanske pene razvijali za potrebe notranje opreme osebnih avtomobilov. Poliuretanske pene pogosto izdelujejo z dodatkom majhnih količin hlapnih substanc, sredstev za penjenje, v reakcijske zmesi. Sprva so bili to klorirani in fluorirani ogljikovodiki, zaradi negativnih vplivov teh snovi na zaščitno plast ozona v naši atmosferi so kasneje prešli na uporabo drugih, okolju prijaznejših sredstev za penjenje, kot sta npr. ogljikov dioksid ali pentan.

V.G.xi.a. UPORABA POLIURETANSKIH MATERIALOV - SPLOŠNO

Poliuretani se veliko uporabljajo za izdelavo elastičnih ali tudi rigidnih, nefleksibilnih penastih materialov. Elastične pene vgrajujemo kot material za blazinjenje v pohištvene izdelke, trše poliuretanske pene srečamo v obliki toplotno izolacijskih materialov, npr. v hladilnikih ali pri strešnih kritinah. Ne smemo pozabiti tudi različnih poliuretanskih vlaken, poliuretanskih cevi, poliuretanskih pen v obliki tesnilnih mas, ki jih uporabljamo v gradbeništvu, poliuretanskih električno izolacijskih materialov, ipd. Prav tako poliuretane srečamo v kolescih pri pohištvenih izdelkih ali pri športnih rekvizitih kot so npr. rolke in športne deske.



Slika 57: poliuretanska pena. (foto F. Budija)

V.G.xi.b. POLIURETANI ZA IZDELKE LESNOPREDELOVALNE IN POHIŠTVENE INDUSTRIJE

Poliuretane srečamo kot material za izdelavo zaobljenih nalimkov za robove miznih in različnih drugih plošč (slika 58).



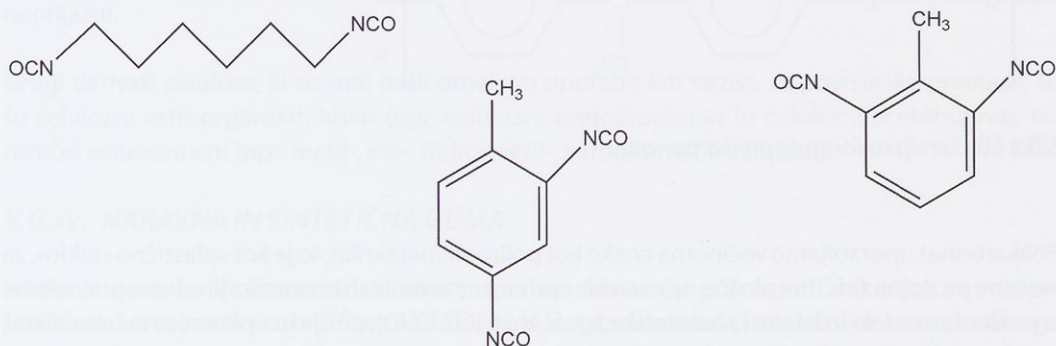
Slika 58: poliuretanski nalimki na mizni plošči.

(<http://www.durelast.com/Press%20Releases/PR1774.htm> 5.12.2007, objavljeno z dovoljenjem Doug Johnston, Dow Hyperlast, High Peak, Derbyshire, UK)

Poliuretanske pene za polnila v oblazinjenem pohištvu izdelujejo z mešanjem poliolov, diizocianatov, katalizatorjev, sredstev za penjenje in drugih dodatkov. Reakcijsko zmes nalivajo na tekoči trak, zaradi eksotermne kemijske reakcije tvorbe poliuretanov se viskoznost zmesi povečuje do končnega utrjenega stanja. Mehurčki plinov, ki se pri reakciji sproščajo, se ujamejo v utrjeno poliuretansko maso. Le-to potem razrežejo v bloke primernih dimenzij oz. jo preoblikujejo v obliko, ki je primerna za uporabo v pohištvenem izdelku. V penah za oblazinjeno pohištvo so zaradi varnostnih razlogov tudi protipožarna sredstva. Glavna prednost poliuretanskih lepil, ki jih uporabljamo v lesarstvu, pred običajnimi lepili za les, je njihova vodoodpornost. Sodobna poliuretanska lepila se odlikujejo po nizki viskoznosti in jih je zato lahko nanašati. Po drugi strani dvokomponentna poliuretanska lepila zelo hitro utrdijo, le v nekaj sekundah.

Na področju lesarstva je najpomembnejša uporaba poliuretanov za površinske lesne premaze. Zgodovinsko gledano so najbolj klasični poliuretanski premazi dvokomponentni. Komponenti poliuretanskega premaza je proizvajalec Bayer iz Nemčije poimenoval Desmodur in Desmophen. Od tod izhaja poimenovanje za te lake, ki ga včasih zasledimo še v današnjih časih: DD laki.

Za izdelavo poliuretanskih veziv za lesne premaze uporabljamo tako alifatske kot aromatske izocianate, ali zmesi obeh tipov. Najpomembnejši alifatski izocianat je heksametilen diizocianat. Najpomembnejša aromatska izocianata sta 2,4- in 2,6- toluen diizocianat (slika 59). Naj kar takoj omenimo, da se pri poliuretanskih premazih včasih lahko pojavi občutno rumenenje. Za ta neželen pojav sta v prvi vrsti odgovorna prav vrsta in kvaliteta uporabljenih izocianatov. Na splošno velja, da so poliuretani, ki so bili pripravljani z aromatskimi izocianati, bolj nagnjeni k rumenenju kot tisti z alifatskimi izocianati.



Slika 59: heksametilen diizocianat (levo), 2,4-toluen diizocianat (na sredini) in 2,6-toluen diizocianat (desno).

Dvokomponentni PU premazi: osnova za vezivo so »hrbtenci« polimeri, ki imajo na verigah hidroksilne skupine. Med najstarejša veziva tega tipa sodijo kombinacije z alkidnimi smolami, ki so modificirane z maščobnimi kislinami. Zamreženje alkidnih verig preko uretanskih vezi dosežemo z reakcijo s toluen diizocianati. Druga možnost so akrilne smole, ki prav tako vsebujejo hidroksilne skupine in ki jih zamrežimo z alifatskimi izocianati. Visoko zamrežene poliuretane za lesne premaze z odlično odpornostjo proti obrabi dobimo z razvejanimi poliistri ali polietri, ki morajo seveda tudi vsebovati hidroksilne skupine.

Enokomponentni PU premazi so na področju lesarstva manj pomembni, večinoma jih uporabljamo za parketne lake. Veziva imajo tako sestavo, da prepolimeri, ki vsebujejo toluen diizocianate, zreagirajo oz. zamrežijo z vlago iz zraka in/ali lesa. Poznamo tudi oksidativno sušiče poliuretanske lake na osnovi z olji modificiranih alkidov.

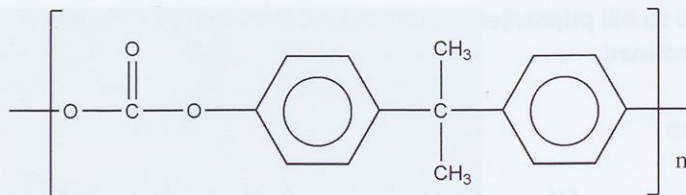
Poliuretanske premaze je možno izdelati tudi tako, da utrjujejo z obsevanjem z UV svetlobo. Posebna, zaradi okoljevarstvenih zahtev vedno pomembnejša skupina PU lakov so vodni poliuretanski premazni sistemi. V tej skupini so po uporabi izstopajoče enokomponentne vodne poliuretanske disperzije, pri katerih poliuretansko vezivo največkrat kombiniramo s poliakrilati. Izdelali so tudi UV utrjujoče vodne akrilno-poliuretanske disperzije ter dvokomponentne z vodo razredčljive poliuretanske premaze.

Kot je razvidno iz zgornjega kratkega pregleda veziv za poliuretanske lake, se le-ta med seboj močno razlikujejo. Zato je lastnosti PU premazov težko postaviti na skupni imenovalec. Med splošnimi prednostmi lahko poudarimo dobro odpornost proti mehanskim obremenitvam (proti razenju, udarcem, obrabi), proti različnim kemikalijam, dobro elastičnost, ki zagotavlja prilagajanje delovanju lesa zaradi vlažnostnih in temperaturnih sprememb, ter predvsem velik nabor različnih vrst premazov, kar omogoča optimalno izbiro glede na pričakovane obremenitve s PU laki površinsko obdelanega lesnega izdelka. Po drugi strani je ena pomembnejših pomanjkljivosti PU lakov za les že omenjena nagnjenost k rumenenju. Prav tako naj poudarimo, da je proces

utrjevanja dvokomponentnih PU lakov kemijski. Po drugi strani PU vodne disperzije utrjujejo fizikalno, z odparevanjem tekoče faze oz. vode. To se seveda pozna na lastnostih. Tako so utrjeni filmi vodnih PU disperzij v primerjavi s filmi dvokomponentnih PU premazov bolj elastični in prepustni za vodno paro.

V.G.xii. POLIKARBONAT

V polikarbonatih, ki sodijo v skupino termoplastnih materialov, so monomerne enote med seboj povezane s karbonatnimi skupinami ($-\text{O}-(\text{C}=\text{O})-\text{O}-$, slika 60).

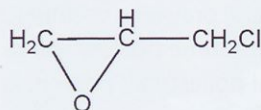


Slika 60: kemijska formula polikarbonata.

Polikarbonat uporabljamo večinoma enako kot polimetilmetakrilat, to je kot »plastično steklo«, za različne prosojne zaščitne plošče, npr. »stekla« pri cestnih svetilkah in semaforjih ali za optične leče. Iz polikarbonata so izdelane računalniške zgoščenke (CD, DVD), ohišja in tipkovnice računalnikov, precizni deli nekaterih natančnih merilnih instrumentov in tudi različne gospodinjске posode.

V.G.xiii. POLIEPOKSIDI

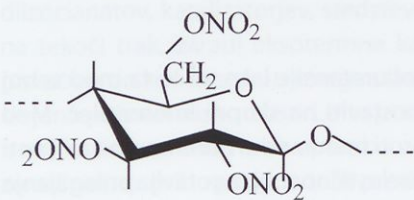
Poliepoksidi (epoksidne smole, epoksi smole) so polietri, nastali iz cikličnih polietrov, ki vsebujejo epoksidne skupine (slika 61). Linearni polietri (epoksi smole) so termoplasti. Z utrjevalci lahko povzročimo zamreženje in dobimo duroplastne poliepoksidne sintetične mase.



Slika 61: epiklorhidrin, iz katerega je možno izdelati poliepoksidge.

Poliepoksidge srečamo kot veziva v lepilih za les in v površinskih premazih ter kot osnovo za izdelavo različnih kompozitnih materialov, npr. za talne obloge. Epoksidni površinski premazi imajo odlične mehanske in kemijske lastnosti in se med drugim odlikujejo tudi po izredno nizki prepustnosti za vodno paro. Vendar se kot površinski premazi za les še niso polno uveljavili, morda tudi zaradi svoje relativno visoke cene.

V.G.xiv. CELULOZNI NITRAT (NITROCELULOZA) IN DRUGI DERIVATI CELULOZE



Slika 62: osnovna enota v celuloznem nitratu.

Celulozni nitrati so močno vnetljive, včasih celo eksplozivne snovi, ki jih dobimo z nitriranjem celuloze. Celulozo nitriramo z zmesjo dušikove in žveplove kisline, pri čemer nastanejo estri. Zato je s kemijskega stališča pravilno ime za snov celulozni nitrat in ne nitroceluloza, kot ta derivat celuloze običajno imenujemo v pogovornem jeziku.

V tem pregledu polimernih materialov smo celulozni nitrat omenili predvsem zato, ker je predstavljal (pol)sintetično polimerno vezivo za prve industrijsko izdelane površinske premaze. Zgodovina uporabe nitroceluloznih premazov je tesno povezana z avtomobilsko industrijo, saj so bili prvi velikoserijski avtomobili prelakirani prav z nitroceluloznimi laki (npr. sloviti Fordov Model T). Kasneje so se nitrocelulozni premazi zaradi svoje enostavnosti za uporabo in možnosti doseganja lepega izgleda površin močno uveljavili kot premazi za les. Nitrocelulozne premaze uporabljamo še dandanes, vendar njihova uporaba močno upada. Vsebujejo namreč velik delež organskih topil in redčil (hlapnih organskih spojin oz. s kratico HOS) in so zato lahko okolju neprijazni.

Drugi derivati celuloze, ki so tudi našli omejeno uporabo kot veziva za površinske premaze, so še celulozni estri organskih kislin (npr. celulozni acetopropionat in celulozni acetobutirat), ter različni celulozni etri (npr. metil-, etil-, hidroksietil-, karboksietil- celuloza).

V.G.xv. NARAVNA IN SINTETIČNA GUMA

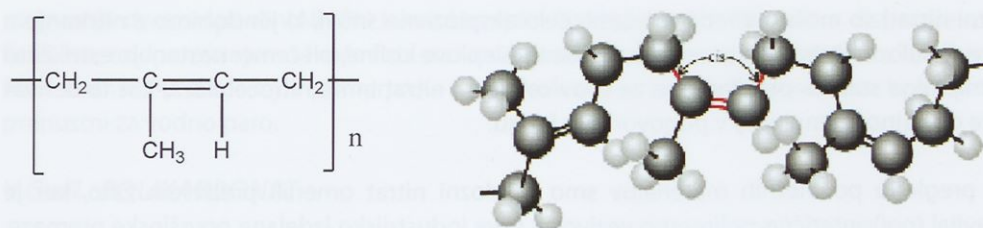
Lateks je naravna ali sintetična stabilna suspenzija (emulzija) polimernih mikrodlecev v vodni fazi. V soku drevesa *Hevea brasiliensis* (slika 63), ki je najpomembnejši vir za pridobivanje naravne gume oz. kavčuka, so tako dispergirani drobni delci gume. Lateks lahko izkoriščamo v različne namene – srečamo ga v proizvodih tekstilne industrije, uporabljamo ga za izdelavo gumenih premazov, v spenjeni obliki je lahko kot polnilo v oblazinjenem pohištvu. Najpomembnejši izdelek, ki ga proizvajamo iz naravnega lateksa, je naravna guma.

Naravna guma je naravni polimer, sestavljen iz *cis*-1,4 izoprenskih enot (slika 64). *Cis* razporeditev metilne ($-CH_3$) skupine in vodika (H) glede na položaj dvojne vezi ($C=C$) ima za posledico, da so polimeri naravne gume v naravnem stanju zviti v klobčiče. Pri natezni obremenitvi se klobčiči razvijejo in na ta način razlagamo, zakaj ima naravna guma elastomerne lastnosti, torej je že pri nizkih nateznih obremenitvah sposobna velike deformacije.



Slika 63: zbiranje soka kavčukovca za proizvodnjo lateksa in naravne gume.

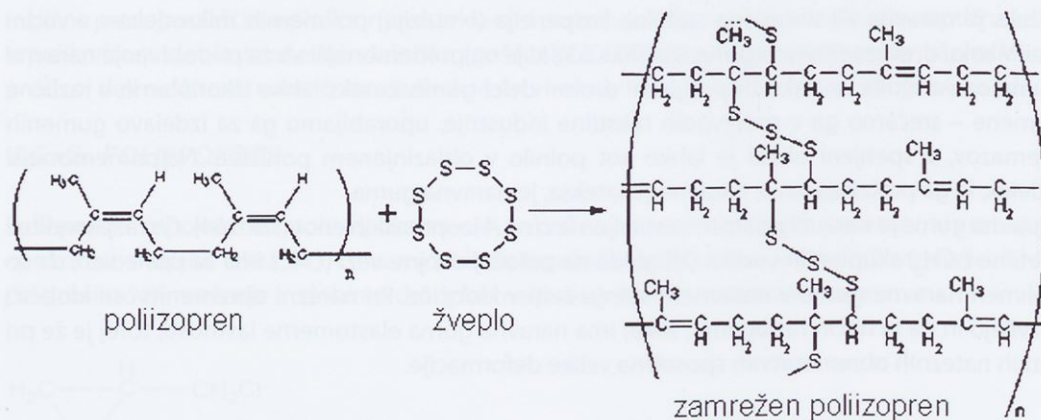
(http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Latex_dripping.JPG 5.12.2007, avtor Axel Boldt, objavljeno v skladu z navedbo na spletni strani s sliko: »Axel Boldt grants anyone the right to use this work for any purpose, without any conditions, unless such conditions are required by law«)



Slika 64: cis-1,4 poliizopren (levo) in zvita molekula poliizoprena (desno).

(Desno: <http://science.kennesaw.edu/~mhermes/silicon/sil7cone.htm> 5.12.2007, prosili smo za dovoljenje za objavo, a negativnega odgovora nismo prejeli)

Naravna, neobdelana guma je za večino tehničnih izdelkov neuporabna. Elastični deformaciji nezamrežene naravne gume bi sledili viskoelastična in plastična deformacija. Če bi raztegovali nit iz naravne gume, bi se le-ta stanjšala in na koncu tudi pretrgala. Dobro znanemu Charlesu Goodyearu (1800-1860) je uspelo močno izboljšati lastnosti naravne gume s procesom delnega zamreženja poliizoprenskih enot, ki ga imenujemo vulkanizacija. Ime izhaja od reagenta za zamreženje – elementarnega žvepla, ki so ga stari Rimljani povezovali z njihovim bogom ognja Vulkanom. Proces zamreženja z žveplom je shematsko prikazan na sliki 65.

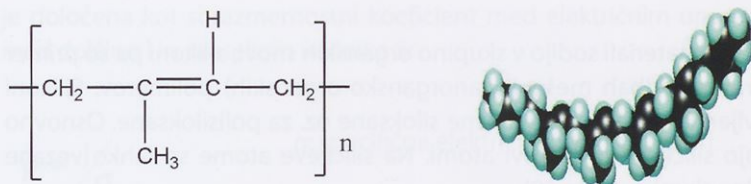


Slika 65: zamreženje naravne gume z žveplom – vulkanizacija.

(Povzeto po <http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Vulcanisation.GIF#file> 5.12.2007, avtor slike Firey Deity, objavljena v skladu z naslednjo navedbo na spletni strani: »Firey Deity grants anyone the right to use this work for any purpose, without any conditions, unless such conditions are required by law.«)

Vpliv stopnje zamreženja na mehanske lastnosti vulkanizirane gume je spet zelo lep, šolski primer povezave notranje zgradbe materiala z njegovimi lastnostmi. Običajna guma vsebuje okrog 3 % žvepla. Z naraščajočo vsebnostjo žvepla (S) stopnja zamreženja narašča in s tem tudi trdnost in trdota gume. Tako štejemo gume s 3 % - 10 % S med mehke gume in gume z 10 % - 50 % vsebnostjo žvepla med trde gume.

In še en zelo zanimiv primer, kako močno lahko že malenkostne razlike na submikroskopskem nivoju vplivajo na zunanje, makroskopske lastnosti snovi. V soku dreves iz rodu *Palaquium* (guta percha) se nahaja *trans*-1,4 poliizopren in ne *cis*-1,4 poliizopren kot v primeru naravne gume. Razlika med obema spojinama je v tem, da se glede na položaj ogljikove dvojne vezi v makromolekuli metilna skupina in vodik nahajata na nasprotnih straneh in ne na isti strani. Posledica je, da v naravnem stanju verige *trans*-1,4 poliizoprena niso zvite v klobčiče, temveč se nahajajo v raztegnjeni obliki (slika 66). Zato ima material kristalinično zgradbo, saj se lahko ravne, iztegnjene makromolekule v strukturi med seboj lepo zložijo oz. uredijo. Še pomembnejša posledica je, da *trans*-1,4 poliizopren nima lastnosti elastomera, temveč je pri sobni temperaturi trd in krhek material. Tako majhna razlika v položaju atoma in skupine atomov, a tako velika razlika v makroskopskih lastnosti snovi!

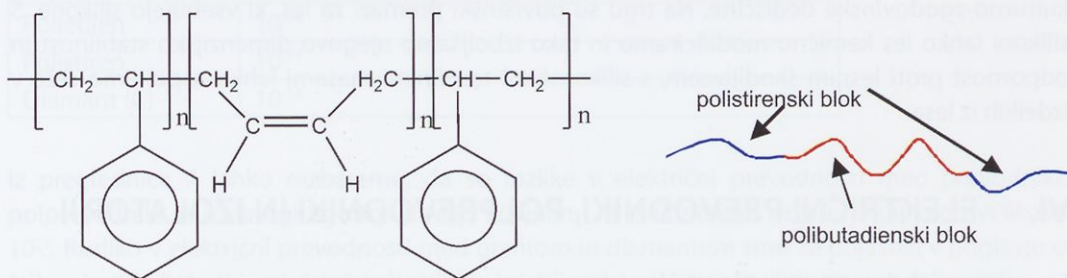


Slika 66: *trans-1,4 poliiizopren (levo) ter raztegnjena makromolekula te snovi (desno).*

(Desno: <http://www.tennoji-h.oku.ed.jp/tennoji/oka/2004/04ko3-34.htm> 5.12.2007, avtor dr. Oka, objavljeno z dovoljenjem avtorja in Y. Okamoto, Tennoji High School, attached to Osaka Kyoiku University, Tennoji, Osaka Japonska, <http://www.osaka-kyoiku.ac.jp/~yossi/>)

Sintetično gumo izdelujejo s polimerizacijo različnih monomerov kot so npr. izopren (2-metil-1,3-butadien), 1,3-butadien, kloropren (2-kloro-1,3-butadien) ali izobutilen (metilpropen) z dodatkom majhnega deleža izoprena za premreženje. Omenjene monomere lahko kombiniramo za izdelavo različnih kopolimerov, ki imajo širok spekter različnih mehanskih, fizikalnih in kemijskih lastnosti. Še posebej so se uveljavili stirensko-butadienski kopolimeri ter akrilonitril butadien stiren (ABS). Del verige stirensko-butadienske gume je prikazan na sliki 67. Medtem ko butadienski del v polimeru zagotavlja zadostno zavitev makromolekul in s tem elastomerne lastnosti, poskrbi stirenski del za izboljšanje mehanskih lastnosti gume. Stirensko-butadienski kopolimeri so običajno blok kopolimeri, kot je prikazano na sliki 67.

Gumo izkoriščamo v najrazličnejše namene, za izdelke, ki jih uporabljamo v gospodinjstvu in tudi v najrazličnejše industrijske namene. Največ gume se seveda porabi za proizvodnjo avtomobilskih plaščev in zračnic. Gumaste trakove srečamo v obliki tesnil pri oknih in vratih, v gospodinjstvih uporabljamo gumijaste rokavice, iz gume so izdelane tudi različne otroške igrače. Guma se uporablja tudi za izdelavo gumenih lepil in površinskih premazov. Gumena vlakna so pomembna surovina v tekstilni industriji, za izdelavo tekstila z elastičnimi lastnostmi. Ne smemo pozabiti še na spenjeno gumo kot material za blazinjenje pohištva.



Slika 67: *del verige sintetične stirensko-butadienske gume (levo) ter prikaz polistirenskih in polibutadienskih blokov v kopolimeru (desno).*

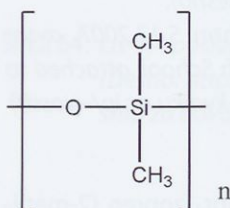
Akrilonitril butadien stiren (ABS) se je v lesarstvu močno uveljavil kot material za izdelavo robnih nalimkov (slika 68).



Slika 68: *vzorci za robne trakove iz akrilonitril butadien stirena.*

V.G.xvi. SILIKONI

Vsi do sedaj omenjeni polimerni materiali sodijo v skupino organskih snovi, silikoni pa so primer anorganskih (ali po nekaterih navedbah mešanih, anorgansko-organskih) polimerov. Silikoni so poljuden, splošno uveljavljen izraz za polimerizirane siloksane oz. za polisiloksane. Osnovno verigo pri silikonih sestavljajo silicijevi in kisikovi atomi. Na silicijeve atome so lahko vezane različne organske funkcionalne skupine (slika 69).



Slika 69: primer silikonskega polimernega materiala – polidimetilsiloksan.

Silikon je elastomer, zanj so značilne naslednje lastnosti: toplotna stabilnost (nespremenjene lastnosti) v širokem temperaturnem intervalu, med $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ in $250\text{ }^{\circ}\text{C}$, vodoodbojnost, odlična odpornost proti kisiku in UV svetlobi, nizka kemijska reaktivnost, nizka toksičnost, elastičnost, električna izolativnost, zelo nizka površinska napetost (odpornost proti sprijemanju).

Glede na zgoraj navedene lastnosti silikone uporabljamo v najrazličnejše industrijske in gospodinjne namene. Tako s silikonskimi kiti tesnimo različne špranje in razpoke, še posebej če želimo doseči vodotesnost, silikonska olja oz. »masti« uporabljamo kot maziva, različne elektronske naprave včasih zaščitimo pred zunanjimi vplivi tako, da jih zalijemo s silikonsko maso, izkoriščamo jih za izdelavo ognjeodpornih oz. protipožarnih zaščitnih komponent, iz silikonov izdelujemo različna tesnila, pomembna je tudi njihova uporaba v kozmetični industriji.

Na področju lesarstva je poznana uporaba silikonskih olj za konzerviranje lesenih objektov kulturno-zgodovinske dediščine. Na trgu so površinski premazi za les, ki vsebujejo silikone. S silikoni lahko les kemično modificiramo in tako izboljšamo njegovo dimenzijsko stabilnost in odpornost proti lesnim škodljivcem, s silikonskimi tesnilnimi masami lahko zapolnimo reže v izdelkih iz lesa.

VI. ELEKTRIČNI PREVODNIKI, POLPREVODNIKI IN IZOLATORJI

Ena najpomembnejših značilnosti kovin je, da so odlični električni prevodniki. Zato pred obravnavo kovin in zlitin na kratko ponovimo osnove o električni prevodnosti materialov.

Električni tok je možen le v snoveh, ki imajo veliko število prosto gibljivih nosilcev električnega naboja. Takim snovem pravimo električni prevodniki. Če vodnik iz električno prevodnega materiala izpostavimo razliki električnega potenciala, se pričnejo nosilci električnega naboja premikati, pravimo da steče električni tok.

Električna prevodnost (tudi specifična električna prevodnost, specifična prevodnost) σ , je definirana kot razmerje med gostoto električnega toka J in jakostjo električnega polja E :

$$J = \sigma \cdot E$$

J : gostota električnega toka [A/m^2]

σ : specifična električna prevodnost [S/m] ali [$\Omega^{-1}\text{m}^{-1}$]

E : jakost električnega polja [V/m]

Recipročna vrednost električne prevodnosti se imenuje specifična električna upornost (tudi specifična upornost, specifični upor ali specifični električni upor) ρ . Specifična električna upornost

je določena kot sorazmernostni koeficient med električnim uporom vodnika R ter razmerjem med dolžino l in presekom vodnika S:

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \quad \rho: \text{specifična električna upornost } [\Omega\text{m}]$$

$$\rho = \frac{(R \cdot S)}{l} \quad R: \text{električni upor vodnika } [\Omega]$$

S: ploščina preseka vodnika [m²]

l: dolžina električnega vodnika [m]

Glede na velikost električne prevodnosti oz. specifične električne upornosti snovi delimo na električne prevodnike, električne polprevodnike in električne izolatorje. Specifična električna prevodnost je snovna lastnost in je seveda odvisna od kemijske sestave in notranje zgradbe materiala.

Preglednica 7: električna prevodnost nekaterih prevodnikov, polprevodnikov in izolatorjev

Snov	specifična električna prevodnost [$\Omega^{-1}\text{m}^{-1}$]
Električni prevodniki	
Srebro (Ag)	$6,3 \times 10^7$
Baker (Cu)	$5,8 \times 10^7$
Zlato (Au)	$4,2 \times 10^7$
Aluminij (Al)	$3,4 \times 10^7$
Grafit (C)	10^5
Električni polprevodniki	
Germanij (Ge)	1,5
Silicij (Si)	$2,52 \cdot 10^{-4}$
Električni izolatorji	
Polietilen	10^{-14}
Polistiren	10^{-14}
Diamant (C)	10^{-14}

Iz preglednice 7 lahko razberemo, da so razlike v električni prevodnosti med prevodniki, polprevodniki in izolatorji ogromne! Med kovinami in električnimi izolatorji kar reda velikosti 10^{21} . Razliko v električni prevodnosti med grafitom in diamantom smo že pojasnili v poglavju o mikroskopski zgradbi snovi, kaj več o električni prevodnosti kovin in zlitin pa v nadaljevanju.

VII. KOVINE IN ZLITINE

Kovinske materiale lahko štejemo med snovi, katerih poznavanje in razvoj je najtesneje povezan z razvojem naše civilizacije. Ne nazadnje se po nekaterih kovinah imenujejo obdobja v razvoju človeške družbe, npr. bronasta ali železna doba. Tudi na področju lesarstva ter kot material v izdelkih lesnopredelovalne in pohištvene industrije so neprecenljivega pomena. Samo pomislimo na kovinska ogrodja pohištvenih elementov, razna vodila in ležaje, žičnike in vijake, vzmeti v oblazinjenem pohištvu, ipd. Še posebej so kovine material za orodja, s katerimi obdelujemo in predelujemo les.

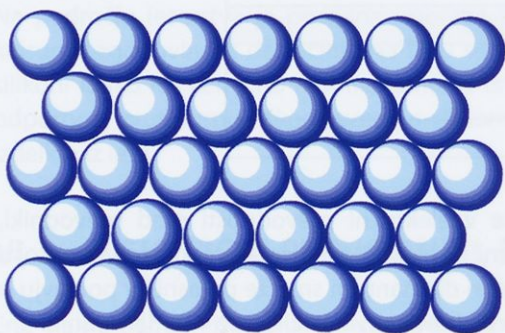
Kovine bi lahko označili kot anorganske snovi, sestavljene iz kovinskih elementov, ki pogosto vsebujejo tudi nekovinske primesi in so definirane po svojih zelo značilnih lastnostih: visoka gostota, dobra električna in toplotna prevodnost, kovinski sijaj, ter velika sposobnost plastičnega preoblikovanja (duktilnost – kovnost: valjanje, vlečenje,...). Pri sobni temperaturi so kovine v trdnem agregatnem stanju, izjema je živo srebro, ki je pri sobni temperaturi kapljevin (tik

nad sobno temperaturo je tudi Ga kovina v tekočem agregatnem stanju). Kovine so praviloma polikristalinični materiali, čeprav znajo izdelati tudi kovinske materiale z amorfno zgradbo. Med kovinskimi atomi v kovinskih materialih prevladujejo kovinske vezi. Z atomi nekovin se kovinski atomi povezujejo z ionskimi vezmi. Različni kovinski atomi lahko tvorijo trdne raztopine – zlitine. Tudi pri kovinah znamo dokaj dobro pojasniti njihove lastnosti z njihovo notranjo zgradbo.

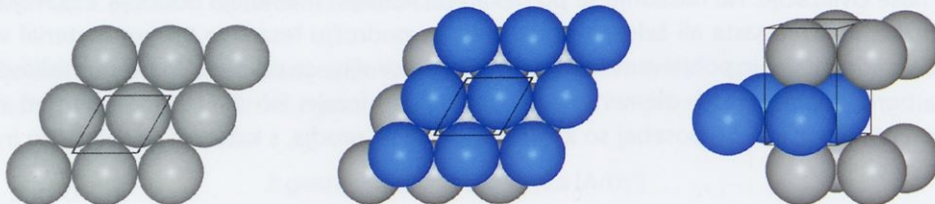
Slovenci se lahko pohvalimo, da smo eden redkih narodov, ki uporabljamo izraz v svojem jeziku – kovine. Večina drugih narodov uporablja mednarodni naziv – metali. Besedica kovina »označuje« značilno sposobnost plastičnega preoblikovanja – kovnost. Seveda je težko vedeti ali imajo kovine ime po glagolu »kovati« ali je morda obratno. Ne glede na to smo lahko ponosni na lep domač izraz za te vsestransko koristne in uporabne materiale.

VII.A. ZGRADBA KOVIN, KOVINSKA VEZ

Za kovine je značilna zelo visoka gostota. Zakaj? Odgovor se seveda skriva v njihovi notranji zgradbi. Posamezen kovinski atom si lahko predstavljamo kot kroglo. Če zlagamo kroglo v ravnini eno zraven druge, ugotovimo, da lahko en atom (kroglo) v isti ravnini obkroža največ šest enakih kovinskih atomov (slika 70). To je enostavna posledica geometrijskih razmerij. Tako gosto zložene plasti lahko zlagamo eno na drugo in dobimo pravilen kristaliničen raspored, ki mu pravimo najgostejši sklad. Odvisno od zaporedja plasti ločimo kubični in heksagonalni najgostejši sklad. Heksagonalni najgostejši sklad je prostorska razporeditev atomov v kovinah, ko atomi zavzamejo največji možen del prostora (74 %). Vsak atom je obdan z 12 sosednjimi atomi, 6 v isti ravnini in po 3 nad in pod ravnino. Gosti ravninski skladi so zamaknjeni tako, da se vsak tretji v projekciji prekriva s prvim (zaporedje ABAB..., slika 71). Kubični najgostejši sklad pomeni enako prostorsko razporeditev atomov, le da so gosti ravninski skladi zamaknjeni tako, da se vsak četrti v projekciji prekriva s prvim (zaporedje ABCABC..., slika 72). Nekatere kovine kristalizirajo v nekoliko manj gostem skladu, ki ga ne imenujemo najgostejši temveč kar »gosti sklad« in v katerem kovinski atomi zasedajo 68 % prostora.

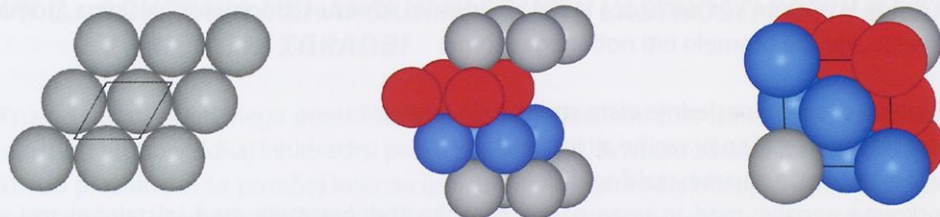


Slika 70: razpored kovinskih atomov v eni ravnini pri najgostejše zloženih kovinskih strukturah.



Slika 71: heksagonalni najgostejši sklad.

(http://ruby.chemie.uni-freiburg.de/Vorlesung/metalle_1_3.html 7.12.2007, poslali smo prošnjo za dovoljenje za objavo, a negativnega odgovora nismo prejeli.)



Slika 72: kubični najgostejši sklad.

(http://ruby.chemie.uni-freiburg.de/Vorlesung/metalle_1_3.html 7.12.2007, poslali smo prošnjo za dovoljenje za objavo, a negativnega odgovora nismo prejeli.)

Na slikah 70-72 vidimo, da je tudi v tako gostih strukturah kot sta heksagonalni in kubični najgostejši sklad, med kovinskimi atomi še vedno nekaj praznega prostora. Prostora je dovolj, da ga lahko zasedejo manjši atomi ali molekule. Tako se lahko v strukturo železa (ki sicer kristalizira v nekoliko redkejšem kubičnem gostem skladu) vključijo atomi ogljika. Pravimo, da se ogljik raztaplja v železu. Delež ogljika v železu močno vpliva na njegove lastnosti. Drug primer je vključevanje molekul vodika, H_2 v kristalno rešetko platine, Pt. Plin vodik je v zmesi s kisikom oziroma v zraku eksploziven. Zato skušajo znanstveniki razviti varne načine skladiščenja vodika tako, da bi ga hranili v praznih prostorih (intersticijah) kristalne strukture kemijsko nereaktivne platine.

Ker so kovinski atomi v gostih kovinskih strukturah zelo blizu skupaj, se zgodi, da zunanji elektroni posameznih kovinskih atomov postanejo delokalizirani. To pomeni, da niso več vezani na posamezen kovinski atom v strukturi, temveč da »pripadajo« vsem atomom v strukturi. Te elektrone imenujemo prevodni elektroni, saj se lahko pod vplivom priključene razlike električnih potencialov (električne napetosti) gibljejo. Po kovinskem vodniku steče električni tok. Govorimo o kovinski vezi. Kovinske vezi so nepolarne. Posamezne plasti kovinskih atomov lahko pod vplivom zunanjih mehanskih obremenitev dokaj lahko drsijo ena preko druge. Kristalni zdrsi so torej vzrok za duktilnost in kovnost kovin. Zelo veliko kovin ima dokaj visoke temperature tališča. Na podoben način kot električno prevodnost razlagamo tudi dobro toplotno prevodnost kovin: prosti elektroni lahko prenašajo energijo mnogo hitreje kot v strukturah, kjer so le-ti močno vezani, lokalizirani, npr. v kovalentnih vezeh.

Električna prevodnost kovin je temperaturno odvisna, z višanjem temperature narašča. Preprosto bi pojav lahko razložili s termičnim gibanjem gradnikov – kovinskih atomov. Atomi mirujejo le pri absolutni temperaturi, to je pri 0 K. Pri vsaki višji temperaturi atomi termično nihajo okrog svojih ravnovesnih položajev v strukturi. Termično nihanje ovira gibanje elektronov in zato je električna prevodnost pri višjih temperaturah nižja. Pri temperaturi tališča je termično nihanje atomov že tako močno, da lahko premagajo sile, ki jih držijo na ravnovesnih položajih v strukturi. Kovina preide iz trdnega v tekoče agregatno stanje.

VII.B. REALNE STRUKTURE – NAPAKE V KRISTALNI ZGRADBI

Da bi lažje razumeli mehansko preoblikovanje kovin, se moramo ponovno vrniti na submikroskopski nivo kristalne zgradbe. Za kristalinično zgradbo je značilen red dolgega doseg, kar pomeni, da lahko ob poznavanju simetrijskih pravil, ki vladajo v strukturi, za vsak gradnik napovemo njegov položaj v kristalni rešetki. Vendar je to idealno stanje, ki ga v naravi praktično ni. V kristalnih strukturah je vedno več ali manj napak. Namesto o idealni zgradbi zato v primeru obravnave napak v kristalnih strukturah govorimo o realni zgradbi trdnih snovi. Napake v kristalnih strukturah so vedno prisotne. Njihova pogostnost je termodinamsko pogojena, kar pomeni, da je njihovo pojavljanje odvisno od temperature snovi.

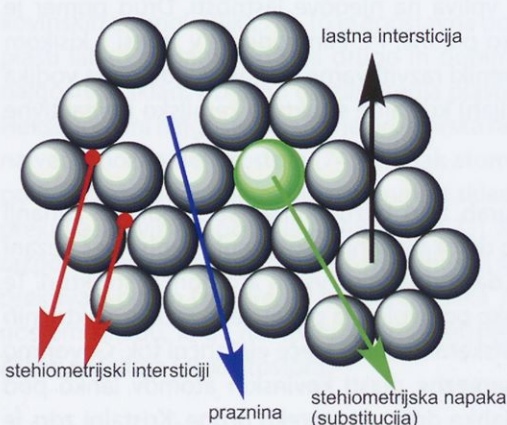
Mrežne ali strukturne napake so napake v razporedu gradnikov. Stehiometrijske napake so napake v kemijski sestavi snovi. Mrežne in stehiometrijske napake lahko nastopajo hkrati. Primer:

atom neke druge kovine se kot nečistoča nahaja v kristalni strukturi drugega kovinskega atoma in sicer na mestu, kjer ne bi smelo biti nobenega atoma.

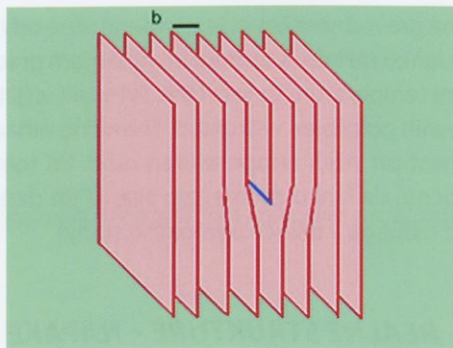
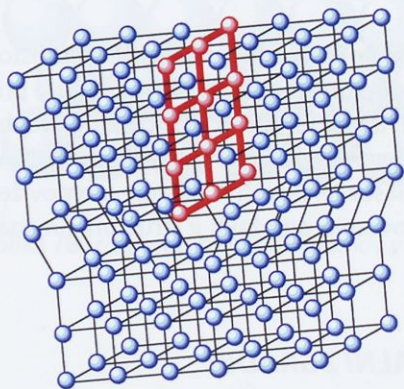
Glede na dimenzije ločimo naslednje vrste strukturnih napak:

- točkaste napake, ki so praznine ali intersticije
- linijske ali črtaste napake: različne dislokacije
- ploskovne napake: med to vrsto napak bi lahko šteli kar meje med kristalnimi zrni v polikristaliničnih napakah
- prostorske napake: različne večje praznine, »mehurčki« v kristalnih strukturah

Ker je različnih vrst napak veliko in je njihovo razumevanje težavno, si na sliki 73 oglejmo prikaz nekaj najpomembnejših točkastih strukturnih in stehiometrijskih napak. Na sliki 74 je razlaga napake robna dislokacija. Omenjene napake so najpomembnejše za razlago mehanskega preoblikovanja kovin. Ker vemo, da prisotnost in vrsta napak močno vplivata na mehanske in tudi druge lastnosti kovin, lahko z njimi vplivamo na te lastnosti. Če želimo neko kovino utrditi, da bo bolj trda in krhka, bomo v strukturo namenoma vnesli stehiometrijske točkaste napake.



Slika 73: prikaz točkastih napak v kristalni strukturi.



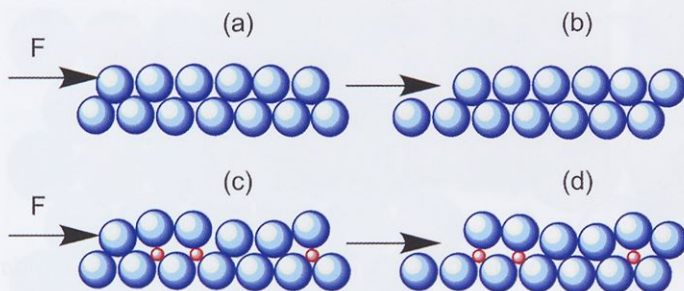
Slika 74: robna dislokacija.

V kristalno rešetko je vrinjena t.i. polravnina, označena z rdečo barvo (večja slika na levi). Spodnji rob vrinjene polravnine na sliki je robna dislokacija. Na manjši sliki na desni strani so zaradi večje preglednosti prikazane samo ravnine, na katerih ležijo atomi in vrinjena polravnina, z modrim spodnjim robom, ki je robna dislokacija.

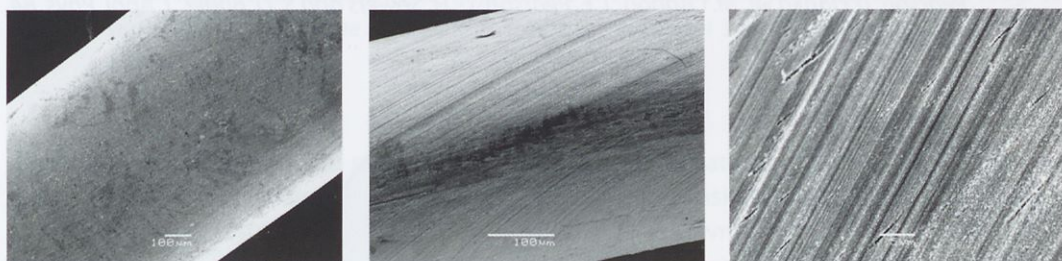
(Desno: <http://www.answers.com/topic/dislocation-edge-d2-jpg-1> 7.12.2007, objavljeno z dovoljenjem pod pogoji GNU Free Documentation license http://en.wikipedia.org/wiki/GNU_Free_Documentation_License, Verzija 1.2 ali katerakoli kasnejša verzija izdana od Free Software Foundation http://en.wikipedia.org/wiki/Free_Software_Foundation).

VII.C. POVEZAVA MEHANSKIH IN DRUGIH LASTNOSTI KOVIN Z NAPAKAMI V KRISTALNI ZGRADBI

Ena od razlag plastičnega preoblikovanja kovin je kristalni zdrs (slika 75). Pod vplivom zunanje sile plast atomov dokaj lahko zdrsi preko druge plasti. Kristalni zdrs lahko tudi omejimo. Napake kot so praznine in še posebej intersticijski atomi, kristalni zdrs otežijo. Kovine z večjim deležem intersticijskih atomov so zato bolj trde in krhke, plastično preoblikovanje je težje. Primer so lita železa z veliko vsebnostjo ogljika.

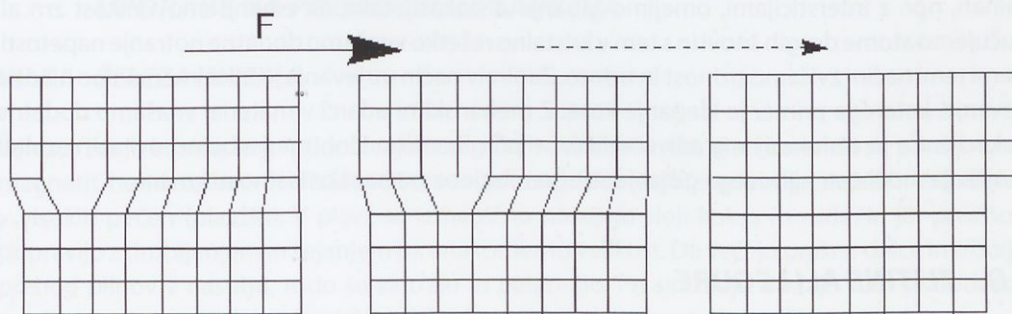


Slika 75: intersticijski atomi otežijo kristalni zdrs.



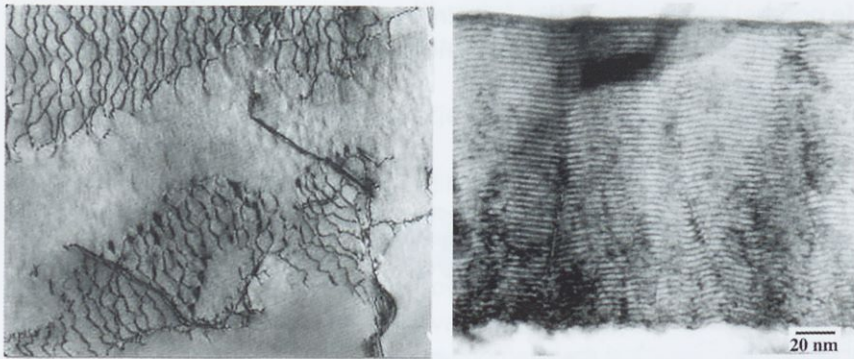
Slika 76: posnetki monokristala kadmija (Cd), narejeni z vrstičnim elektronskim mikroskopom. Na levi sliki je kristal, ki ni bil natezno obremenjen. Na srednji in desni sliki sta prikazani površini monokristala po natezni obremenitvi, pri manjši in večji povečavi. Lepo vidni robovi (raze) so nastali zaradi kristalnega zdrsa premaknjenih kristalnih ravnin. (http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/slip/slip_in_hcp4.php 7.12.2007, poslali smo prošnjo za dovoljenje za objavo in nismo prejeli negativnega odgovora)

Plastično preoblikovanje kovin lahko razložimo tudi z gibanjem dislokacij, kot je prikazano na sliki 77. Dislokacije se lahko lepo vidijo tudi na posnetkih, narejenih s presevnim (transmisijskim) elektronskim mikroskopom (TEM) (slika 78). Če bi možnost gibanja dislokacij omejili, bi s tem povečali tudi trdoto in krhkost kovine.



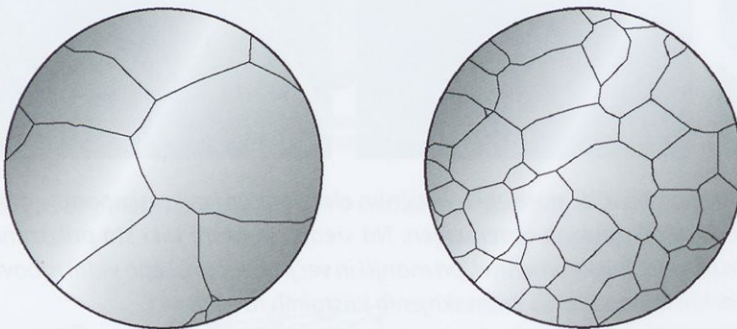
Slika 77: shematski prikaz plastičnega preoblikovanja kovin s premikom robne dislokacije pod vplivom delovanja zunanje sile.

Kovine so polikristalinični materiali in meje med zrni (posameznimi kristali) omejujejo gibanje dislokacij. To pomeni, da bo med dvema kovinskima materialoma popolnoma enake sestave bolj duktilni tisti z manjšimi zrni. Velikost zrn lahko uravnavamo, (npr. s temperaturnim režimom ohlajanja taline) in tako vplivamo na mehanske lastnosti kovine.



Slika 78: TEM posnetek dislokacij v zlitini (levo) ter visokoločljivostni TEM posnetek niobijevega nitrida NbN, z dislokacijami, ki so vidne kot vertikalne črte (desno).

(Desno: <http://www.tempe.mi.cnr.it/marchionni/tembige.htm> 7.12.2007, poslali smo prošnjo za dovoljenje za objavo in negativnega odgovora nismo prejeli; levo: <http://www.msd.anl.gov/personnel/pearson/research.php> 7.12.2007, objavljeno z dovoljenjem John Pearson, iz članka »R. M. Osgood, J. E. Pearson, C. H. Sowers and S. D. Bader, J. Appl. Phys. 84, (2), 940-944 (1998)«)



Slika 79: kovinski material z manjšimi zrni (desno) ima večjo trdnost, saj meje med zrni otežkočajo gibanje dislokacij.

(Slike je poslal in dovolil njihovo objavo Martin Tarr, Bolton University / AMI, The University of Bolton, UK.

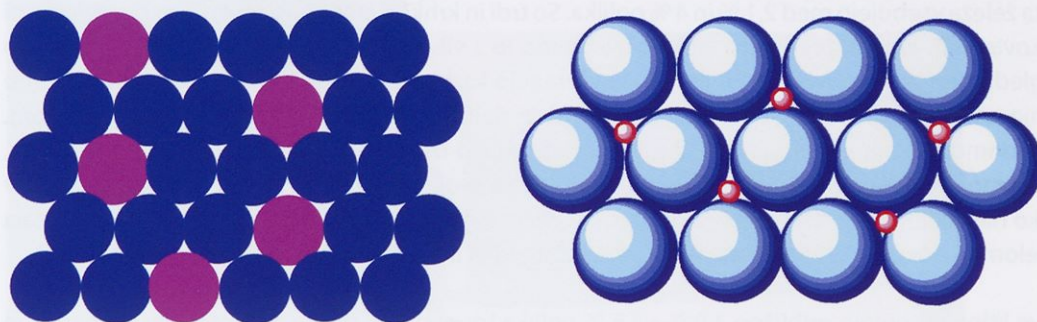
Če povzamemo, na mehanske lastnosti kovin lahko vplivamo tako, da omejimo zdrs po kristalnih ravninah, npr. z intersticijami, omejimo gibanje dislokacij, tako da zmanjšamo velikost zrn ali vključujemo atome drugih snovi in s tem v kristalno rešetko vnašamo dodatne notranje napetosti. Z vsemi temi načini zvišamo trdnost in trdoto. Zanimiv način utrjevanja je tako imenovano hladno utrjevanje, katerega primer je klepanje kose. Z mehanskimi udarci v material vnašamo dodatne dislokacije. Če je dislokacij v gradivu veliko, se pri gibanju prično medsebojno ovirati, rezultat zmanjšanja možnosti njihovega gibanja so spremenjene mehanske lastnosti kovine.

VII.D. ZLITINE ALI LEGURE

Zlitine so trdne raztopine (zmesi) dveh ali več vrst kovin ali kovin in nekovin. Izraz trdna raztopina razumemo tako, kot smo navajeni pri »običajnih«, tekočih raztopinah: pri le-teh je topljenec v trdnem agregatnem stanju, topilo pa v tekočem. Molekule (ali atomi) topljenca so v raztopini

popolnoma obdani z molekulami topila. Tudi pri trdnih raztopinah je raztopljena kovina obdana z atomi »topila«, vendar je v primeru zlitin trdna, kovinska snov (slika 80). Zlitina ima tudi kovinske lastnosti, a se njene lastnosti močno razlikujejo od lastnosti čistih kovin, ki tvorijo kovinsko zlitino.

Zlitini, pri kateri so atomi topila in topljenca približno enako veliki, pravimo substitucijska zlitina. Primer je medenina, ki je zlitina bakra in cinka. Atomi raztopljene snovi (nekovine) so lahko tudi bistveno manjši kot atomi osnovne kovine. Taki atomi zasedejo prazne prostore, intersticije, in dobimo intersticijsko zlitino. Značilen primer intersticijskih zlitin so jekla, ki so zlitine železa in ogljika.



Slika 80: shematski prikaz zgradbe substitucijske (levo) in intersticijske kovinske zlitine (desno). Modri krogi (slika levo) predstavljajo atome ene vrste kovine, ki je topilo, rožnati krogi so simbol za atome druge kovine, ki je topljenec. Na desni strani je prikazana intersticijska zlitina.

Zlitine imajo praviloma boljše mehanske lastnosti (npr. višjo natezno trdnost) kot čiste kovine. Zakaj je tako, smo že pojasnili v poglavju o povezavi mehanskih in drugih lastnosti kovin z napakami v kristalni strukturi. Zlitine bi namreč prav lahko obravnavali kot »kovino z napakami«. Npr. intersticijska zlitina je kovina z intersticijskimi stehiometrijskimi točkastimi napakami. Kristalni zdrs je zaradi intersticij otežkočen, posledica so drugačne mehanske lastnosti kot v primeru čiste kovine. Prav tako napake predstavljajo oviro za gibanje elektronov, ki se nahajajo v prevodnem pasu, to se pravi prostih, nevezanih elektronov v kovinski snovi. Zato zlitine slabše prevajajo električni tok kot čiste kovine, tudi njihova toplotna prevodnost je nižja.

Zlitine izdelujemo zato, da dobimo optimalne lastnosti materiala ob najnižjih stroških. Npr., čisto zlato je zelo mehko in ga ni mogoče predelati v nakit. Z dodatkom srebra, bakra ali drugih žlahtnih kovin, se lastnosti za obdelovanje optimizirajo za določen namen. Podobno je tudi čisto železo zaradi mehanskih lastnosti in nagnjenosti k rjavenju neuporabno za številne namene. Z dodatkom kroma in niklja dobimo odlično nerjavno jeklo, ki ima široko uporabnost.

VII.E. PREGLED NEKATERIH NAJPOMEMBNEJŠIH KOVIN IN NJIHOVE UPORABE NA PODROČJU LESARSTVA

VII.E.i. ŽELEZA IN JEKLA

Železo (Fe) je kovina, ki jo pridobivajo iz različnih železovih rud, med katerimi so pomembnejše magnetit, hematit, limonit ali siderit. Surovo železo pridobivajo z redukcijo oksidnih rud s koksom v visokih pečeh (plavžih). V plavž se izmenično nasujejo sloji koks in rude, ki jih predhodno pripravijo z drobljenjem in sejanjem na enakomerno velikost. Da vežejo prašne delce in izboljšajo prehod plinov v nasutju, rudo še sintrajo in peletirajo. Pri sintranju dodajo rudi še dodatke, ki tvorijo v procesu visoke peči z jalovino lahko taljive kalcij-aluminijeve silikate, žlindro.

Postopek pridobivanja železa iz rude navajamo zato, da bi razumeli, od kod ogljik v železu. Omenili smo že, da je od vsebnosti ogljika močno odvisno, kakšne so lastnosti železa ali jekla. Na

primer, iz kemijske enačbe, ki opisuje reakcijo redukcije železovega oksida (hematita), najlepše vidimo od kod ogljik v železu:



Surovo železo ali grodelj vsebuje veliko ogljika (več kot 3,5 %). Surovo železo je zelo krhko in direktno ni uporabno. Z različnimi nadaljnji postopki predelave surovega železa zmanjšajo vsebnost nečistoč in pridobivajo lito železo.

Lita železa vsebujejo med 2,1 % in 4 % ogljika. So trdi in krhki materiali. Ni jih možno preoblikovati s kovanjem, ampak predmete lahko oblikujemo le z vlivanjem v kalupe. Litine imenujemo po izgledu prelomne površine. Pri litinah, ki vsebujejo karbidne nečistoče, se razpoke pri prelomu širijo enostavno, naravnost in zlomna površina je dokaj gladka, s svetlečim, belkastim videzom. Govorimo o **belih litinah**. Pri litih železih, ki vsebujejo izločke v obliki čistega ogljika – grafitu, se razpoke pri lomu ne širijo enostavno, temveč na svoji poti velikokrat spreminjajo smer, prav tako nastajajo tudi nove manjše razpoke. Tak način širjenja razpok prispeva k temu, da je nastala prelomna površina hrapava, na videz »siva«. Zato taka lita železa imenujemo **sive litine**.

Sive litine vsebujejo približno 3,0 % - 3,5 % ogljika ter nad 1 % silicija. Kovini daje sivo barvo že omenjena hrapavost prelomnih površin ter seveda izločeni grafitni lističi. Siva litina je izredno neduktilna, ne moremo je plastično preoblikovati, pri hitrem segrevanju in ohlajevanju se lomi. V raztaljenem stanju je redko tekoča in dobro livna. Zato izdelujemo iz nje raznovrstne predmete tako, da ulivamo talino v peščene kalupe in jo nato počasi ohlajamo. To je najcenejša izdelava kovinskih predmetov, predvsem če imajo zahtevno obliko. Siva litina se uporablja za pokrove strojev, bloke motorjev, valjev kompresorjev, vztrajnike, osnovne plošče, ležaje, dizelske glave, zavorne bobne in diske, armature, ventile, črpalke... V gradbeništvu jo uporabljamo v izdelkih, kjer je potrebna visoka tlačna trdnost, lahka izdelava izdelkov ter sposobnost dušenja tresljajev. Pred uveljavitvijo jekel za konstrukcijske namene so iz sive litine izdelovali tudi konstrukcijske elemente.

Bela litina vsebuje med 2,5 % in 3,5 % ogljika in med 0,5 % in 1,5 % silicija. Bela litina je trda in krhka, zato se uporablja za izdelavo drsnih delov ležišč strojnih osi, kjer se zahteva visoka obrabna odpornost materiala.

Jeklo je, prav tako kot siva in bela litina, železova zlitina. Poleg železa je najpomembnejši zlitinski element v jeklu ogljik. Ogljika je relativno malo, z masnim deležem pod 2,1 %. Ogljikova jekla poleg ogljika vsebujejo še mangan, silicij in aluminij, v skupini legiranih jekel srečamo tudi krom, molibden in nikelj ter različne druge elemente. Jekla so v splošnem elastični materiali, z visoko natezno trdnostjo, a hkrati lahko dosežemo tudi njihovo visoko trdoto. Lastnosti jekel spreminjamo predvsem z legiranjem, s plastičnim preoblikovanjem v toplem in hladnem ter s toplotno obdelavo. Korozijsko obstojnost lahko prilagajamo najrazličnejšim zahtevam, prav tako tudi tehnološke lastnosti. Jeklo lahko oblikujemo v vročem z ulivanjem, kovanjem, valjanjem in stiskanjem; v hladnem z vlečenjem, stiskanjem, valjanjem, in z odrezovanjem.

Glede na kemično sestavo ločimo nelegirano jeklo (navadno ogljikovo jeklo in rafinirano ogljikovo jeklo), legirano jeklo (malo legirano jeklo in visoko legirano jeklo) ter avstenitno in feritno jeklo. Glede na vrsto uporabe ločimo različna konstrukcijska in orodna jekla.

Konstrukcijska jekla vsebujejo do 0,6% C, so mehka in žilava, dajo se dobro oblikovati. Poznamo konstrukcijska jekla za oblikovanje v hladnem, jekla za armiranje betona, jekla za tlačne namene, za ladijsko pločevino, za elektropločevino, ipd. Posebna konstrukcijska jekla so jekla za vzmeti (zlitine z Mn).

Orodna jekla uporabljamo za izdelavo orodij za obdelavo kovin in nekovin. Vsebujejo do 0,45% C. Takšno jeklo je zelo trdno in žilavo. Orodna jekla morajo biti trša od materiala, ki ga z njimi obdelujemo.

Posebna jekla imajo posebne mehanske, fizikalne in kemijske lastnosti. To so npr. jekla, ki so zelo odporna proti obrabi, legirana z W, Mn, V, Co ali npr. jekla za trajne magnete.

Jekla srečamo tudi v izdelkih pohištvene industrije (slika 81, ogrodja za mize, stole, vzmetna jekla). V lesarstvu so seveda nepogrešljiv material za razne stroje in orodja.



Slika 81: stol z jeklenim ogrodjem (levo) in jeklene vzmeti v vzmetnici (desno).

Različna jekla (in druge kovinske materiale) uporabljamo v lesni in pohištveni industriji tudi za izdelavo različnih okovij, kljuk, vodil, ipd. (slika 82).



Slika 82: primer kovinskih izdelkov za pohištveno industrijo.

VII.E.ii. ALUMINIJ IN ALUMINIJEVE ZLITINE

Za čisti aluminij (Al) je značilna zelo nizka gostota – $2,7 \text{ g/cm}^3$, kar pomeni, da je aluminij lahka kovina. Aluminij je dobro odporen proti koroziji, saj se na površini ustvari tanka, neprepustna plast aluminijevega oksida. Za čist aluminij je značilna nizka trdnost, kar lahko popravimo s tvorbo zlitin in sicer z bakrom (Cu), silicijem (Si), manganom (Mn) ali magnezijem (Mg). Aluminij ima odlično električno in toplotno prevodnost.

Aluminij je po uporabi na svetu najbolj razširjena barvna kovina. Aluminij v čisti obliki uporabljamo le takrat, ko je njegova odpornost proti koroziji pomembnejša od trdnosti ali trdote. Sicer pa v glavnem uporabljamo aluminijeve zlitine. Aluminij in njegove zlitine uporabljamo za izdelavo delov vozil in letal, kot material za pakiranje (konzerve, folije), v konstrukcijske namene (okna,

vrata), v gospodinjstvu za razne posode, aluminij v prahu srečamo kot pigment v premazih s kovinskim izgledom, ipd.



Slika 83: kombinacija lesa in aluminija pri oknu.

VII.E.iii. BAKER IN ZLITINE BAKRA

Čisti baker (Cu) ima odlično toplotno in električno prevodnost in dobro preoblikovalnost. Za baker je značilna dobra odpornost proti koroziji. Podobno kot pri aluminiju nastane na površini zaščitna plast oksida. Na starih bakrenih izdelkih na prostem nastane patina – zelena zaščitna plast bakrovega hidroksida karbonata, ki nastane pri reakciji bakra z zrakom. Čisti baker je enostaven za obdelavo, ima nizko natezno trdnost. Tako kot pri aluminiju, so tudi pri bakru velikega tehničnega pomena različne bakrove zlitine, za katere so v primerjavi s čistim bakrom značilne predvsem izboljšane mehanske lastnosti. Čisti baker uporabljamo za različne cevi, zaradi odlične električne prevodnosti ga uporabljamo za izdelavo električnih vodnikov, v gradbeništvu bakrovo pločevino uporabljamo kot material za strešne kritine ter za obloge vrat in držala na vratih, za različne posode, kovance, nakit, ipd.



Slika 84: nekateri pomožni pohištveni elementi iz bakra.

(<http://www.midural.ru/ek.en/dbo.enterprise/98/prod2.jpg> 9.12.2007, poslali smo prošnjo za dovoljenje za objavo fotografije, a negativnega odgovora ni bilo)

Zlitine bakra (Cu) s cinkom (Zn) se imenujejo medi oz. medenine. Le-te imajo glede na sestavo različno namembnost. Poznamo enostavne medenine ter večkomponentne medenine, ki poleg cinka vsebujejo še ostale elemente kot so mangan, aluminij, železo in nikelj. Medenine, ki vsebujejo več kot 80 % bakra, so primerne za gnetenje v hladnem. Če vsebujejo več kot

67 % Cu so uporabne za litje, v sestavi 60 % Cu / 40 % Zn jih uporabljamo v arhitekturne namene. Medenino uporabljamo za instalacijski material, za grla žarnic, tulce za naboje, za razne okrasne predmete, v lesarstvu za vijake, kovice ali okensko in vratno okovje.



Slika 85: medeninasto pohištveno ogrodje (levo) in vratna kljuka (desno).

(Levo: <http://www.thefurniture.com/store/CSTR-2539.htm> 9.12.07, poslali smo prošnjo za objavo in negativnega odgovora ni bilo; desno: foto F. Budija)

Broni so zgodovinsko gledano najstarejše umetno pridobljene zlitine. Broni so zlitine bakra z drugimi kovinami, ne s Zn. Zlitine s kositrom (Sn) so kositrovi bron ali bronze. Kositrovi bron imajo visoko trdnost in korozijsko odpornost, saj se na njihovi površini naredi, podobno kot pri aluminiju in bakru, zaščitna oksidna plast. Aluminijeve brone prav tako odlikujeta visoka trdnost in korozijska odpornost. Berilijeve brone uporabljamo za ležajne zlitine, proti koroziji odporne vzmeti. Najbolj znani so kot material za orodja, ki ne iskrijo.



Slika 86: bronaste kljuke za okna in vrata.

(<http://www.allart.co.uk/bronze.html> 9.12.2007, dovoljenje za objavo poslal Stephen Hale, objavljeno z dovoljenjem Frank Allart & Co Ltd., Birmingham, UK, www.allart.co.uk)

VII.E.iv. CINK IN CINKOVE ZLITINE

Tudi cink se na zraku prevleče s tanko plastjo cinkovega oksida ali bazičnega cinkovega karbonata. Zaradi te značilnosti ga pogosto uporabljajo za zaščito površin železa in jekla s cinkanjem. Uporabljajo ga lahko tudi kot konstrukcijski material, za tiskarske plošče in anodne galvanske elektrolite ter galvanske člene. Na sliki 87 je prikazan zanimiv primer pohištva, pri katerem kot material prevladuje cink.



Slika 87: pohištveni element s cinkom kot prevladujočim materialom.

(Foto: Tara Bradford, http://parisparfait.typepad.com/paris_parfait/2007/06/index.html junij 2007, objavljeno z dovoljenjem T. Bradford, Pariz, Francija)

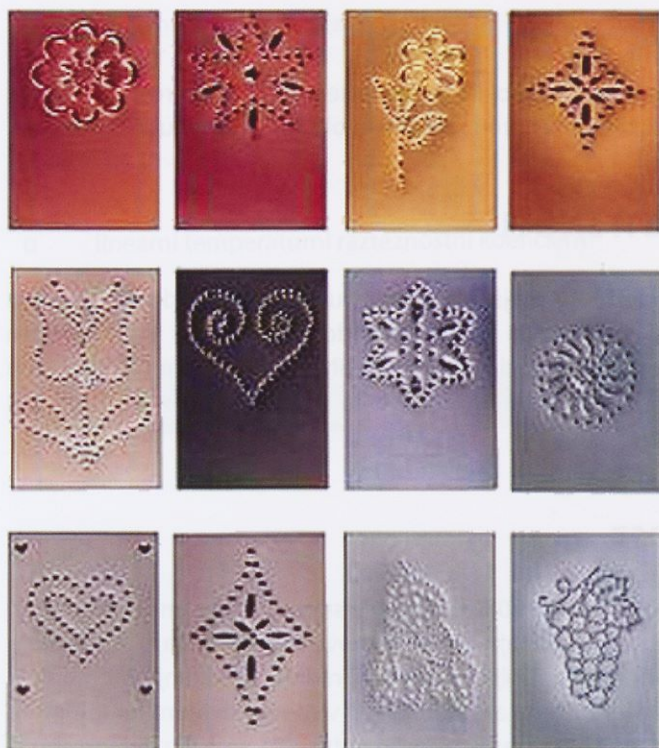
Vendar moramo biti pri kombiniranju cinka ali pocinkanih elementov z lesom zelo previdni. Les in lesni izdelki vsebujejo kisline, tanine, fenolna lepila, ki lahko povzročijo nastanek madežev in celo korozijo (preglednica 8). Prav tako cinkovi izdelki praviloma niso kompatibilni z OSB ploščami.

Preglednica 8: kompatibilnost oz. nekompatibilnost cinka z lesom
(<http://products.construction.com/> 9.12.2007)

Kompatibilno	Nekompatibilno
Bor	Macesen
Smreka	Hrast
Topol	Kostanj
	Duglazija

VII.E.v. KOSITER

Kositer zaradi korozijske odpornosti uporabljajo za površinsko zaščito železnih ter jeklenih predmetov. Zaradi odpornosti pred šibkimi kislinami (npr. citronsko kislino) ga uporabljajo za zaščito pločevink (pločevinke za hrano in pijačo). Za manj obremenjene ležaje so primerne kositrove ležajne zlitine. Pri proizvodnji stekla je poznan postopek "plavajočega" stekla. Na staljenem kositru plava tanka plast staljenega stekla – ko nižamo temperaturo, se steklo strdi, površina, ki je bila v stiku s kositrom, pa je zelo gladka. Kot posebnost naj omenimo, da so kositrove plošče z reliefnimi okrasnimi elementi ponekod uporabljali tudi kot pohištveni elementi, ki naj bi imeli poleg estetske tudi zaščitno funkcijo: les naj bi ščitili pred napadom insektov (slika 88).



Slika 88: okrasne kositrove plošče za dekoracijo pohištva.

(<http://www.oldhouseweb.com/product-showcase/kitchen-cabinets-pierced-tin.shtml> 9.12.2007, objavljeno z dovoljenjem Theresa Sullivan, Pierced Tin Design Ltd. by Country Accents, Williamsport, Pennsylvania, ZDA, www.piercedtin.com)

VII.E.vi. NIKELJ

Nikelj je trda in duktilna kovina. Zaradi odpornosti proti oksidaciji se uporablja za nikljanje površin, npr. medenine ali železa. Veliko niklja uporabljamo v zlitinah z železom (Fe) (nikljevo jeklo), z bakrom (Cu) in s srebrom (Ag).

Nikljeve zlitine glede na namen uporabe delimo na konstrukcijske zlitine, zlitine za elektrotehniko, zlitine s posebnimi fizikalnimi in kemičnimi lastnostmi (monelova zlitina za uporabo v kemični industriji), temperaturno odporne zlitine ter zlitine z oblikovnim spominom. Le-te imajo lastnost, da se lahko ob primernem temperaturnem ciklu vrnejo v predhodno definirano obliko.



Slika 89: ponikljana kovinska postelja.

(<http://www.furniturelandssouth.com/zoom.pl?manuf=547315&manufline=0&product=103-H67P> 9.12.2007, poslali smo prošnjo za dovoljenje za objavo in negativnega odgovora nismo prejeli)

VII.E.vii. KROM

Kovinski krom uporabljajo za legiranje jekel ter za kovinske prevleke, ker se krom prevleče s tanko, trdno plastjo kromovega(III) oksida. Zaščita jekel pred korozijo in obrabo se imenuje kromiranje.

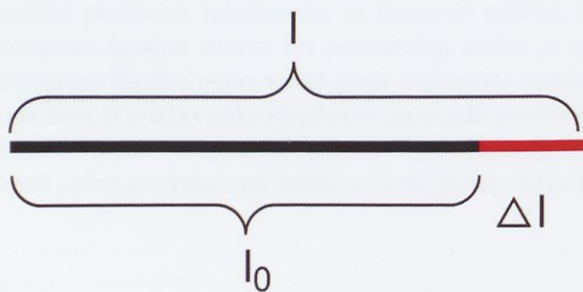
VIII. TOPLOTNE LASTNOSTI SNOVI

Za kovine, ki so bile podrobneje obdelane v prejšnjem poglavju, sta značilni dobra toplotna prevodnost in razteznost. Keramični materiali in stekla, ki bodo obravnavani v naslednjem poglavju, pa le slabo prevajajo toploto. Zato je poglavje o nekaterih najpomembnejših toplotnih lastnostih umeščeno med obravnavo kovin in keramike. Seveda so toplotne lastnosti splošna značilnost, ki velja prav za vse materiale.

VIII.A. TOPLOTNA RAZTEZNOST

Le pri temperaturi termodinamske ničle, to je pri 0 K, gradniki v snovi popolnoma mirujejo. Pri vseh temperaturah nad 0 K gradniki v snovi nihajo okrog ravnovesnega položaja. Z višanjem temperature postajajo termična nihanja vedno bolj intenzivna. Gradniki za nihanje potrebujejo prostor. To pomeni, da se razdalje med ioni, atomi ali molekulami v snovi z dvigom temperature povečajo. Navzven to opazimo tako, da se z višanjem temperature snovi širijo. Nasprotno, s padanjem temperature se bo snov krčila. Omenjeno pravilo velja za večino snovi, a poznamo tudi nekaj izjem. Najbolj znana izjema je pojav, ki ga poznamo pod pojmom »anomalija vode«. Tekoča voda ima namreč največjo gostoto pri 4 °C in ne pri temperaturi ledišča, to je pri 0 °C. Tako ima led nižjo gostoto od tekoče vode pri temperaturah tik nad lediščem, kar ima za posledico različne neprijetne pojave v našem vsakdanjem življenju (pokanje vodovodne napeljave, v kateri je zmrznila voda, propad cestišč zaradi zmrzali ipd.) Vrnimo se sedaj k »normalnim snovem«. Ko temperaturo dvigujemo še naprej, se pri določeni temperaturi zgodi, da so termična nihanja tako močna, da premagajo sile, ki držijo gradnike v ravnovesnih položajih. To se zgodi pri temperaturi tališča, iz trdnega agregatnega stanja preide snov v tekoče stanje. Z nadaljnjim višanjem temperature se širi tudi kapljevina, dokler ni temperatura že tako velika, da atomi ali molekule lahko »zapustijo« tekočino. Snov pri temperaturi vrelišča preide v plinasto agregatno stanje.

Za koliko bo neka snov pod vplivom spremembe temperature spremenila svoje dimenzije, govorita linearni in volumski temperaturni razteznostni koeficient. Na sliki 90 je shematsko prikazana linearna razteznost materiala pod vplivom segrevanja. Palica začetne dolžine l_0 se zaradi segrevanja razširi za Δl . Velikost raztezka (ali skrčka pri ohlajanju) je odvisna od spremembe temperature ΔT in od linearnega temperaturnega razteznostnega koeficienta α . Za linearni temperaturni razteznostni koeficient srečamo v literaturi tudi izraze »temperaturni razteznostni koeficient«, »linearni toplotni razteznostni koeficient«, »toplotni razteznostni koeficient«, včasih v enakem smislu tudi »(linearna) temperaturna razteznost« ali »(linearna) toplotna razteznost«:



Slika 90: toplotna razteznost snovi v eni dimenziji.

ϵ	linearni relativni raztezek	$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$	/
ΔT	razlika temperatur	$\Delta T = (T_2 - T_1)$	[K]
α	linearni temperaturni razteznostni koeficient	$\frac{\Delta l}{l_0} = \alpha \cdot \Delta T$	[K ⁻¹]

Linearni temperaturni razteznostni koeficient je snovna lastnost. V splošnem imajo veliko toplotno razteznost polimerni materiali in kovine, nizko keramika in steklo (preglednica 9).

Preglednica 9: linearni temperaturni razteznostni koeficienti nekaterih materialov

Material	α [K ⁻¹]
Polipropilen	(145-180) x 10 ⁻⁶
Polistiren	(90-150) x 10 ⁻⁶
Živo srebro	60 x 10 ⁻⁶
Svinec	29 x 10 ⁻⁶
Aluminij	23 x 10 ⁻⁶
Medenina	19 x 10 ⁻⁶
Nerjavno jeklo	17,3 x 10 ⁻⁶
Beton	12 x 10 ⁻⁶
Opeka	9 x 10 ⁻⁶
Običajno steklo	8,5 x 10 ⁻⁶
Pyrex steklo	3,3 x 10 ⁻⁶
Elektronska keramika	2 x 10 ⁻⁶
Diamant	1 x 10 ⁻⁶
Hrastov les (vzdolžno)*	54 x 10 ⁻⁶
Hrastov les (pravokotno)*	5 x 10 ⁻⁶
Borov les (vzdolžno)*	34 x 10 ⁻⁶
Borov les (pravokotno)*	5 x 10 ⁻⁶

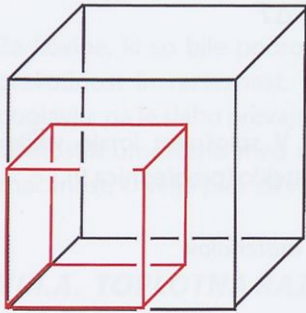
* glede na smer lesnih vlaken

Poznavanje toplotne razteznosti materialov je zelo pomembno. Npr., med železniškimi tračnicami morajo biti reže, ki zagotavljajo dovolj prostora za raztezanje tračnic poleti. Od tod značilen drdrajoč zvok med vožnjo z vlakom. Seveda so pri vseh sodobnih železniških tirih tračnice zvarjene, za večje udobje med vožnjo. Material za zware se mora prilagajati širjenju in krčenju tračnic zaradi temperaturnih sprememb. Zaradi toplotne razteznosti morajo imeti vsi cestni mostovi, viadukti, ipd. dilatacijske reže. Toplotno razteznost morajo gradbeniki upoštevati tudi pri načrtovanju stebrov visokih viaduktov: zaradi razlik v segrevanju betona na osončeni in osončeni strani se material na obeh straneh različno širi, posledica je lahko pri visokih stebrih kar znaten upogib v smeri proti severu.

Posebej previdni moramo biti, ko kombiniramo različne materiale, še posebej če so razlike v toplotnih razteznostnih koeficientih velike. Pri kombiniranju stekla in kovine moramo kovinam pustiti dovolj prostora za gibanje. Če je zveza preveč trdna, bi lahko prišlo do porušitve stekla. V kuhinjah s pulti iz mineralno-kompozitnih materialov (kot je npr. material s komercialnim imenom Kerrock) moramo pri spoju z grelno ploščo pustiti dovolj široko dilatacijsko režo. Prav tako je poznavanje toplotne razteznosti materialov pomembno pri površinski obdelavi lesa: če se toplotna

razteznost lesa preveč razlikuje od toplotne razteznosti utrjenega površinskega filma, lahko zaradi notranjih napetosti, ki se v filmu vzpostavijo zaradi temperaturnih sprememb, le-ta razpoka.

Podobno kot je definiran linearni temperaturni razteznostni koeficient, sta definirana tudi površinski in volumski razteznostni koeficient. Pri površinskem razteznostnem koeficientu opazujemo spremembo velikosti površine (ploščine), pri volumskem pa prostornine telesa (slika 91).



Slika 91: volumska razteznost materiala.

$$\beta \quad \text{volumski temperaturni razteznostni koeficient} \quad \frac{\Delta V}{V_0} = \beta \cdot \Delta T \quad [\text{K}^{-1}]$$

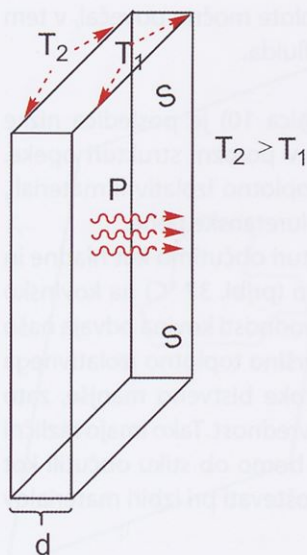
$$\text{Za izotropne materiale velja približna zveza:} \quad \beta = 3 \times \alpha$$

Toplotno razteznost materialov tudi koristno izrabljamo: zelo znan primer je živosrebrov termometer. Če spojimo dve različni kovini, dobimo bimetal, ki se v odvisnosti od temperaturne spremembe krivi, oz. njihovo spremembo temperature pretvorimo v mehanski premik.

VIII.B. TOPLOTNA PREVODNOST

Prevajanje toplote (kondukcija) je spontan prenos toplote z mesta z višjo temperaturo na mesto z nižjo temperaturo. Ko se temperaturi mest izenačita, prevajanje preneha. Znotraj trdne snovi lahko prevajanje toplote (energije) razumemo kot širjenje termičnih vibracij gradnikov. Na delih z visoko temperaturo so toplotna nihanja velika in na mestih z nizko temperaturo manj intenzivna. Zaradi temperaturnega gradienta se termične vibracije širijo proti delom, kjer so le-te manjše, po snovi steče toplotni tok. Sorazmernostna konstanta med gostoto toplotnega toka in temperaturnim gradientom se imenuje toplotna prevodnost λ (slika 92). Recipročna vrednost toplotne prevodnosti se imenuje toplotna upornost.

P	koliko toplote steče v časovni enoti med dvema telesoma, ki sta v toplotnem stiku	$P = \frac{dQ}{dt}$	$\left[\frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{s}} = \frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{W} \right]$
j	Gostota toplotnega toka je fizikalna količina, ki pove, koliko toplote na enoto površine preteče v časovni enoti med dvema telesoma v toplotnem stiku, oziroma kolikšen je toplotni tok P na enoto površine	$j = \frac{dP}{dS}$	$\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$
S	velikost površine (ploščina)		$[\text{m}^2]$
ΔT	razlika temperatur	$\Delta T = (T_2 - T_1)$	$[\text{K}]$
d	debelina plošče		$[\text{m}]$
λ	toplotna prevodnost	$j = \lambda \cdot \frac{\Delta T}{d}$ oz.	$[\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}]$
		$P = \lambda \cdot \frac{S}{d} \cdot (T_2 - T_1)$	



Slika 92: prevajanje toplote (kondukcija) znotraj snovi, med površinama, ki imata različni temperaturi.

Toplotna prevodnost je snovna konstanta, odvisna od vrste snovi in njene notranje zgradbe. Odlično toplotno prevodnost izkazujejo kovine, slabo keramika. Plini so odlični toplotni izolatorji (preglednica 10). Naj opozorimo, da se podatki o toplotni prevodnosti za enake snovi, ki jih najdemo v različnih virih, med seboj lahko rahlo razlikujejo.

Preglednica 10: toplotna prevodnost nekaterih snovi (W/mK)

Snov	Toplotna prevodnost [W/mK]
Zrak	0,025
Volna, tkana	0,06
Guma	0,16
Žveplov dioksid	0,199
Les (bor, pravokotno)*	0,14
Les (bor, vzdolžno)*	0,28
Opeka	0,46
Voda	0,60
Steklo	0,76
Beton	1,1
Marmor	2,8
Železo, čisto	67
Aluminij	229
Srebro	417

* glede na smer lesnih vlaken

Prevodnost kovin je odvisna od gibljivosti elektronov v kovini. Elektroni se odbijajo in uklanjajo na nepravilnostih strukture. Povišana temperatura vpliva na večje število napak (npr. v kristalni zgradbi) in povečuje toplotna nihanja atomov. Zato z naraščanjem temperature toplotna prevodnost (tako kot tudi električna prevodnost) kovinskih materialov pada. Tudi primesi (atomi topljenca) v trdnih raztopinah – zlitinah povzročajo lokalne nepravilnosti v kristalni zgradbi. Zlitine imajo nižjo toplotno prevodnost kot čiste kovine. Tudi število dislokacij v snovi zmanjšuje toplotno prevodnost. Keramika ima nižjo toplotno prevodnost kot kovine, zato ker se toplota prevaja samo s termičnim nihanjem, saj elektroni v keramiki niso prosti. Kot je razvidno iz preglednice 10, imajo najnižjo toplotno prevodnost plini. A velja opozoriti, da se to nanaša le

na pline v mirovanju. Če bi se plinaste mase gibale, bi se prenos toplote močno povečal, v tem primeru govorimo o konvekciji: toploto prenašajo gibajoče se mase fluida.

Nizka toplotna prevodnost volne ter tudi lesa in opeke (preglednica 10) je posledica nizke toplotne prevodnosti zraka, ki je ujet med vlakni volne, v lesu ali v porozni strukturi opeke. To je tudi osnovni princip, na osnovi katerega so izdelani različni toplotno izolativni materiali, večinoma v obliki pen. Primera: spenjen polistiren (»stiropor«) ali poliuretanske pene.

Sedaj lahko tudi razumemo, zakaj nekatere snovi pri sobni temperaturi občutimo kot hladne in nekatere druge kot tople. Ko pritisnemo roko s telesno temperaturo (pribl. 37 °C) na kovinsko površino pri sobni temperaturi, npr. 25 °C, zaradi dobre toplotne prevodnosti kovina odvaja našo telesno toploto, kar občutimo kot hladno. Če roko položimo na površino toplotno izolativnega materiala, npr. poliuretanske pene, bo odvajanje toplote z naše roke bistveno manjše, zato površine ne občutimo kot hladne. Pojav ima pomembno aplikativno vrednost. Tako imajo različni površinski premazi za les različne toplotne prevodnosti – nekatere bomo ob stiku občutili kot hladnejše, druge kot toplejše. Tudi ta vidik bi bilo verjetno dobro upoštevati pri izbiri materialov za izdelavo pohištva, s ciljem maksimalne ugodnosti za uporabnika.

Vendar razmerja vedno niso tako zelo preprosta. Tako nam ob dotiku da vtis hladnega materiala tudi steklo, katerega toplotna prevodnost je bistveno nižja od toplotne prevodnosti kovine. Za občutek toplote ali hladu, ki nam ga daje poljubni predmet ob dotiku, je v ravno tolikšni meri kot toplotna prevodnost materiala, iz katerega je narejen predmet, odločilen tudi stik med predmetom in našo kožo. Kosmat papir vzbudi večji občutek toplote kot papir z zelo gladko površino. Med vlakna kosmatega papirja je namreč ujet zrak, ki je dober izolator, tako da se efektivna toplotna prevodnost takega papirja v primerjavi z gladkim zmanjša. Verjetno je za naš občutek pomembna tudi temperatura, ki jo ima naš prst po stiku z materialom ali še bolj verjetno, sprememba temperature, ki jo ima konica prsta pred dotikom snovi in po njem. Primerjamo torej temperaturo, ki jo vzdržuje na naši koži zrak v prostoru in tisto, ki jo ima koža po stiku z drugim predmetom.

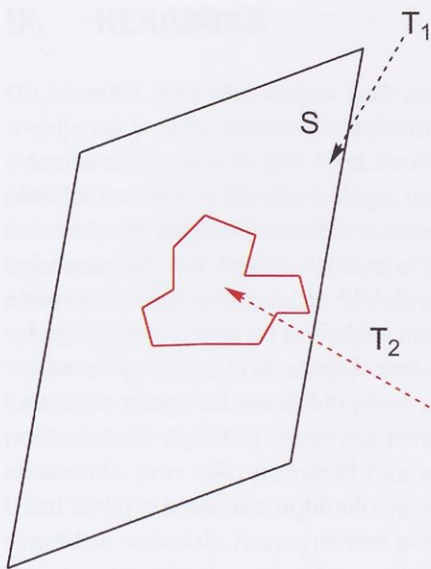
VIII.C. TOPLOTNA PRESTOPNOST

Prenos toplote med fluidom (plinom ali tekočino) in površino trdne snovi imenujemo prestop toplote. Toplotni tok, ki prestopa, izračunamo po Newtonovem zakonu prestopa toplote.

P	Toplotni tok	$P = \frac{dQ}{dt}$	$\left[\frac{N \cdot m}{s} = \frac{J}{s} = W \right]$
S	velikost površine (ploščina)		$[m^2]$
ΔT	razlika temperatur	$\Delta T = (T_2 - T_1)$	[K]
α	toplotna prestopnost	$P = \alpha \cdot S \cdot \Delta T$	$Wm^{-2}K^{-1}$

Namesto najbolj običajnega izraza, toplotna prestopnost, včasih uporabljamo tudi izraza »koeficient toplotne prestopnosti« ali »koeficient toplotnega prestopa«. Simbol α včasih zamenjajo s simbolom »h«.

Toplotna prestopnost α je v splošnem odvisna od fizikalnih lastnosti fluida (plina ali tekočine), ki je v stiku s steno (toplotne prevodnosti, gostote, toplotne kapacitete), od hitrostnih razmer pri gibanju ob trdni površini, od tlaka in temperature fluida, od materiala stene in oblike površine, od hrapavosti, itd. Toplotna prestopnost je večinoma le izkustvena vrednost in jo lahko izračunamo samo v nekaterih preprostih primerih. Pri plinih vrednosti toplotne prestopnosti znašajo od 14 W/m^2K - 40 W/m^2K . Recipročno vrednost toplotne prestopnosti imenujemo toplotna prestopna upornost.



Slika 93: prestop toplote s plinaste faze na površino trdne snovi.

VIII.D. TOPLOTNA PREHODNOST

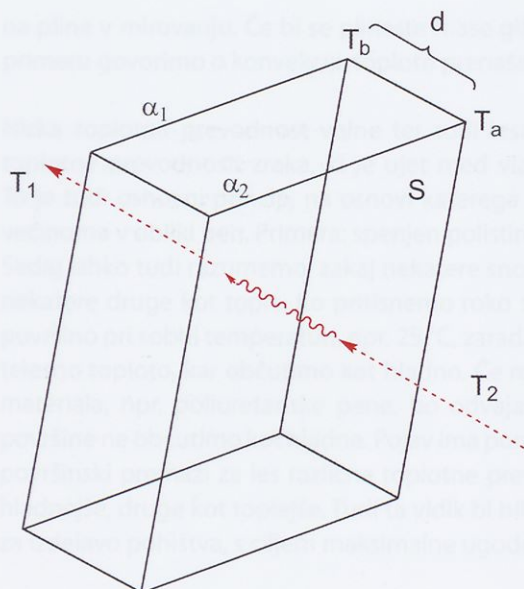
Toplotna prehodnost nam pove, kolikšen je skupni toplotni tok (prehod toplote) preko enote površine (npr. 1 m²) preko neke strukture ali izdelka (npr. iz toplega prostora preko zidane stene na prosto ali iz toplega prostora preko okna v hladnejšo zunanost). Dobro toplotno izolirani deli stavb imajo nizke vrednosti toplotne prehodnosti. Tudi za toplotno prehodnost se v literaturi pojavljajo alternativni izrazi kot sta »koeficient toplotnega prehoda« ali »koeficient toplotne prehodnosti«. Simboli, s katerimi označujemo toplotno prehodnost, so »K«, »k«, v gradbeništvu zelo pogosto tudi »u«.

$$k \text{ toplotna prehodnost} \quad P = k \cdot S \cdot \Delta T \quad [\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}]$$

Nekaj značilnih vrednosti toplotnih prehodnosti je navedenih v preglednici 11.

Preglednica 11: toplotna prehodnost nekaterih konstrukcijskih elementov in različnih izdelkov

Snov	Toplotna prehodnost [W/m ² K]
Dobro toplotno izolirana streha	0,15
Slabo toplotno izolirana streha	1,0
Slabo izolirana stena	1,5
Dobro izolirana stena	0,25
Okno brez nizkoemisivnega nanosa, dvojna zasteklitev, z zrakom v vmesnem prostoru	2,7
Okno z nizkoemisivnim nanosom, trojna zasteklitev, v vmesnih prostorih (8 mm + 8 mm) je plin argon	1,6



Slika 94: prehod toplote.

Prehod toplote preko nekega konstrukcijskega elementa je razložen na sliki 94. Zamislimo si primer prostora, v katerem je temperatura zraka T_2 in ki je ločen od hladnejše zunanosti, z nižjo temperaturo T_1 , s stekleno ploščo debeline d in ploščine S . Stekel bo toplotni tok in sicer najprej s konvekcijo ter tudi s sevanjem proti notranji površini plošče, ki ima nekoliko nižjo temperaturo, T_a . Toplota nato prestopi na stekleno steno (toplotna prestopnost α_2). S procesom prevoda toplote teče toplotni tok znotraj plošče (toplotna prevodnost λ) proti zunanji steni, ki ima še nekoliko nižjo temperaturo, T_b . Sledi prestop toplote z zunanje stene na hladnejši zrak, ki je v stiku s ploščo (toplotna prestopnost α_1). Na koncu, ob plošči na zunanji strani toplotni tok teče še naprej, s procesoma konvekcije in sevanja (radiacije). Toplotna prehodnost torej združuje vse oblike prenosa toplote: prevod, konvekcijo in sevanje.

Če poznamo vrednosti toplotne prestopnosti in prevodnosti, lahko toplotno prehodnost tudi izračunamo:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{S}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}$$

V lesarstvu je razumevanje in poznavanje toplotne prehodnosti še posebej pomembno. Eden najpomembnejših proizvodov lesnopredelovalne industrije je stavbno pohištvo in toplotna prehodnost nam pove, kakšna je toplotna izolativnost oken in vrat. Najbolj običajno izolacijsko okno ima dve šipi debeline 4 mm, ki sta med seboj razmaknjeni od 8 mm do 16 mm. Prostor med stekloma je na robovih nepredušno zaprt. Prehod toplote skozi takšen sistem je naslednji: steklo je razmeroma dober prevodnik toplote, zato se toplota hitro prenese skozi steklo s tople površine na hladno, kjer se začne prostor med obema stekloma. Steklo ima tudi dobre sevalne lastnosti, zato se prehod toplote nadaljuje s sevanjem med šipama. Približno 2/3 toplote se prenese s sevanjem in 1/3 s konvekcijo, torej s kroženjem zraka v prostoru med šipama. Sledi zopet prestop na drugo steklo, prevod toplote skozi drugo šipo ter oddajanje s sevanjem v hladen zunanji zrak. Da bi izboljšali toplotne lastnosti okna, je bilo potrebno najprej zmanjšati sevanje, ki povzroča največji del toplotnih izgub. Sevanje je možno preprečiti s toplotno zaščitnim nanosom zelo tanke plasti materiala, ki preprečuje emisijo toplote in čim manj ovira prehod svetlobe. Tako je uspelo znižati toplotno prehodnost U oz. k od 3 W/m^2K pri navadnem izolacijskem oknu, na 1,4 W/m^2K . Izgube s konvekcijo zmanjšamo tako, da namesto z zrakom, prostor med obema stekloma napolnimo z inertnim plinom (npr. argonom, kriptonom ali ksenonom). Zasteklitvi, ki ima v prostoru med stekli argon, se toplotna prehodnost zniža še za 0,3 W/m^2K . Dobimo standardno izolacijsko zasteklitev z nizko emisijskimi nanosi, ki ima koeficient toplotne prehodnosti 1,1 W/m^2K . Sodobna energijsko varčna okna morajo imeti glede na Pravilnik o toplotni zaščiti in učinkoviti rabe energije v stavbah toplotno prehodnost $k < 1,6 W/m^2K$ (skupaj za okvir in steklo).

IX. KERAMIKA

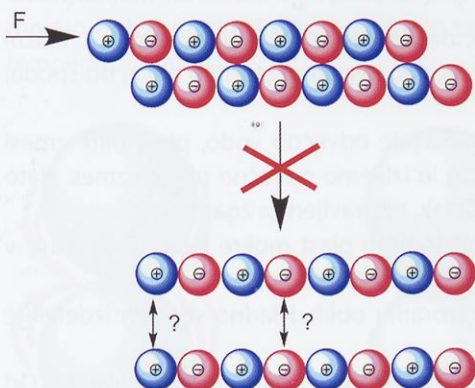
Ob besedici keramika večina ljudi pomisli na keramične izdelke, s katerimi se vsakodnevno srečujemo v naših domovih: različno keramično in porcelansko posodje, keramične izdelke v sanitarnih prostorih, ipd. Med strukturno keramiko štejemo še gradbeno in strešno opeko, ploščice za talne in stenske obloge, itd. V resnici je keramika še mnogo več: sodobno tehnično, inženirsko in visokotemperaturno keramiko srečamo npr. v avtomobilskih motorjih z notranjim izgorevanjem, kot nosilec katalizatorske Pt v katalizatorjih za čiščenje avtomobilskih izpušnih plinov ali za toplotno izolacijo. Sodobni keramični materiali so omogočili razvoj vesoljske tehnike: vesoljska plovila, ki se po opravljeni nalogi vrnejo na Zemljo, so obložena s keramiko, ki zdrži zelo visoke temperature, ki se razvijejo zaradi trenja z ozračjem pri pristajanju. Gotovo se še spomnimo katastrofe enega od vesoljskih plovil pred leti. Ugotovili so, da je prišlo do nesreče prav zaradi poškodovane toplotno izolativne keramične obloge. Keramika je kot material nepogrešljiva v elektroniki, prav tako poznamo biomedicinsko keramiko, npr. za kostne ali zobne implantate. Uvod lahko sklenemo z ugotovitvijo, da sodi sodobna tehnična keramika med najnaprednejše sintetične materiale. Razvoj na tem področju še vedno intenzivno poteka.

Ker v kombinaciji z lesom srečamo relativno malo keramičnih materialov, večinoma prav iz razreda sanitarne keramike, je temu primeren tudi obseg poglavja o keramiki v tem učbeniku. Podane so le bistvene osnove. Sicer je v lesnopredelovalni industriji keramika pomembna tudi kot material za različna orodja (npr. razna rezila ali v obliki keramičnih oblog na orodjih, za izboljšanje njihove odpornosti proti obrabi). Keramične materiale srečamo tudi v obliki abrazivnih zrn na fleksibilnih sredstvih za brušenje.

Beseda keramika ima svoj vir v grški besedi »keramikos«, kar pomeni »žgana snov«. Keramiko lahko definiramo kot anorgansko, nekovinsko trdno snov, ki jo izdelujemo pri zelo visokih temperaturah. Kovinski in nekovinski ioni ali atomi so med seboj povezani z močnimi kovalentnimi ali ionskimi vezmi. Keramika je praviloma inertna, odporna proti različnim jedkim tekočinam, kot so npr. raztopine kislin in baz. Kemijsko gledano so po sestavi keramični materiali bodisi čiste snovi, bodisi zmesi. Keramika je običajno polikristaliničen material. V širšem pomenu besede bi lahko med keramične materiale šteli tudi stekla in cementne (betonske) izdelke. V ožjem pomenu s keramiko označujemo polikristalinične sintrane nekovinske snovi. Tako jih obravnavamo tudi v tem učbeniku.

IX.A. POVEZAVA LASTNOSTI KERAMIČNIH MATERIALOV Z NJIHOVO SUBMIKROSKOPSKO ZGRADBO

Bistvena submikroskopska lastnost keramike so močne, kovalentne in ionske vezi, ki povezujejo gradnike. Direktna posledica tega dejstva so visoka tališča keramičnih materialov ter tudi njihova visoka trdota. Medtem ko je kristalni zdrs za plastično preoblikovanje v kovinah možen v vseh smereh, je tak zdrs v keramičnih materialih možen le v posameznih smereh (slika 95). Prav tako si zaradi zahtev po elektronevtralnosti ni mogoče predstavljati dislokacij v keramičnih strukturah, še manj njihovo gibanje pod vplivom zunanje obremenitve.

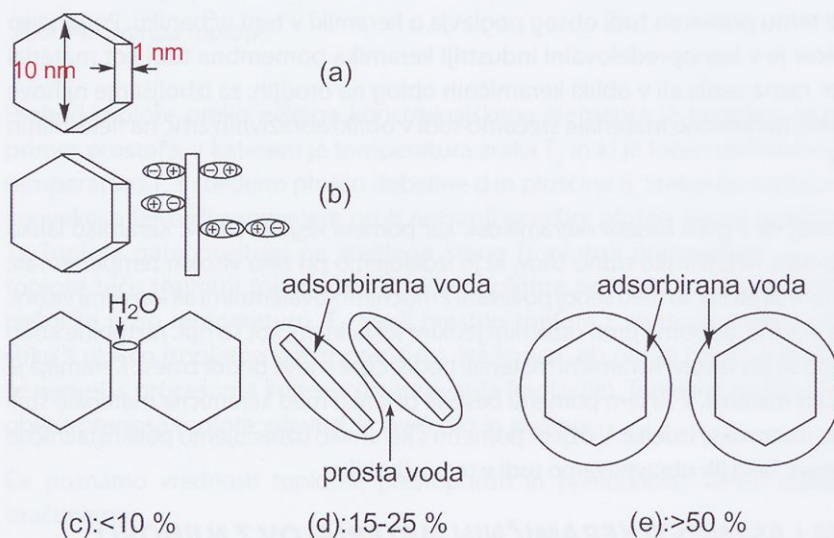


Slika 95: kristalni zdrs v mnogih ravninah pri keramiki ni možen, zaradi elektrostatskih odbojnih sil med enako nabitimi ioni.

Posledica močnih vezi, v katerih so elektroni lokalizirani in ne gibljivi kot v kovinskih strukturah, je tudi električna in toplotna izolativnost keramike. Zaradi močnih vezi je keramika odporna proti koroziji, temperature tališč so visoke. Po drugi strani je iz istega razloga keramika zelo krhka snov.

Surovine za izdelavo keramike so različni silikati in alumosilikati, ki sestavljajo gline, iz katerih so keramične materiale izdelovali že v prazgodovini. Prav tako lahko keramiko izdelamo iz različnih oksidov (npr. Al_2O_3) in dobimo oksidno keramiko. Surovine, iz katerih izdelujemo neoksidno keramiko, so najpogosteje silicijev nitrid (Si_3N_4), silicijev karbid (SiC) ali volframov karbid (WC).

Keramika je najstarejši, prvi sintetični material, ki ga je izdelal človek. To razlagamo z dejstvom, da so gline kot osnovna surovina za izdelavo preprostih keramičnih izdelkov zelo razširjene in lahko dosegljive. Ob primerni vlažnosti je glino enostavno oblikovati, saj je plastična, gnetljiva snov, ki omogoča izdelavo najrazličnejših oblik. Postopek žganja keramičnih polizdelkov je enostaven in ga je človek obvladal že zgodaj. Zakaj so gline lahko gnetljive? Razlago lahko poiščemo v njihovi mikrostrukturi (slika 96).



Slika 96: adsorpcija vode na delce v glini.

Na delce (kristalčke) nanometrskih dimenzij v glini (a) se adsorbirajo vodne molekule, na sliki prikazane z elipsastimi oblikami (b). Če je vode malo, pod 10 %, je glina suh prah, pri kateri je vsa voda v obliki vezane vode (c). Če je vode v glini med 15 % in 25 %, so plasti proste vode med delci ravno prav tanke, da lahko drobni delci med plastičnim preoblikovanjem, gnetenjem mase drsijo eden preko drugega (d). Če je vode preveč, nad 50 %, dobimo suspenzijo.

Osnovno surovino, ki je v obliki prahu, pomeljemo, da dobimo dovolj drobne delce. Vlažni zmesi primerne viskoznosti lahko po potrebi dodamo vezivo in potem storimo nekaj od spodaj naštetega:

- tekočo zmes ulijemo v porozen model. Model vpije odvečno vodo, plast ulite zmesi se oprime sten modela. Model obrnemo okrog in izlijemo odvečno tekočo zmes. Nato model previdno odstranimo in dobimo polizdelek, pripravljen za žganje,
- tekočo zmes lahko nalivamo na tekoč trak in dobimo plast mokre keramične mase v obliki traku. Keramični trak žgemo in dobimo keramično ploščo,
- zmes lahko stisnemo v stiskalnici, v modelu izbranih oblik. Hladno stisnjen izdelek je pripravljen za žganje,
- tekočo, a močno viskozno keramično zmes lahko iztisnemo z ekstrudorjem (slika 97). Od profila odprtine na ekstrudorju je odvisna oblika keramičnega polizdelka.



Slika 97: industrijski ekstrudor.

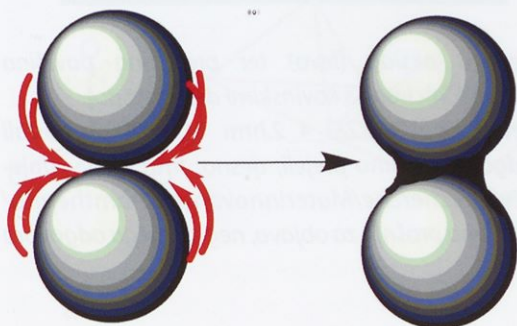
(http://www.alibaba.com/catalog/10862390/Vacuum_Extruder.html 11.12.2007, poslali smo prošnjo za objavo, negativnega odgovora ni bilo)

Sledita sušenje in odstranjevanje veziva in nato žganje – sintranje – keramičnega polizdelka, do končnih dimenzij in lastnosti.

IX.B. SINTRANJE

Sintranje je visokotemperaturni postopek za izdelavo keramike. Sintramo lahko tudi druge praškaste materiale, npr. kovine. Polizdelek, sestavljen iz stisnjenih, povezanih drobnih kristalčkov oz. zrn, za določen čas (običajno več ur) izpostavimo zelo visoki temperaturi, ki ne sme preseči temperature tališča. Temperature sintranja so različne, odvisno od surovin, tipično nekje od 700-800 °C do 2000 °C ali več. Pod vplivom visoke temperature se pričnejo gradniki v snovi premikati. Končni rezultat sintranja je, da se material zgosti, delci oz. zrna se med seboj povežejo z močnimi silami. Mali kristalčki izginjajo, večja zrna rastejo na račun manjših.

Gonilna sila procesa sintranja je zmanjšanje površinske energije v sistemu. Vsaka površina ima namreč neko dodatno, površinsko energijo, ki je posledica neravnovesja privlačnih sil med gradniki znotraj snovi in privlačnih sil gradnikov snovi z atomi/molekulami snovi, s katero je površina v stiku. Navzven se pri kapljevinah površinska energija izkazuje kot površinska napetost. Če imamo v polikristalinični zmesi veliko majhnih delcev, je celotna, skupna površina snovi v taki zmesi velika. Po drugi strani je specifična površina (velikost površine na enoto mase snovi) v zmesi z velikimi kristalčki manjša. To torej pomeni, da je notranja energija sistemov z majhnimi zrni višja od notranje energije sistemov z velikimi zrni. V ravnovesnem stanju ima snov tendenco po čim manjši notranji energiji. Le-to lahko v polikristaliničnem materialu dosežemo, kot že opisano, z zmanjšanjem števila zrn oz. s povečanjem njihove povprečne velikosti. Da bi se to lahko zgodilo, morajo dobiti gradniki dovolj energije za transport – le-to dovajamo s segrevanjem, tik pod temperaturo tališča.

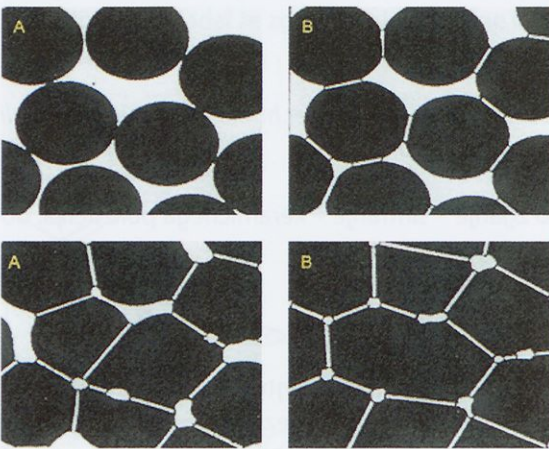


Slika 98: sintranje - shematski prikaz nastanka vratu med dvema zrnoma.

Na sliki 98 je shematsko prikazan nastanek vratu med dvema zrnoma med procesom sintranja. Zaradi enostavnosti sta kristalni zrna prikazani z dvema kroglama. Novo telo, ki je nastalo s spojitvijo dveh krogel, ima manjšo površinsko energijo kot dve ločeni zrna. Z nadaljevanjem procesa sintranja bi dobili eno samo večje zrno. S puščicami je prikazan transport snovi v zrna. Možni so naslednji mehanizmi prenosa snovi:

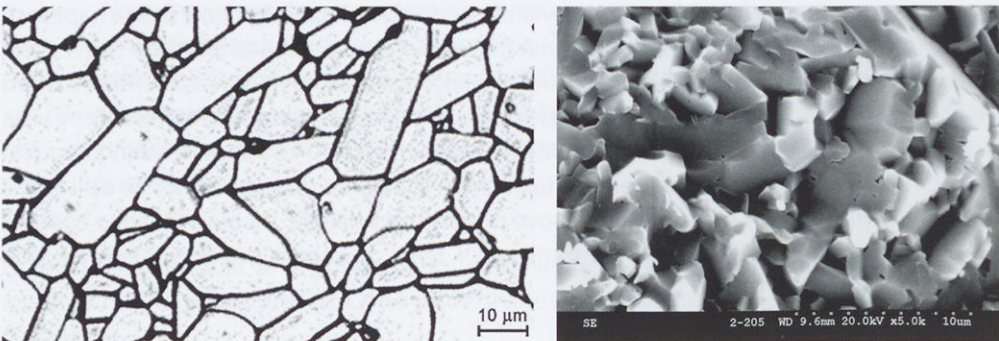
- difuzija v trdnem agregatnem stanju,
- viskozni ali plastični tok,
- izparevanje in kondenzacija,
- taljenje in ponovno obarjanje ali precipitacija.

Posledica procesov, ki med sintranjem potekajo v keramičnem materialu in ki je shematsko prikazan na sliki 98, je zgostitev materiala: prazni prostori – pore – se manjšajo, zrna postajajo vedno večja (slika 99).



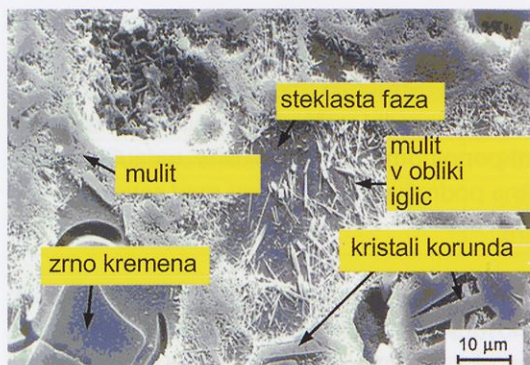
Slika 99: prikaz zgostitve materiala med sintranjem.

(<http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=3365> 12.12.2007, Copyright AD-TECH; licensed AZoM.com Pty Ltd., po navedbi na spletni strani je dovoljena objava brez obveznosti, če je citiran vir, ki je: A. M. Guzmán, P. Rodríguez and E. Sereno. Development of AZS Refractories for the Glass Industry. AZojomo, Journal of Materials online, AZojomo (ISSN 1833-122X) Volume 2 April 2006, DOI: 10.2240/azojomo0201



Slika 100: mikrostruktura keramičnega aluminijevega oksida (levo) ter prelomna površina kompozitnega materiala – Al_2O_3 keramike, modificirane s kovinskimi delci (desno).

(Levo: http://www.keramverband.de/brevier_engl/3/4/2/3_4_2.htm 11.12.2007, poslali smo prošnjo za objavo, negativnega odgovora nismo prejeli; desno: <http://www.univ-valenciennes.fr/lamac/Groupes%20de%20recherche/MaterInnovants/ceramthermo/CeramThermMeca.html> 11.12.2007, poslali smo prošnjo za objavo, negativnega odgovora nismo prejeli)



Slika 101: mikrostruktura porcelana.

(povzeto po http://www.keramverband.de/brevier_engl/3/4/1/3_4_1.htm 10.12.2007, poslali smo prošnjo za priredbo in za dovoljenje za objavo, odgovora ni bilo)

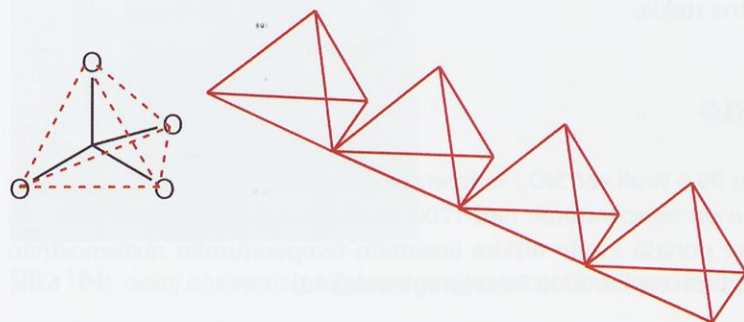
Na sliki 101 lahko vidimo, da vsi keramični materiali nimajo tako enostavnih mikrostruktur kot npr. Al_2O_3 keramika (slika 100). Porcelan (slika 101) je zmes med sintranjem sprjetih različnih snovi (faz), različnih oblik. Del snovi se je med sintranjem stalil in pri ohlaiditvi ni kristaliziral temveč ostal v amorfni, steklasti obliki. Seveda prav tako kot submikroskopska zgradba, tudi mikrostruktura močno vpliva na končne lastnosti keramičnega materiala.

X. STEKLO IN STEKLOKERAMIKA

Steklo je bilo že omenjeno v poglavju o amorfni in kristalinični snoveh. V najširšem pomenu lahko s steklom poimenujemo vsako amorfno snov, v kateri gradniki niso pravilno razporejeni. Tako poznamo tudi polimerna oz. »plastična stekla«, narejena npr. iz polimetilmetakrilata (PMMA). Vendar pod besedico steklo običajno razumemo amorfne anorganske snovi.

Steklo definiramo kot anorgansko, nekristalinično oziroma amorfno snov, ki nastane pri strditvi anorganske taline. Nekateri avtorji uvrščajo steklo med keramične materiale, vendar pa se postopek izdelave stekla bistveno razlikuje od postopka izdelave polikristaliničnih keramičnih materialov. Medtem ko surovine pri sintranju izpostavimo segrevanju tik pod temperaturo tališča, pri izdelavi stekla zmes surovin stalimo in jo nato ohlajamo tako, da ne pride do kristalizacije. Podhlajena talina pod temperaturo steklastega prehoda preide v steklo.

Surovine za izdelavo stekla so predvsem kremen, SiO_2 , ter različni silikati. Zmesem za proizvodnjo stekel dodajamo še različne dodatke. Silikati so spojine, sestavljene iz mreže (SiO_4^{4-}) tetraedrov (slika 102), vmes so pozitivni kovinski kationi. Silikatni tetraedri se lahko med seboj povezujejo na zelo različne načine, tako da se stikajo z oglišči, robovi ali s ploskvami. Razen tega so lahko skupine silikatnih tetraedrov v med seboj izoliranih skupinah (otočasti silikati) ali pa so povezane v verige, plasti in tridimenzionalne mrežne strukture. Različne možnosti povezav silikatnih tetraedrov v kristalnih strukturah silikatov so vzrok za izredno pestrost zelo različnih silikatnih kamnin, ki jih najdemo v naravi.

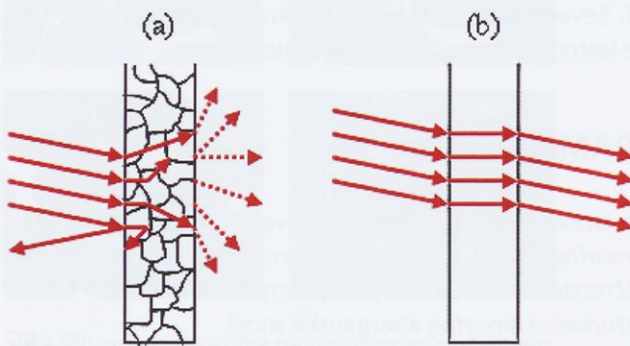


Slika 102: (SiO_4^{4-}) tetraeder ter skupina tetraedrov, povezanih s skupnimi oglišči v verižno strukturo.

Skrajni primer urejene strukture silikatov je, ko so vsi tetraedri med seboj povezani z vsemi oglišči. Tako dobimo tridimenzionalno mrežo kremen – silicijevega dioksida. V steklih silikatni tetraedri seveda niso povezani v urejeno, kristalinično strukturo. Struktura stekla je predmet številnih znanstvenih raziskav. V splošnem poznamo dve teoriji o zgradbi stekla. Novejša teorija naključne mreže pravi, da so tetraedri med seboj povezani popolnoma naključno, brez reda. Po starejši kristalini teoriji naj bi imeli tudi v steklih kristalinitna področja, kjer so atomi med seboj pravilno razporejeni.

Lastnosti stekel: ker so glede na prevladujoče vezi med gradniki stekla zelo podobna keramičnim materialom, velja podobnost tudi za fizikalne lastnosti. Stekla so trdi in krhki, neduktilni materiali, zanje je prav tako kot za keramiko značilna visoka odpornost proti koroziji. Temperatura steklastega prehoda se pri steklih giblje v razponu med 540 °C in pribl. 1200 °C.

Verjetno najpomembnejša lastnost stekel, zaradi katere jih pravzaprav tudi uporabljamo, je njihova transparentnost. Najpreprosteje lahko transparentnost stekel razumemo, če primerjamo, kaj se zgodi s snopom svetlobe, ki pade na polikristaliničen material in kaj s svetlobo na steklu (slika 103).



Slika 103: razpršitev snopa svetlobe na polikristaliničnem materialu (a) in prehod svetlobe preko stekla (b).

Ko pade svetloba na površino polikristaliničnega materiala, se je del odbije in del nadaljuje pot v snov. Svetloba se lomi, del se je absorbira in na vsaki meji med zrni prihaja do pojavov odboja in loma. Končna posledica je, da je svetloba, ki jo polikristaliničen material ni absorbiral, razpršena in slike skozi tako snov ne vidimo. Po drugi strani na površini stekla tudi pride do delnega odboja in loma, kar se ponovi na drugi površini stekla. A do razpršitve zaradi odsotnosti mej med zrni (teh ne more biti, saj je snov amorfna) ne more priti.

X.A. VRSTE STEKLA

Glede na kemijsko sestavo so najpomembnejše vrste stekel naslednje:

- kremenovo (kvarčno, SiO_2) steklo,
- alkalna silikatna stekla,
- boratna in borosilikatna stekla,
- svinčeva stekla.

X.A.i. KREMENOVO STEKLO

Kremenovo steklo vsebuje kar 99,5 % ali več SiO_2 . Temperatura steklastega prehoda tega stekla je visoka, 1140 °C. Zmehča se pri temperaturah nad 1700 °C, in uporaben je kar do približno 1000 °C. Kremenovo steklo se ponaša z zelo nizkim linearnim temperaturnim razteznostnim koeficientom, zato je odporen proti toplotnemu šoku (preglednica 12).

Preglednica 12: linearni temperaturni razteznostni koeficienti nekaterih vrst stekel

Snov	α [K^{-1}]
Kremenovo steklo	$5,5 \times 10^{-7}$
Alkalna silikatna stekla	90×10^{-7}
Boratna in borosilikatna stekla	35×10^{-7}
Svinčeva stekla	70×10^{-7}

Kremenova stekla za razliko od običajnih in cenejših vrst stekel prepuščajo zelo širok spekter svetlobe, tudi ultravijolično sevanje. Bistvena pomanjkljivost kremenovega stekla, ki omejuje njegovo širšo uporabo, je njegova visoka cena. Zaradi visoke temperature steklastega prehoda za izdelavo izdelkov iz kremenovega stekla porabimo zelo veliko energije. Zato kremenovo steklo uporabljamo le v različne specialne namene.

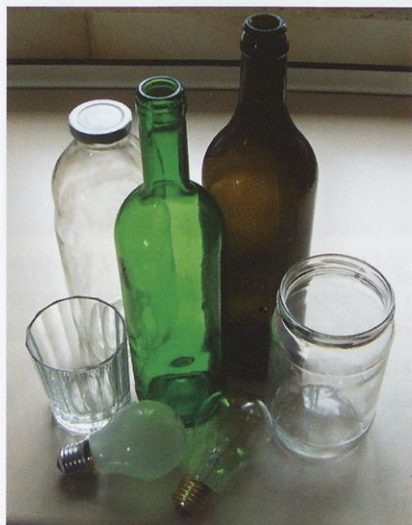
Tako je kvarčno steklo ključni izhodiščni material za izdelavo telekomunikacijskih optičnih vlaken. Ker prepušča UV svetlobo, ima odlične mehanske lastnosti ter je uporaben pri visokih temperaturah. Iz te vrste stekla proizvajajo halogenske, tudi UV žarnice. Žarnice iz kvarčnega stekla tako npr. uporabljamo kot UV sijalke za utrjevanje UV utrjujočih premazov za les.

X.A.ii. NATRIJEVO STEKLO

Natrijevo steklo je dobilo ime po vsebnosti natrijevega oksida Na_2O . Vsebuje še K_2O , CaO in Al_2O_3 ter v manjših količinah še nekatere druge okside. Primer značilne sestave natrijevega stekla: 71-73 % SiO_2 , 12-14 % Na_2O , 10-12 % CaO , 0,5-1,5 % Al_2O_3 .

Omenjeni dodatki se imenujejo mrežni modifikatorji. Le-ti se vključijo v mrežo silikatnih tetraedrov in jo spremenijo tako, da bistveno znižajo temperaturo steklastega prehoda (z okrog $1200\text{ }^\circ\text{C}$ na pribl. $600\text{ }^\circ\text{C}$). Posledica je znižanje viskoznosti taline, in zaradi tega lažje in cenejše oblikovanje izdelkov iz stekla. Zato so natrijeva stekla najcenejša in kar okrog 90 % vsega stekla v uporabi je prav te vrste. Iz natrijevega stekla izdelujejo okensko steklo, steklenice, žarnice, kozarce, steklene posode, ipd.

Če je prednost natrijevega stekla nizka cena, ima po drugi strani za stekla zelo visoko toplotno razteznost. Izdelki iz natrijevega stekla zato niso odporni proti toplotnemu šoku, pri hitrih spremembah temperature počijo. Prav tako prepuščajo le manjši del UV svetlobe.



Slika 104: nekaj običajnih izdelkov iz natrijevega stekla za rabo v gospodinjstvu.

X.A.iii. BOROSILIKATNA IN BORATNA STEKLA

Borosilikatna stekla so stekla na osnovi silicijevega dioksida, ki vsebujejo znaten delež borovega oksida, B_2O_3 . Boratna stekla so stekla, pri katerih so osnovne surovine za tvorbo steklaste mreže borovi oksidi. Podobno kot je amorfna steklasta mreža pri silikatnih steklih sestavljena iz $(SiO_4)^{4-}$ tetraedrov, sestavljajo boratno steklo med seboj povezani planarni trikotniki boratnih, $(BO_3)^{3-}$ planarnih trikotnikov.

Primer sestave borosilikatnega stekla: 80,5 % SiO_2 , 12,9 % B_2O_3 , 3,8% Na_2O , 2,2 % Al_2O_3 , 0,4 % K_2O . Borosilikatna stekla poznamo pod komercialnimi imeni »Duran«, »Pyrex« ali npr. »Boral«. Najpomembnejša značilnost teh stekel je njihov relativno nizek linearni temperaturni razteznostni koeficient (preglednica 12), zato so odporna proti toploti oz. proti toplotnemu šoku. Notranje napetosti, ki se v izdelkih iz borosilikatnih stekel vzpostavijo zaradi temperaturnega gradienta, so dovolj majhne, da jih kohezijske sile v steklu vzdržijo in material pri hitrih spremembah temperature ne počí. Pomembna značilnost borosilikatnih stekel je tudi njihova dobra odpornost proti koroziji oz. proti agresivnim tekočinam.

Zaradi navedenih karakteristik so borosilikatna stekla idealen material za izdelavo laboratorijske steklovine. Zaradi majhnih dimenzijskih sprememb v odvisnosti od sprememb temperature so stekleni izdelki primerni tudi za natančno merjenje volumna tekočin. V gospodinjstvih uporabljamo ognjevarno posodo za kuhanje in pečenje, ki je prav tako izdelana iz borosilikatnih stekel. Kot posebnost naj omenimo, da to vrsto stekel srečamo tudi v teleskopih v obliki komponent steklenih zrcal, prav zaradi njihove velike dimenzijske stabilnosti.

X.A.iv. SVINČEVO STEKLO

Kot že ime pove, je za svinčeva stekla značilna relativno visoka vsebnost svinčevega oksida, PbO . Primer sestave svinčevega stekla: 58 % PbO , 35 % SiO_2 ter 7,2 % K_2O . Svinčeva stekla lahko vsebujejo tudi manj PbO kot je navedeno, npr. med 18 % - 35 %.

Svinčev oksid dodajamo v steklo z namenom dviga njegovega lomnega količnika in za znižanje temperature steklastega prehoda viskoznosti taline ter s tem lažje in cenejše izdelave. Visok lomni količnik svinčevih stekel je posledica njihove visoke gostote.

Posledica visokih vrednosti lomnega količnika svinčevih stekel je njihov izrazit sijaj. Zaradi navedenega so svinčeva stekla uporabna v optičnih izdelkih kot material za leče. Svinčeva stekla so v primerjavi z običajnimi stekli dokaj mehka in jih je lažje obdelovati z različnimi mehanskimi postopki kot je npr. brušenje. Zato iz njih izdelujemo različne dekorativne brušene predmete, kot so razni reprezentativni kozarci, steklenice, ipd. Prav tako svinčeva stekla srečamo v vitrinah pohištvenih izdelkov. Izgled brušenih izdelkov iz svinčevega stekla spominja na naravne kristale, zato se je svinčevega stekla oprijelo tudi ime »kristalno steklo«. Vendar nas ime nikakor ne sme zavesti. Kristalno steklo je še vedno steklo, torej ima amorfno zgradbo in glede svoje strukture nima prav nobene zveze s kristaliničnimi materiali, pri katerih so gradniki v snovi pravilno razporejeni! Nizka viskoznost taline omogoča izdelavo steklenih izdelkov pri relativno nizkih temperaturah, okrog 800 °C in to z majhno verjetnostjo nastanka napak, kot so npr. ujeti mehurčki v ohlajeni talini. Optične lastnosti ter nizka viskoznost taline svinčevih stekel omogočajo še eno aplikacijo: uporabljamo jih za glazure na keramičnih izdelkih. Za tehnične namene je pomembno dejstvo, da svinčevi atomi dobro absorbirajo rentgensko svetlobo, zato iz svinčevih stekel izdelujejo ekrane za različne elektronske naprave (npr. za klasične katodne računalniške zaslone).

Naj omenimo še nevarnost izločanja svinca v tekočine, npr. alkoholne pijače, ki so bile dalj časa shranjene v dekorativnih steklenicah iz kristalnega stekla. Vsekakor je potrebna previdnost!

Posebne vrste stekla glede na njihov izgled oz. dekorativne učinke so:

- barvna (obarvana) stekla,
- motna stekla.

X.A.v. BARVNA STEKLA

Običajna stekla prepuščajo večino spektra vidne svetlobe in manjši del UV sevanja. Kremenova stekla prepuščajo tudi UV svetlobo. Če pa bi v prepuščeni svetlobi del spektra vidne svetlobe manjkalo, bi bila taka svetloba obarvana. Ta efekt je možno doseči z dodatkom različnih anorganskih spojin, kamor sodijo predvsem oksidi kovin prehoda, v maso za izdelavo stekla. Ioni kovinskih prehodnih elementov v steklu predstavljajo tako imenovane barvne centre oz. kromoforje. Kromoforji absorbirajo del spektra vidne svetlobe. Različni dodatki za obarvanje stekel ter njihovi barvni učinki so navedeni v preglednici 13.

Preglednica 13: dodatki za obarvanje stekel in njihovi barvni učinki

Snov	barvni učinek
Železovi oksidi	zeleno, rjavo
Manganovi oksidi	rumenkasto-rjavo, vijolično
Kobaltovi oksidi	temno modro
Zlatov klorid	rubinasto rdeče
Selenove spojine	rdeče
Spojine kroma	zeleno
Zmes manganovih in železovih oksidov ter kobaltovega oksida	črno
Antimonovi oksidi	belo
Nikljeve spojine	umazano sivo
Uranovi oksidi	rumeno-zeleno
Žveplove oksidi	rumeno-rjavo, rjavo
Bakrove spojine	svetlo modro, rdeče
Kositrove spojine	belo
Zmesi svinčevih in antimonovih spojin	rumeno



Slika 105: primeri izdelkov iz barvnega stekla.
(Sliki na sredini in desno: foto F. Budija)

X.A.vi. MOTNA STEKLA

Čeprav je ena bistvenih odlik stekel ravno njihova prosojnost, včasih želimo uporabljati motna, mlečna stekla, npr. v raznih vitrinah, pri opremitvi sanitarnih prostorov, ipd. Poznamo kar precej različnih načinov, kako doseči motnost stekla.

Motnost stekla lahko dosežemo tako, da naredimo površine steklenega izdelka hrapave. Na hrapavih površinah se svetloba namreč razprši. Tako lahko s posebnimi valji v gladko, mehko

steklo vtisnemo ornament oz. neravnine. Druga možnost je, da v čisto, še ne strjeno stekleno matriko vtisnemo drobne kristale anorganskih snovi in dosežemo videz zaledenele površine. Najbolj pogosto hrapavost površin stekla dosežemo s peskanjem.

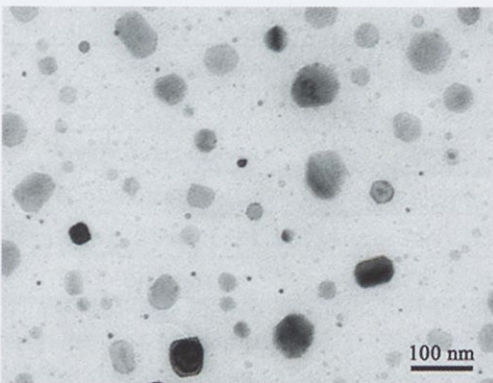
X.A.vi.a. PESKANO STEKLO

Peskanje stekla se izvaja s posebnimi peskalnimi stroji. Možno je peskanje različnih oblik in vzorcev. Peskano steklo je precej občutljivo na umazanijo in ga je težko čistiti. To še posebej velja za različne mastne madeže, ki se vtrejo v površino peskanega stekla. Zato peskane površine pogosto zaščitimo s posebnimi premazi, ki preprečujejo vnos nečistoč.

X.A.vi.b. JEDKANO STEKLO

Steklo je odporno skoraj proti vsem kemičnim vplivom, relativno hitro ga najedajo le fluorovodikova kislina in taline oksidov alkalijskih kovin. Zato fluorovodikovo kislino uporabljamo za jedkanje stekla. Pri tem dosežemo podoben učinek kot s peskanjem. Pomembna razlika je v tem, da je jedkane površine stekla bistveno lažje čistiti kot peskane površine.

Motnost stekla lahko povzročijo tudi majhni delci, ki se nahajajo v stekleni matriki in katerih lomni količnik se razlikuje od lomnega količnika osnove. Vključki so lahko amorfni (delci druge vrste stekla z drugačnim lomnim količnikom) ali kristalinični (slika 106).



Slika 106: kristalinični vključki železovega oksida v steklu.

(<http://www.spaceref.com/news/viewpr.html?pid=19062> 12.12.2007, iz »Davoisne C, Djouadi Z, Leroux H, d'Hendecourt L, Jones A, Deboffe D. The origin of GEMS in IDPs as deduced from microstructural evolution of amorphous silicates with annealing. *Astronomy & Astrophysics*, 448 (1): L1-L4 2006« Objavljeno z dovoljenjem ©A&A/ESO)

Glede na namen uporabe in njihovo funkcijo poznamo naslednje vrste specialnih stekel:

- kaljena in delno kaljena stekla,
- lepljeno steklo,
- žično steklo,
- termoizolacijska stekla,
- samočistilna stekla.

X.A.vii. KALJENA IN DELNO KALJENA STEKLA

Kaljena in delno kaljena stekla uvrščamo v skupino enoslojnih varnostnih stekel. Kaljeno steklo ima večjo trdnost od navadnega stekla, prav tako ima povečano toplotno odpornost. Če se razbije, razpade na drobne delce s topimi robovi. Ta pojav je pomemben z varnostnega vidika, saj bi se lahko sicer v primeru nesreče na večjih delcih razbitega stekla z zelo ostrimi robovi porezali. Zato kaljena stekla obvezno uporabljamo pri steklenih vitrinah v pohištvenih izdelkih, za steklena vrata na omaricah, za steklo v vratih, ipd. Prav tako so iz kaljenega stekla običajno narejene zadnja in stranske šipe pri avtomobilih.

Kaljenje stekla izvajajo tako, da ga segrejejo na dovolj visoko temperaturo, npr. 600 °C ali 700 °C, pri čemer se vrhna plast steklene plošče zmehta in razširi. Nato segreto steklo hitro ohladijo, običajno z mrzlim zrakom ali s potopitvijo v tekočino, najpogosteje raztopino klorovodikove kisline. V steklo se vgradijo notranje napetosti. Površino stekla varuje tlačna notranja napetost, notranjost natezna napetost. Če želimo kaljeno steklo razbiti, moramo najprej premagati namenoma vnesene notranje napetosti. Zato je trdnost stekla višja od trdnosti običajnega stekla. Če je zunanja obremenitev večja od notranjih napetosti, pride do porušitja, pri čemer se zaradi neravnovesnega stanja kaljenega stekla le-to hipoma razsuje v zelo drobne koščke s topimi robovi (slika 107).



Slika 107: lom kaljenega stekla.

(slika last podjetja Steklarstvo Kresal, Aleksander Kresal s.p., Ljubljana, <http://www.steklarstvo-kresal.com/>)

Delno kaljeno steklo izdelujejo podobno kot kaljeno, le da se počasneje ohlaja. Po lastnostih je med navadnim in kaljenim steklom, uporablja se za izdelavo lepljenega stekla.

X.A.viii. LEPLJENA (LAMINIRANA) STEKLA

Tudi lepljena stekla uvrščamo v skupino varnostnih, in sicer večplastnih stekel. Dve ali več plasti stekla segrejemo do temperature 600 °C in pod tlakom ustrezno oblikujemo. Po nadzorovanem hlajenju plošče združimo in med njih vložimo polimerno folijo. Plošče zlepimo. Če se takšno steklo razbije, črepinje ostanejo na foliji. Namesto z vmesno folijo je lepljeno steklo lahko sestavljeno tudi iz dveh ali več steklenih šip, ki so med seboj trdno zlepljene z lepili različnih debelin in lastnosti.

Varnostna dvo- ali večslojna lepljena stekla uporabljamo kot vetrobransko steklo za avtomobile, za zaščitna očala, tudi za okna in vrata v javnih zgradbah. Iz večslojnega stekla izdelujejo tudi debele steklene plošče za oklepna vozila. Steklo za oklepna vozila sestavljajo vsaj štiri plasti in je neprebojno od debeline 60 milimetrov.



Slika 108: dvoslojno lepljeno obarvano steklo.

(slika last podjetja Steklarstvo Kresal, Aleksander Kresal s.p., Ljubljana, <http://www.steklarstvo-kresal.com/>)

Lepljeno steklo ima v primerjavi s kaljenim varnostnim steklom pomembno prednost. Po lomu kaljenega stekla nastanejo delci, ki le redkokdaj ostanejo v okvirju, zato takšna zasteklitev kasneje nima več zaščitne funkcije, saj ne štiti niti pred vlomom niti pred poškodbami. Lepljeno steklo se kljub lomu ne razleti in zaradi tega še vedno ohrani vsaj del svoje zaščitne funkcije. To je posebej pomembno pri protivlomnih in neprebojnih steklih.

X.A.ix. ŽIČNO STEKLO

Žično steklo je lito steklo z vstavljenim žičnim pletivom oz. točkovno spajkano žično mrežo. Le-ta pri zlomu zadrži steklene delce, vendar ima nizko udarno žilavost in je zaradi izstopajočih kosov nevarnost poškodb še vedno zelo velika. Zato žično steklo v skupino varnostnih stekel uvrščamo le pogojno. Žična stekla v glavnem uporabljamo za nadglavne zasteklitve in kot ograjno polnilo.

X.A.x. TERMOIZOLACIJSKA STEKLA

V skupino termoizolacijskih stekel spada kar nekaj različnih vrst steklastih gradiv. Za vsa stekla iz te skupine je značilno, da zagotavljajo nižje toplotne izgube pri oknih (in drugem stavbnem pohištvu, npr. steklenih vratih) ali steklenih konstrukcijskih elementih, npr. pri steklenih fasadah.

Pod izrazom termoizolacijska stekla v ožjem pomenu razumemo skupino dveh ali več steklenih šip za okna z nizko toplotno prehodnostjo, z medsebojnim razmakom širine 9 mm -12 mm. Vmesni prostori so zapolnjeni z zrakom in še raje z inertnim plinom kot je npr. argon. Pravzaprav ne moremo govoriti o posebni vrsti stekel, gre le za sestav z nizko toplotno prehodnostjo, kar je bilo podrobneje pojasnjeno v poglavju o toplotnih lastnostih snovi.

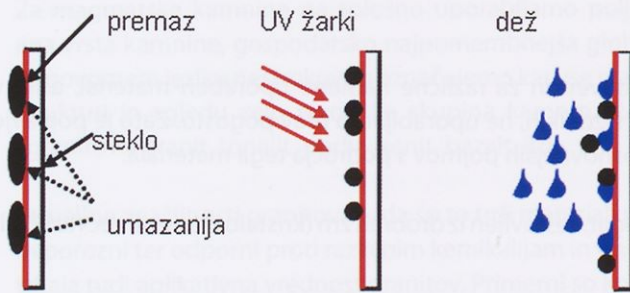
Termoabsorpcijska stekla zaradi dodatkov v sestavi absorbirajo mnogo več kratkovalovnih infrardečih žarkov kot običajna stekla. Na takšen način izdelana stekla zagotavljajo zaradi absorpcije toplote precej večjo zaščito pred soncem. Vendar takšna stekla slabše prepuščajo vidno svetlobo. Hkrati pogled skozi steklo ni več barvno nevtralen. Absorpcijska stekla izdelujejo v sivi, zeleni, bronza in modri barvi. Odbojnost oziroma refleksija svetlobe je pri teh steklih običajno celo nižja kot pri prozornem steklu.

Če na eno od šip v izolacijskem steklu (praviloma na zunanjo) nanese tanko plast kovinskih oksidov, se poveča odboj (refleksija) sončne energije. Sončno zaščitno steklo prepušča 40 % vidnega sončnega sevanja in izkazuje nizko toplotno prehodnost.

Podobno kot sončna zaščitna stekla delujejo tudi nizkoemisijska stekla. V tem primeru je tanka zaščitna kovinska plast nanese na notranjo površino šipe. Nizkoemisijska stekla oddajo v okolico le 15 % ali celo le 4 % prejete energije. Tanek kovinski sloj na navadnem steklu poskrbi za odboj energije dolgovalovnega infrardečega sevanja nazaj v prostor, a hkrati od zunaj še vedno prepušča vidno in toplotno sončno sevanje. Manjši prehod energije skozi steklo lahko opazimo po tem, da je temperatura na njegovi notranji površini občutno višja, kot bi jo imelo standardno steklo.

X.A.xi. SAMOČISTILNA STEKLA

Samočistilna stekla so sodoben rezultat razvoja na področju nanomaterialov in nanotehnologije. Običajno ne gre za posebno vrsto stekla temveč za poseben, samočistilni premaz, s katerim je steklo obdelano. V premazu so hidrofilne snovi, ki omogočajo, da je kontaktni kot vode na površini čim manjši, oz. da se voda po steklu čim boljše razliva. V premazu ali na površinski plasti so tudi nanodelci titanovega dioksida, TiO_2 . Ob prisotnosti UV svetlobe zaradi sončnega obsevanja nanodelci titanovega dioksida katalizirajo razkroj (razpad) organskih nečistoč in različne umazanije do ogljikovega dioksida in vode. Ker voda površino samočistilnega stekla odlično omaka, dež enostavno spere razkrojne produkte umazanije s stekla in ga tako očisti.



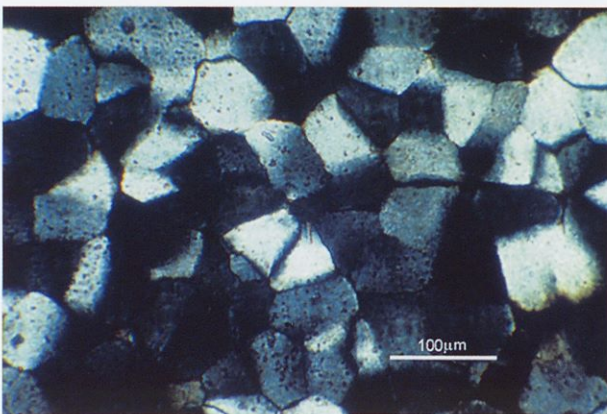
Slika 109: shematski prikaz dogajanja na samočistilni površini.

X.B. STEKLOKERAMIKA

Amorfno stanje, v katerem se nahaja steklo, je neravnotežno stanje in vsako steklo ima težnjo po kristalizaciji. Kristalizacijo stekla, razsteklitev, s tujko imenujemo devitrifikacija. Če pod določenimi pogoji pride do devitrifikacije nehote, takrat ko tega ne želimo, se v steklo vgradijo napake. Tako so izdelki iz stekla z drobnimi vključenimi kristalčki, ki so rezultat neželene devitrifikacije na določenih mestih, bistveno manj vredni od steklenih izdelkov brez napak, kot so poleg vključenih kristalčkov tudi ujeti mehurčki zraka.

Kristalizacijo stekla lahko izvedemo tudi namenoma. V tem primeru dobimo zelo gost, polikristaliničen material, ki se imenuje steklokeramika. Steklokeramika združuje tako lastnosti stekla kakor tudi lastnosti keramičnih materialov. Material izdelujejo tako, da najprej po običajnem postopku izdelajo steklo. Iz steklaste mase je dokaj lahko in poceni izdelati produkte različnih oblik, steklene plošče npr. izdelujejo z valjanjem. Sledi toplotna obdelava, pri kateri poteče kontrolirana kristalizacija stekla in dobimo steklokeramiko. V nasprotju s sintrano keramiko je steklokeramika popolnoma neporozna.

Steklokeramični materiali so zelo trdi in trdni. Še pomembneje je, da je linearni temperaturni koeficient steklokeramike nizek oz. celo blizu ničelni vrednosti, zato je material odporen proti toplotnemu šoku. Steklokeramika je tako nadvse primeren material za kuhalne plošče: pri segrevanju na visoke temperature ne počni, če se nam po plošči polijejo tekočine, ploščo preprosto obrišemo s krpo in madeži ne ostanejo.



Slika 110: polikristalinična zgradba steklokeramike, posneta s polarizirano svetlobo.

(<http://www.doitpoms.ac.uk/miclib/micrographs/large/000165.jpg> 16.12.2007, objavo slike dovolila Liane Swallows, slika dostavljena z dovoljenjem projekta DoITPoMS, University of Cambridge, UK, www.doitpoms.ac.uk)

XI. NARAVNE KAMNINE

Naravne kamnine so plemenit dekorativen in za različne namene uporaben material, a jih v kombinaciji z lesom, npr. v pohištvenih izdelkih, ne uporabljamo prav pogosto. Zato je poglavje namenjeno le kratkemu pregledu najosnovnejših pojmov s področja tega materiala.

Naravna kamnina je naravna snov, agregat, sestavljen iz drobnih zrn (kristalov) ene ali več različnih vrst mineralov.

Mineral lahko definiramo kot naravno snov, ki je rezultat nekega geološkega procesa in ima bolj ali manj stalno kemično sestavo. Bistvena razlika med mineralom in kamnino je torej v tem, da ima mineral določeno strukturo in kemično sestavo, kamnina pa je agregat, skupek enega ali več mineralov. Npr., apnenec je sedimentna kamnina, ki jo večinoma sestavlja mineral kalcit.

Z izrazom struktura kamnine označujemo obliko, velikost in medsebojno količinsko razmerje posameznih sestavnih delov kamnine. Tekstura kamnine nam pove, kakšen je prostorski raspored sestavnih delov ter kako je v kamnini zapolnjen prostor. Tako je npr. tekstura lahko homogena, usmerjena, porozna, ipd. Bolj splošen pojem je zlog, ki nam pove, kakšna je značilna zrnata sestava kamnine, ki jo določata struktura in tekstura.

Kamnine lahko klasificiramo glede na njihovo mineralno in kemično sestavo, glede na teksturo ter glede na način nastanka. Najpomembnejša je razvrstitev kamnin po nastanku, v naslednje skupine:

- magmatske kamnine,
- sedimentne kamnine,
- metamorfne kamnine.



Slika 111: primeri magmatskih kamnin (granitna plošča v izdelku, levo), sedimentnih kamnin (apnenec – »hotaveljski marmor«, na sredini) in nebrušeni rožnati marmor (desno).

Naravne kamnine lahko delimo tudi glede na obliko in velikost delcev. Tako so npr. konglomerati sedimentne kamnine, v katerih so posamezni kamni okroglih oblik trdno povezani, »zlepljeni« skupaj. Breče so kamnine, pri katerih se posamezni kamni oglatih oblik nahajajo v kamninski osnovi oz. matrici.

XI.A. MAGMATSKE KAMNINE

Magmatske kamnine so nastale s strjevanjem magme, pri čemer so kristalizirale ali tudi ne. Če so magmatske kamnine nastale iz magme, ki se je ohladila in strdila v notranjosti Zemlje, jih imenujemo globočninske magmatske kamnine ali kratko kar globočnine. Za globočnine je značilna grobozrnata oblika in zrna v kamnu običajno lahko opazimo kar s prostim očesom. Predornine so magmatske kamnine, ki so nastale na površju Zemlje. Za predornine je značilen bolj drobno zrnat zlog. V nekaterih primerih se je zgodilo, da magma med procesom ohlajanja na površju ni kristalizirala. Take amorfne predornine imenujemo vulkansko steklo. Tretja skupina magmatskih kamnin so žilnine, ki so nastale pri vtiskanju magme v razpoke že ohlajenih kamnin.

Za magmatske kamnine na splošno uporabljamo poljuden izraz »graniti«. V resnici je granit ena vrsta kamnine, gospodarsko najpomembnejša globočnina. »Graniti«, kot torej največkrat v pogovornem jeziku nestrokovno označujemo kar vse magmatske kamnine, so po kemični sestavi, strukturi in zgledu zelo raznolika skupina kamnin. Naštejmo samo nekaj najpomembnejših »granitov«: granit, tonalit, porfir, sienit, bazalt, itd.

Temeljne značilnosti granitov so, da so to trdi materiali visoke gostote, torej zelo težki. Graniti so neporozni ter odporni proti različnim kemikalijam in onesnaženem zraku. Iz omenjenih lastnosti izhaja tudi aplikativna vrednost granitov. Primerni so kot pohodni materiali, npr. za talne obloge ali stopnice. Zaradi odpornosti proti koroziji so primerni za uporabo na prostem, kar še posebej velja za onesnažena urbana okolja. Zaradi svoje neporoznosti in trdote so graniti idealna izbira za različne delovne površine, npr. za kuhinjske pulte. Na takem pultu lahko brez skrbi režemo hrano z jeklenimi noži kar brez podlage, saj je trdota granitov višja od trdote jekla. Podlago (kuhinjsko desko) bomo torej uporabili za to, da ne poškodujemo noža rezila in ne delovne plošče! Če se po granitni delovni površini razlije obarvana tekočina (npr. rdeče vino, kava, ipd.), tudi ne bo problemov. S površine razlito tekočino enostavno obrišemo, madežev zaradi neporoznosti podlage ne bo. Slaba lastnost granitov je predvsem njihova visoka cena, ki je posledica zahtevnih in dragih postopkov predelave. Za razrez pridejo namreč v poštev le diamantna rezila in za poliranje diamantne polirne paste.

XI.B. SEDIMENTNE KAMNINE

Sedimentne kamnine ali usedline so snovi, ki so nastale z odlaganjem erodiranih produktov preperevanja kot so drobcji kamnin in mineralov. Lahko nastanejo tudi z obarjanjem topnih produktov iz vodnih raztopin. Proces nastanka sedimentnih kamnin nastajajo blizu površja in jih je zato na zemeljski površini kar okrog 75 %. Po videzu se sedimentne kamnine, ki so pestre kemične sestave, lepo ločijo od drugih kamnin. Pogosto imajo plastovito strukturo, lahko vsebujejo tudi fosile. Sedimenti in iz njih nastale kamnine nastanejo s procesi preperevanja, transporta (z vodo, vetrom) in odlaganja preperlega materiala z usedanjem ali sedimentacijo in na koncu s strjevanjem.

Po izvoru sedimentne kamnine delimo na:

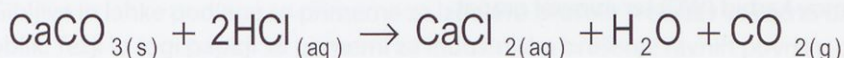
- klastične ali mehanske (besedica »klast« pomeni zrno),
- kemične,
- biogenokemične.

Klastične kamnine nastanejo z usedanjem trdnih produktov preperevanja. Glede na velikost delcev jih ločimo na konglomerate, peščenjake, meljevce in glinavce.

Kemične sedimentne kamnine nastanejo z obarjanjem trdnih delcev iz vode. Sem sodita sadra in tudi siga, ki jo poznamo iz kapnikov v kraških jamah.

Biogenokemične sedimentne kamnine so rezultat obarjanja trdnih delcev iz vodnih raztopin, pri čemer sodelujejo tudi organizmi. Najpomembnejša biogenokemična usedlina v našem okolju je apnenec (CaCO_3). Apnenec je sestavljen večinoma iz kalcita. Opozoriti velja, da so tako imenovani »marmorji« (npr. hotaveljski ali podpeški marmor), ki jih pridobivamo pri nas, v resnici apnenci in ne marmorji! Za apnenec je značilno, da je porozen in relativno mehak material, kamnina je slabo odporna proti koroziji in onesnaženem zraku.

Slaba odpornost proti onesnaženem zraku je posledica kemijske reakcije apnenca z raztopinami kislin. Kot primer navajamo reakcijo z vodno raztopino klorovodikove kisline:



Ker so apnenci bistveno cenejši od granitov, jih za opremo prostorov ter tudi v izdelkih v

kombinaciji z lesom uporabljamo bolj pogosto. Pri njihovi uporabi moramo upoštevati njihove manj ugodne lastnosti: pri delu na pultih iz apnenca moramo paziti, da vanje ne vnašamo raz, če se nam po apnenčastih delovnih površinah razlije močnejše obarvana tekočina, madežev ne bomo mogli več očistiti, okenske police iz apnenca bodo na zraku postopoma propadale, ipd. Apnenčeva prava narava pride do izraza šele z vgradnjo ter pri opremitvi notranjih prostorov. Bodisi kot talna obloga ali del opreme nevsiljivo poudarja udobje urejenega doma, oplemeniti kuhinjo in jedilnico, polepša kopalnice... Zaradi nezahtevne obdelave so apnenci primerni za različne namene – od masivnih gradbenih elementov do zahtevne opreme ter različnih uporabnih ali okrasnih predmetov.

XI.C. METAMORFNE KAMNINE

Metamorfne kamnine so tretja velika skupina kamnin glede na njihov geološki nastanek. Izraz »metamorfoza« pomeni preobrazbo. Metamorfne kamnine torej nastanejo s preobrazbo katerikoli predhodnih kamnin – magmatskih, sedimentnih in tudi metamorfni. Pri tem se predhodne kamnine ali minerali zaradi izpostavljenosti visokim temperaturam in tlakom močno spremenijo. Metamorfoza poteka v trdnem stanju, vendar ob prisotnosti plinov in vode. Spremembe potekajo izredno počasi, npr. metamorfne kamnine granati rastejo s hitrostjo 1,4 mm na milijon let. Najpomembnejša skupina metamorfni kamnin so pravi marmorji. Marmorji nastanejo iz apnencev in dolomitov. So lahko beli ali zelo svetli, odvisno od različnih primesi tudi obarvani. Spoznamo jih po značilnem svetlikanju prekristaliziranih zrn. Po svojih lastnostih so marmorji zelo podobni apnencem, le da so lepši in dražji. Še enkrat naj opozorimo, da slovenski »marmorji« niso metamorfne kamnine temveč sedimentne; v resnici so apnenci.

XII. SREDSTVA ZA BRUŠENJE

Brušenje je pomemben postopek obdelave lesa. Izvajamo ga z različnimi brusilnimi sredstvi, imenovanimi tudi sredstva za brušenje in redkeje brusna sredstva. Ker je brušenje lesa in orodij za obdelavo lesa v lesnopredelovalni dejavnosti velikega pomena, smo sredstvom za brušenje in materialom, iz katerih so le-ti sestavljeni, v tem učbeniku posvetili posebno poglavje.

Brušenje je odrezovanje drobnih delcev s površine materiala, ki ga obdelujemo. Odrezovanje poteka z velikim številom »nožev« naenkrat. »Noži« so ostri robovi zrn abraziva, ki so bistveni sestavni del sredstva za brušenje. V Slovarju slovenskega knjižnega jezika je pojem abraziva opisan kot »*material, ki se uporablja za brušenje materiala, mehkejšega od njega*«.

Po obliki delimo sredstva za brušenje na **toga brusilna sredstva**, **upogibna brusilna sredstva** ter **prosta brusilna sredstva**. Med toga brusilna sredstva spadajo različni brusni kamni, ki jih uporabljamo za brušenje orodja. Pri upogibnih brusilnih sredstvih, namenjenih obdelavi lesa, so zrnca abraziva prilepljena na prožno podlago (papir, tekstil,...). Prosta brusilna sredstva so polirne paste, kjer so zrna majhne velikosti vgnetenena v primerno viskozno zmes.

XII.A. TOGA BRUSILNA SREDSTVA

Pri togih brusilnih sredstvih so zrna abraziva med seboj povezana s polimernim vezivom. Na toga brusilno sredstvo bi lahko gledali tudi kot na kompozitni, sestavljeni material (več o kompozitnih materialih v poglavju XIII), pri katerem so zrna abraziva porazdeljena v polimerni matrici. Poznamo tudi sintrana toga sredstva za brušenje brez polimernega veziva. Najbolj pogosta vrsta abraziva v togih brusilnih sredstvih je aluminijev oksid (Al_2O_3). Običajni materiali za abraziv so še silicijev karbid (SiC), volframov karbid (WC) ter mineral granat.

XII.B. PROSTA BRUSILNA SREDSTVA

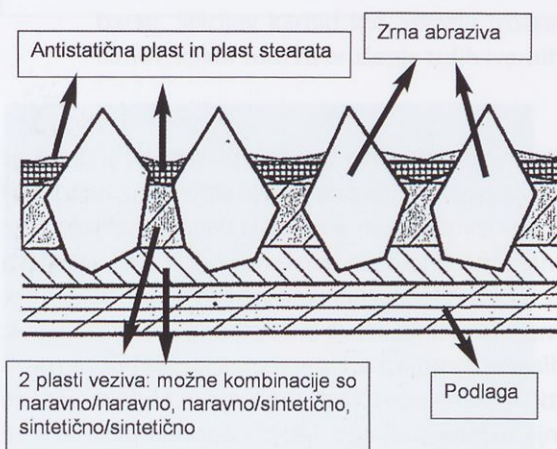
Prosta brusilna sredstva so namenjena poliranju površin. Abrazivni delci so v polirnih pastah vmešani v viskozno tekočo fazo, ki vsebuje polimerna veziva, maščobe in voske. Med prosta brusilna sredstva lahko štejemo tudi brusne prahove, ki jih prav tako uporabljamo za poliranje površin.

XII.C. UPOGIBNA BRUSILNA SREDSTVA

Najpomembnejše tri komponente upogibnih brusilnih sredstev so podlaga, vezivo in zrna abraziva (slika 112).

XII.C.i. PODLAGA

Materiali za podlago so papir, platno, kombinacija papir-platno, različne vlaknovine, elastične in gumene snovi, ipd. Največkrat pa v upogibnih brusilnih sredstvih srečamo papir ali platno. Podlago izberemo glede na način brušenja in na vrsto obdelovanca. Za ročno brušenje ali brušenje z ročnimi brusilkami ter za brušenje profiliranih oblik bomo izbrali mehko, fleksibilno podlago. Vendar pa so fleksibilne podlage manj trajne in se lahko pri večjih obremenitvah hitro strgajo. Zato za strojno brušenje z velikimi brusilnimi hitrostmi izbiramo toge, a proti trganju odporne podlage.



Slika 112: sestava upogibnega brusilnega sredstva.

Vsako upogibno sredstvo je označeno s kombinacijo števil in črk, ki so natisnjene na spodnji strani sredstva, na podlagi. Oznaka je standardizirana in izraža najpomembnejše lastnosti upogibnega brusilnega sredstva. V svetovnem merilu so najpomembnejši ameriški, japonski in evropski standardi. Za našo državo je seveda najpomembnejši evropski sistem standardov, ki smo ga za opis sredstev za brušenje uporabili tudi v tem učbeniku. Natančneje, na področju sredstev za brušenje so se v Evropi uveljavila merila FEPA. FEPA je kratica evropskega združenja proizvajalcev abrazivov (*Federation of European Producers of Abrasives*), ki pripravlja standarde o abrazivih in izdaja navodila za varno delo s sredstvi za brušenje.

Težo podlage, ki je povezana z njenimi mehanskimi lastnostmi, običajno označujemo s črkami. Podlage iz papirja so označene s črkami od A do H, kjer A označuje najlažji in najbolj fleksibilen papir, črka H pa najtežjega in najbolj togega. Pri tekstilnih podlagah uporabljamo črke J, X, Y in Z. Gibljive in lahke podlage so primerne za izdelavo brusnih sredstev za ročno brušenje profiliranih oblik. Težji in togi papirji so primerni za industrijsko brušenje ravnih površin, pri visokih hitrostih brušenja (preglednici 14 in 15).

Preglednica 14: oznake in lastnosti podlag iz papirja pri upogibnih brusilnih sredstvih

Oznaka	Gramatura (g/m ²)	Področje uporabe
A	pod 85	ročno brušenje, zelo fino brušenje
B	86-110	ročno brušenje
C	111-135	ročno brušenje z električnimi ročnimi brusilkami
D	136-220	za električne ročne brusilke
E	221-270	industrijsko brušenje (lahki široki trakovi)
F	271-350	industrijsko brušenje (široki trakovi)
G	351-500	industrijsko brušenje (segmentni trakovi)
H	nad 500	industrijsko brušenje (segmentni trakovi)

Preglednica 15: oznake in lastnosti podlag iz tekstila pri upogibnih brusilnih sredstvih

Oznaka	Značilnosti	Področje uporabe
JJ	zelo fleksibilna tkanina	brušenje robov in profilov, fino brušenje
J	fleksibilna tkanina	brušenje robov
X	togo in težko blago	industrijsko brušenje
Y	zelo togo in težko blago	industrijsko brušenje
Z	zelo težek, dodatno ojačan material	za segmentne trakove

XII.C.ii. VEZIVO

V upogibnem sredstvu za brušenje imamo vedno dve plasti veziva. Spodnja plast poskrbi za dober oprijem sistema (brusnih zrn) na podlago. Zgornja plast veziva preprečuje izpadanje abrazivnih zrn. Včasih so za veziva uporabljali lepila naravnega izvora, predvsem lepila beljakovinskega tipa. Sedaj so naravna lepila izpodrinile različne sintetične smole. Za izdelavo obeh plasti veziva so možne naslednje kombinacije: naravno lepilo / naravno lepilo, naravno lepilo / sintetična smola, sintetična smola / sintetična smola. Ne glede na izvor lepila, mora biti spodnja plast izdelana iz elastičnega materiala, ki se dobro prilagaja podlagi in zgornja plast iz materiala, ki je odporen proti visokim temperaturam in vlagi. Temperatura stične plasti sredstva za brušenje in obdelovanca se namreč takoj po začetku brušenja zaradi trenja dvigne tudi nad 100 °C. Zgornja plast lesa se posuši, vlagi iz lesa pa je izpostavljeno sredstvo za brušenje.

XII.C.iii. ABRAZIV

Material, ki ga uporabljamo za izdelavo abrazivnih zrn, mora zadostiti dvema nasprotujočima si zahtevama, tako da v praksi glede na namen uporabe iščemo kompromisne rešitve med obema zahtevama. Zrna morajo biti trda in krhka, da se med brušenjem ves čas lomijo. Na ta način se ustvarjajo novi ostri robovi. Zelo trdi in krhki materiali ne otopijo, se pa hitro porabijo. Hkrati morajo biti abrazivna zrna dovolj žilava, da se upogibno brusilno sredstvo ne bi prehitro izrabilo. Vendar pa žilavi materiali kmalu postanejo topi, zato je potreben kompromis med krhkostjo in žilavostjo abraziva.

Abrazivna zrna izdelujejo iz materialov naravnega ali umetnega izvora.

Med abrazivne materiale naravnega izvora uvrščamo:

- **smirek in korund;** Korund je naraven polikristaliničen material, po kemijski sestavi Al_2O_3 . Je zelo trda snov, saj ima na Mohsovi lestvici trdote (v razponu od 1 do 10) vrednost 9. Hkrati se odlikuje po visoki gostoti, ki znaša 4,02 g/cm³. Je odporen, trajen abraziv in se veliko uporablja za brušenje kovin in v draguljarstvu. Smirek (angl. emery) je naravna kamnina, ki jo večinsko sestavlja mineral korund, v zmesi z drugimi minerali, npr. s spineli,

magnetitom in rutilom. Za industrijsko brušenje ga ne uporabljamo, največ je v uporabi za fino brušenje in poliranje.

- **kremen** (silicijev dioksid); v današnjem času praktično ni več v uporabi, morda le še za ročno brušenje.
- **granat**; trd in krhek material, ki se hitro obnavlja (ostri) a zato hitro porablja. Granati so skupina silikatnih mineralov, katerih kemijska sestava variira glede na vrsto in nahajališče. V omejenem obsegu granate uporabljamo za ročno in vibracijsko brušenje.

Sklenemo lahko, da abrazivnih materialov naravnega izvora za industrijsko brušenje skorajda ne uporabljamo več.

Abrazivni materiali sintetičnega izvora so:

- **steklo**; steklo so včasih kot abrazivno sredstvo veliko uporabljali, od tod tudi pogovorni izraz »glaspapir«, danes ga srečamo le izjemoma.
- **aluminijev oksid (elektrokorund)**; to je sintetični abrazivni material, ki ga izdelujejo iz boksita v električnih pečeh pri zelo visokih temperaturah (2000 °C). Kot abrazivni material za brušenje lesa in lesnih tvoriv prevladuje, ocenjujejo, da njegov delež na tem področju presega 70 %. Vzdrži visoke tlake in dobro prodira v material, ki ga brusimo. Namesto klasičnega elektrokorunda včasih uporabljajo tudi sintran keramični aluminijev oksid.
- **cirkonijev oksid**; pri sredstvih za brušenje lesa ga uporabljamo redko, največkrat za trde lesove in za visoke hitrosti brušenja.
- **silicijev karbid**; zelo trd in krhek material z ostrimi robovi. Njegova trdota na Mohsovi trdotni lestvici lahko doseže tudi vrednost 9,7. Odvisno od primesi je sive ali zelenkaste barve. Silicijev karbid kot abraziv izberemo za vmesno brušenje utrjenih premaznih filmov, kakor tudi za brušenje trdih ivernih, vlaknenih in furniranih plošč.



Slika 113: surovine za abrazivna zrna na upogibnih brusilnih sredstvih: levo dva primera elektrokorunda, desno kremen.
(foto B. Kričej)

Zelo pomembni lastnosti brusilnega sredstva oz. abrazivnih zrn, ki močno vplivata na kvaliteto obrušene površine sta gostota posipa in zrnavost (s tujko tudi granulacija ali granulacijsko število, včasih tudi zrnatost).

XII.C.iii.a. GOSTOTA POSIPA

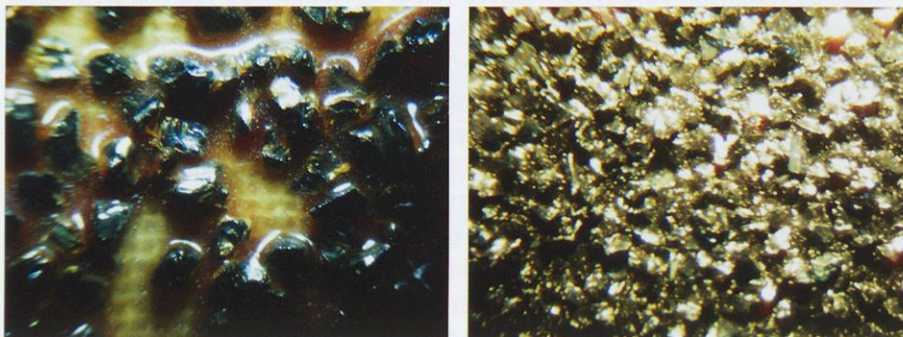
Gostota posipa (*grain distribution, sprinkling*) nam pove, kolikšno je število zrn na enoto površine sredstva za brušenje. Ločimo gost ali zaprt posip, delno odprt posip in odprt posip.

Pri gostem ali zaprtem posipu so zrna abraziva zelo blizu skupaj, tako da se dotikajo in podlago prekrivajo (zakrivajo) 100 %. Gost posip je primernejši za brušenje lesa trših drevesnih vrst, prav tako za pripravo površin, pri katerih je pomembna enakomerna gladkost. Uporabljamo ga za vmesno brušenje utrjenih lakiranih površin, saj daje enakomerno gladke površine. Problem lahko predstavlja hitro zapolnjevanje brusnega sredstva z odbruski termoplastnega laka. Zaradi

velikega števila zrn na enoto površine je značilna velika brusilna učinkovitost, gladkost pa je v primerjavi z odprtim posipom iste granulacije večja.

Pri delno odprtem posipu se nekatera zrna med seboj še stikajo, pokrite je 50 % - 70 % podlage. Uporaben je tako za brušenje trših, kakor tudi mehkejših drevesnih vrst.

Pri odprtem posipu se zrna med seboj ne stikajo. Primernejši je za brušenje mehkih vrst lesa. V večini primerov uporabljamo odprt posip za pripravo bolj hrapavih površin, včasih tudi za brušenje utrjenih premazov, v kolikor je problem »mašenje«, polnjenje brusnega sredstva z ostanki odbrušenega materiala (laka). Zaradi manjšega števila abrazivnih zrn so sredstva z odprtim posipom manj učinkovita. Hrapavost tako brušene površine je večja v primerjavi s hrapavostjo, ki jo dobimo pri brušenju s sredstvi z gostim posipom.



Slika 114: površini brusilnih sredstev z odprtim (levo, granulacija 30) in zaprtim (desno, granulacija 80) posipom.

XII.C.iii.b. ZRNAVOST

Zrnavost (granulacija, granulacijsko število, tudi zrnatost) je definirana s številom odprt in dolžinsko enoto – palec (inčo) sita, preko katerega pri izdelavi brusilnega sredstva presejemo zrna abraziva. To pomeni, da so delci abraziva pri višjih vrednostih granulacijskega števila manjši in s takimi brusilnimi sredstvi dosežemo večjo gladkost. Če je granulacija sredstva nižja, pa bo hrapavost obdelovanca večja. Na primer, oznaka P150 po standardu FEPA pomeni, da je imelo sito, preko katerega so presejali zmlata abrazivna zrna, 150 odprt in dolžini 2,54 cm. Dodatna črka P v oznaki pomeni, da je abrazivno sredstvo nanoseno na podlago. Povprečne velikosti abrazivnih zrn v odvisnosti od granulacijskega števila so zbrane v preglednici 16.

Preglednica 16: povprečne velikosti zrn v odvisnosti od zrnivosti po standardu FEPA

Zrnavost	Povprečna velikost zrn (μm)	Zrnavost	Povprečna velikost zrn (μm)
P12	1815	P220	68
P16	1324	P240	53.0
P20	1000	P280	52.2
P24	764	P320	46.2
P30	642	P360	40.5
P36	538	P400	35.0
P40	425	P500	30.2
P50	336	P600	25.8
P60	269	P800	21.8
P80	201	P1000	18.3
P100	162	P1200	15.3
P120	125	P1500	12.6
P150	100	P2000	10.3
P180	82	P2500	8.4

Zrnavost brusilnih sredstev za obdelavo lesa in lesnih tvoriv ločimo v 5 skupin:

- zelo groba zrna (40, 60, 80): za začetno brušenje, odvisno od začetne hrapavosti substrata; 80 – tudi že za vmesno brušenje
- groba zrna (100, 120, 150): 100 – za začetno brušenje, odvisno od začetne hrapavosti substrata; 120 in 150 – za vmesno brušenje, včasih tudi za končno brušenje
- srednje groba zrna (180, 200, 220, 240): 180, redkeje 200 in 220 – za končno brušenje
- fina zrna (280, 320, 360): za brušenje in poliranje utrjenih lak filmov, furnirja, kita
- zelo fina zrna (400 in več): do 600 za brušenje utrjenih filmov premaza

V lesarski industriji brušenje najpogosteje izvajajo s tračnimi brusilkami. Najpomembnejši parametri brušenja so pritisk, hitrost obdelovanca ter hitrost brusnega traku, ki vplivajo le na intenzivnost odbruševanja in ne na končno gladkost oz. hrapavost površine. Na gladkost površine vplivata samo granulacija in gostota posipa brusilnega sredstva. Pri delu – obdelavi površin od grobih k bolj gladkim, granulacijsko število večamo postopoma. Nima smisla, da pri prehodu na bolj fin papir uporabimo naslednjo zaporedno stopnjo zrnavosti in ni priporočljivo izpuščati več kot eno višje granulacijsko število.

XII.C.iii. DODATNI PLASTI NA UPOGIBNEM BRUSILNEM SREDSTVU

Sodobna upogibna brusilna sredstva imajo na vrhu plast za izboljšanje drsnosti in preprečevanje zapolnjevanja sredstva za brušenje z delci odbrušenega materiala ter antistatično plast. Antistatična plast preprečuje, da bi se trak elektrostatsko nabil. Tako ne prihaja do iskrenja in do privlaka brusnega prahu nazaj na upogibno sredstvo za brušenje.

XIII. KOMPOZITI

XIII.A. DEFINICIJA KOMPOZITNEGA MATERIALA

Kompozit oz. kompozitni ali sestavljeni material je snov, ki je sestavljena vsaj iz dveh različnih komponent (sestavina, faza). Kompozitne materiale izdelujejo zato, da bi snovi izboljšali različne, največkrat mehanske lastnosti. Literaturni pregled pokaže, da ni enotne definicije kompozitnega materiala. Skupne značilnosti različnih opisov kompozitov lahko strnemo v naslednje:

- sestavine (faze) se med seboj razlikujejo po kemični sestavi in lastnostih,
- kompozitni ali sestavljeni material ima drugačne lastnosti kot so lastnosti posameznih sestavnih faz,
- posamezne komponente naj bo najmanj 5 %,
- sestavine se ne raztapljajo ena v drugi in so med seboj jasno ločene,
- različne komponente ne nastanejo iz homogenega materiala: komponente se pri pravih kompozitnih materialih med seboj ločijo ves čas, od njihovega nastanka, med obdelavo in med uporabo,
- med fazami ne sme biti kemičnih reakcij ali transformacij v celotnem področju uporabe,
- na stičnih ploskvah različnih snovi v kompozitu morajo biti adhezijske sile (vezivna energija) dovolj velike,
- v vsakem kompozitu je ena od snovi zvezna in predstavlja osnovo ali matriko kompozita. Za izraz »matrika« (*angl. matrix*) nekateri avtorji uporabljajo tudi besedi »matrika« ali matriks. Običajno gledamo na kompozit kot na matriko ali osnovo, ki ji z dodajanjem (z vgradnjo) druge sestavine izboljšamo lastnosti,
- druga faza se imenuje ojačevalna faza in je v večini primerov bolj trdna, trda in toga od matrike. Poznamo tudi obratno sestavljene kompozitne materiale,
- pomemben je tudi dimenzijski vidik: posamezni elementi sestavljenega materiala naj ne bi bili manjši od 0,01 cm ali pa naj bi jih bili sposobni videti s prostim očesom.

Zadnja zahteva v zgornjem opisu kompozitnega materiala se zdi z vidika definicije sporna: najnovejši materiali, nanokompoziti, se ne bi mogli uvrstiti med kompozitne materiale, saj je

velikostni red delcev vsaj ene izmed faz 1×10^{-9} nm in te faze prav gotovo ne moremo videti s prostim očesom.

Kompozitni materiali so lahko naravni ali sintetični. Najbolj odličen primer naravnega vlaknatega kompozitnega materiala je les. Vzdolžne votle celice obdajajo celične stene, v katerih so celulozna vlakna zavita spiralasto pod različnimi koti. Celulozna vlakna so med seboj povezana z ligninom. Drug primer kompozitnega materiala so kosti. Kost je primarno zgrajena iz kolagenskih vlaken. Vlakna so z zunanje strani obložena z drobnimi paličastimi kristali hidroksiapatita, kosti pa vsebujejo še vodo in maščobe.

Umetne sintetične kompozitne materiale v vsakdanjem življenju srečujemo prav pogosto. Taki snovi sta npr. asfalt in beton. Prav veliko kompozitnih materialov srečamo tudi na področju lesarstva: sem sodijo vezan les, iverne in vlaknene plošče, lesno-cementne plošče, ipd.

Katerih snovi ne uvrščamo med kompozitne materiale?

Poglejmo nekaj primerov, ki jih ne moremo šteti med kompozitne materiale. Tudi zlitina medenina je sestavljena iz dveh komponent – je trdna raztopina bakra in cinka. Vendar medenine prav zaradi dejstva, da je trdna raztopina, ne uvrščamo med kompozite. Obe sestavini – baker in cink – sta med seboj pomešani na atomarnem dimenzijskem nivoju, med seboj nista jasno ločeni z vmesno površino, faz seveda tudi na oko ne moremo ločiti med seboj. Podobno med kompozitne materiale ne moremo uvrstiti kopolimerov in tudi ne polimerov z dodatkom mehčal. Jekla se med seboj po svoji kemični sestavi in mikrostrukturi med seboj precej razlikujejo. Na sliki 115 lahko vidimo mikrostrukturo ene od vrst jekel in ugotovimo lahko, da je prisotnih več faz, ki so med seboj ločene z mejami med zrni in so različne kemične sestave. A vendar tudi jekel ne uvrščamo med kompozitne materiale. Zakaj? Jeklo je na videz homogena snov, različnih sestavin s prostim očesom ne moremo videti. In morda še pomembneje, komponente jekla, ki jih vidimo na sliki, so nastale iz v začetku homogenega materiala.



Slika 115: mikrostruktura ene od mnogih vrst jekel, ki jih ne uvrščamo med kompozitne materiale. (<http://www.matsci.ucdavis.edu/MatSciLT/EMS-162L/EMS-162L.htm> 15.12.2007, poslali smo prošnjo za dovoljenje za objavo in ni bilo negativnega odgovora)

XIII.B. ADHEZIJA

Ena izmed najpomembnejših zahtev za dober kompozitni material je zadostna vezivna energija med posameznimi sestavnimi deli kompozita. Adhezijske sile med posameznimi komponentami morajo biti dovolj visoke. Adhezijske sile so sile privlaka na stični površini dveh faz. Ko govorimo o adheziji, največkrat mislimo na sile privlaka na stični površini dveh različnih snovi, vendar bi bil

lahko to tudi privlak na stični površini dveh predmetov, ki sta narejena iz iste snovi. Adhezija je značilna površinska lastnost. Naštejmo nekaj primerov, kjer želimo čim boljše adhezijo: premazi na lesu, lepljen les, tisk, lakirana vozila, ipd. Seveda ni rečeno, da so velike adhezijske sile dobra lastnost. Primeri, kjer želimo čim manjšo adhezijo, so: drsenje smuči po snegu, drsalk po ledeni ploskvi, gibanje v krogličnih ležajih,...

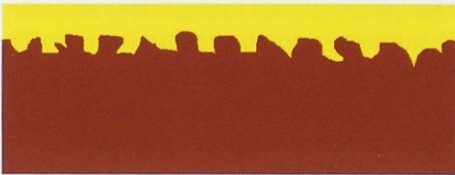
Medtem ko so adhezijske sile sile privlaka med dvema površinama, ki sta v stiku, so kohezijske sile sile znotraj snovi, med gradniki, npr. atomi ali molekulami.

Vzroke za sile privlaka med dvema površinama je težko razložiti. V splošnem poznamo štiri različne mehanizme adhezije, vendar teh mehanizmov ne moremo obravnavati ločeno. Mehanizmi so med seboj povezani, zato lahko le približno ocenimo, kateri mehanizem adhezije je v posameznem primeru pomembnejši in kateri manj. Mehanizmi adhezije so naslednji štirje:

1. mehansko sidranje,
2. difuzija,
3. elektrostatski privlak,
4. fizikalne (adsorpcija) in kemijske vezi.

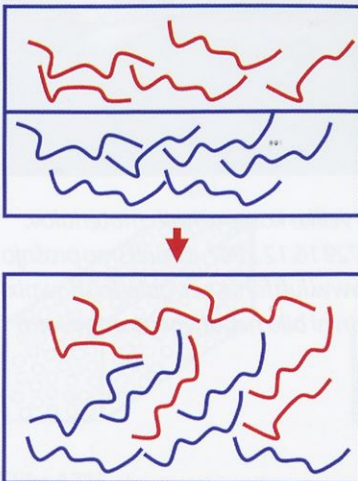
Naj povemo, da nekateri avtorji navajajo pet ali celo šest različnih mehanizmov adhezije. Razlika v predlaganem številu mehanizmov je posledica dejstva, da nekateri različne mehanizme v četrti točki (fizikalne in kemijske vezi) obravnavajo kot različne mehanizme adhezije.

Verjetno je najlažje razumeti **mehansko sidranje** (slika 116). Površina ene snovi je hrapava, porozna, druga snov pa je najprej tekoča in se nato strdi. Ko je snov še v tekočem stanju, zalije neravnine in ko se utrdi, v teh neravninah ostane »zasidrana«. Značilna primera, kjer lahko adhezijo opišemo v največji meri samo z mehanizmom mehanskega sidranja, sta oprijem površinskega premaza na lesu ter lepljen les.



Slika 116: shematski prikaz mehanskega sidranja.

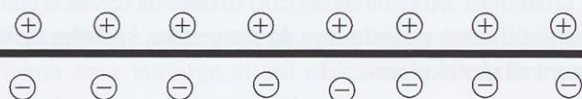
Difuzijska teorija razlaga adhezijo predvsem pri stiku polimernih materialov, ki so si med seboj podobni. Če so polimerne molekule dovolj gibljive, torej nad temperaturo steklastega prehoda, pride v tesnem stiku površin dveh polimernih snovi do pojava interdifuzije.



Slika 117: difuzijska teorija adhezije.

Elektrostatski privlak

S teorijo elektrostatskega privlaka razlagamo adhezijo predvsem pri stiku dveh različno električno prevodnih materialov. Ker ena snov bolj privlači elektrone kot druga, nastane električna dvoplast (slika 118), v kateri se različno nabiti površini privlačita.



Slika 118: elektrostatski privlak na stični površini.

Adsorpcija in različne kemijske vezi

Adsorpcijo imenujemo tudi disperzijska adhezija: privlak med dvema materialoma povzročajo van der Waalove sile. To so sile dipol-dipol ali dipol-inducirani dipol. Močnejši privlak od adsorpcije povzročajo kemijske vezi: šibkejša vodikova vez, na stični površini dveh različnih materialov pa je možen celo nastanek močnih kovalentnih ali ionskih vezi.

XIII.C. ZAKAJ KOMPOZITNI MATERIALI?

Kompozitne materiale izdelujejo zato, da bi dobili gradiva s takimi lastnostmi, ki jih komponente kompozitov, torej posamezni materiali nimajo. S pravilno izbiro komponent, deležem posameznih komponent, oblike in razporeditve faz v kompozitu je možno ciljno načrtovati in izdelati snovi z želenimi lastnostmi. Največkrat izboljšamo mehanske lastnosti: z vlakni ojačani kompozitni materiali imajo večjo udarno žilavost in natezno trdnost.

O uporabi kompozitnih materialov, pri katerih je ena od faz lignocelulozni material ter v lesarstvu nekaj več kasneje, poglejmo sedaj nekaj najbolj pogostih primerov uporabe na drugih področjih. Ker so kompoziti, posebej če je matrica polimerna snov, relativno lahki, in imajo hkrati odlične mehanske lastnosti ter lahko zdržijo velike obremenitve, so zelo pomembni v letalstvu. Prav tako te materiale veliko uporabljamo pri vodnih plovilih, cestnih vozilih z motorji ter npr. za kolesarske okvirje, še posebej pri športnih kolesih.



Slika 119: primera vozila in zračnega plovila, v katerih je vgrajenih veliko kompozitnih materialov. (Levo: <http://forum.autohoje.com/showthread.php?t=29729> 16.12.2007, poslali smo prošnjo za objavo in ni bilo negativnega odgovora; desno: <http://www.luftfahrt.net/galerie/showpix.php?id=21470> 16.12.2007, poslali smo prošnjo za objavo in ni bilo negativnega odgovora)



Slika 120: kolesarska čelada in okvir za kolo iz sodobnih kompozitnih materialov.

(Levo: http://www.epsira.com/kuvapankki/yad_pun.jpg 16.12.2007, prosili smo za dovoljenje za objavo in nismo prejeli negativnega odgovora; desno: <http://www.kgsbikes.com/go/news/showcase-griffen-kompressor-vulcan-tri-xtc-orange-sunburst> 16.12.2007, objavljeno z dovoljenjem Kevin Saunders, KGS Bikes, San Antonio, Texas, ZDA, www.kgsbikes.com)

XIII.D. MATRICA IN OJAČITEV

Kontinuirna, zvezna faza v kompozitnem materialu se imenuje matrica ali osnova. V njej so vgrajene druge sestavine, ojačevalna faza, ki matrici izboljšajo lastnosti.

Matrica

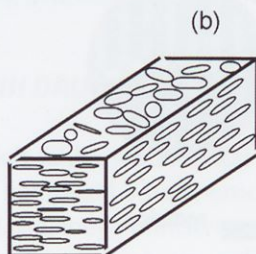
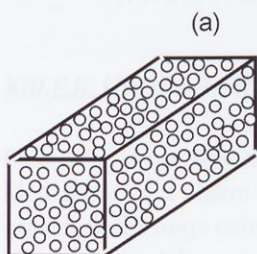
Polimeri, ki se v kompozitih najbolj pogosto uporabljajo kot osnova oz. matrica, so poliestri, poliepoksidi, poliakrilati, fenolne smole. Temperatura steklastega prehoda se pri polimerih, ki jih uporabljajo kot matrico, gibljejo v območju med 150 °C in 250 °C. Matrica kompozitnega materiala je lahko tudi kovina, manj pogosto razni keramični materiali.

Ojačevalna faza

Ojačitev matrice lahko dosežemo

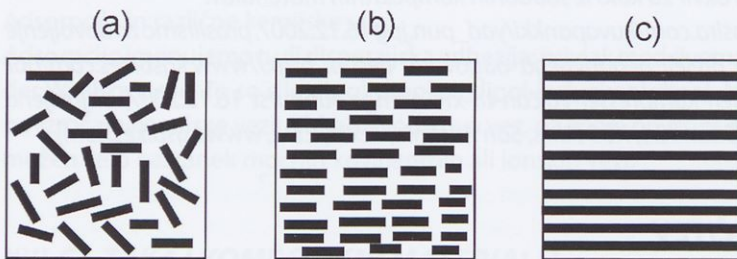
- disperzijsko,
- z delci,
- z vlakni,
- v obliki lameliranih struktur.

Med najbolj preproste oblike kompozitnih materialov bi lahko šteli penasta gradiva. V tem primeru je dodatni material v gradivu plin. Značilnost disperzijske ojačitve matrice je, da vsebujejo drobne delce premera od 0,05 μm do 10 μm . Ojačitev dosežemo tako, da dispergirani delci v matrici ovirajo širjenje razpok. Za ojačitev matrice z delci je značilno, da so le-ti večji od 10 μm . Delci matrico ojačajo tako, da preprečujejo širjenje razpok in hkrati nase prevzemajo del obremenitve, ki jim je izpostavljen kompozitni material. Delci so lahko v obliki drobnih kroglic ali so luskasti (slika 121).



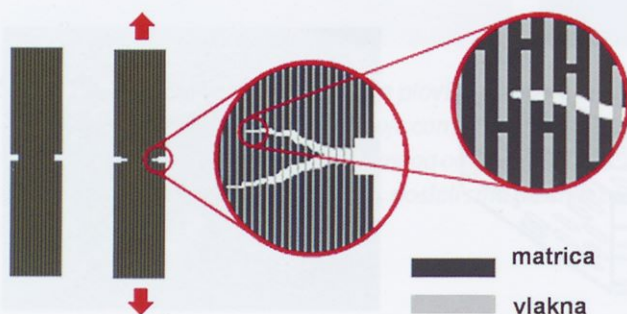
Slika 121: shematski prikaz zgradbe kompozitov s sferičnimi (a) in luskastimi (b) delci ter kompozit cementno vezivo – okrogli polistirenski delci (desno).

Glede na način ojačitve so najpomembnejši z vlakni ojačani kompoziti. V tej skupini ima matrica vlogo veziva, ki povezuje vlakna. Matrica prenaša obremenitev na vlakna, jih hkrati ščiti pred poškodbami in deluje kot medij za zaustavljanje napredovanja razpok. Osnovni nosilci obremenitev so vlakna, vendar je pri tem zelo pomembno, kakšna je trdnost stika med matrico in vlaknom. Vlakna so lahko kratka in naključno usmerjena ali orientirana, lahko tudi dolga in orientirana. Prav tako so lahko vlakna vgrajena v matrico po posameznih plasteh. Plasti so glede na orientiranost vlaken v njih v različnih medsebojnih položajih. Tako so lahko vlakna v različnih plasteh medsebojno vzporedna, navzkrižna pod različnimi koti ali naključno orientirana (slika 122). Skratka, pri z vlakni ojačanih kompozitih imamo na voljo zelo veliko različnih struktur. Če k temu prištejemo še različne materiale za matrice in za vlakna, ugotovimo, da je na voljo ogromno različnih kombinacij, od katerih ima vsaka neke svoje lastnosti, prilagojene namenu uporabe kompozita.



Slika 122: kompoziti, ojačani s kratkimi in naključno orientiranimi vlakni (a), s kratkimi, med seboj vzporednimi vlakni (b) ter kompoziti, ojačani z dolgimi vzporednimi vlakni (c).

Za vlakna najpogosteje uporabljamo steklo, ogljikova vlakna ter aramid (kevlar). S steklenimi vlakni ojačani materiali se odlikujejo po visoki trdnosti, dimenzijski stabilnosti, odpornosti proti vročini in vlagi, odpornosti proti koroziji ter po relativno nizki ceni in enostavni obdelavi. Za kompozite z ogljikovimi in grafitnimi vlakni je značilno zelo ugodno razmerje masa/trdnost, imajo dobro elastičnost, a na žalost tudi visoko ceno. Za kompozite z aramidnimi vlakni (kevlar) so značilne nizka masa, visoka trdnost in elastičnost, visoka udarna žilavost in odpornost proti mehanskim poškodbam. Na splošno je za kompozite, ojačane z vlakni, značilna visoka udarna žilavost. Z drugimi besedami lahko rečemo, da se razpoke po takem materialu zelo težko razširjajo. Poglejmo zakaj (slika 123). Visoka udarna žilavost z vlakni ojačenih kompozitov je spet lep primer povezave med zgradbo in lastnostmi snovi, tokrat kar na makroskopskem nivoju. Žilavost je odpornost materiala proti širjenju razpok oz. količina energije, ki jo material absorbira do porušitve ali delo, ki ga moramo vložiti, da pride do porušitve. Ko se po kompozitnem materialu prične širiti (mikrorazpoka), se širi le po matrici in ko pride do vlakna, spremeni svojo smer, lahko se tudi razcepi na več manjših razpok. Pot razpoke v kompozitu, ki je ojačan z vlakni, je torej daljša kot v gradivu brez vlaken. Daljša pot pomeni več vložene energije oz. večja žilavost. Če se na začetku ozka razpoka širi prečno na smer vlaken, mora v tem primeru premagati energijo, ki povezuje vlakna z matrico. Torej spet dodatna energije, ki je potrebna za zlom oz. večja žilavost. Dodatno v primeru, da je razpoka po materialu že precej napredovala in je postala široka, vlakna še vedno držijo material skupaj.



Slika 123: shematski prikaz načina ojačitve matrice z vlakni.

Lamelirani kompoziti so plastovite strukture, v katerih so velikokrat tudi posamezne plasti kompoziti. Plasti so med seboj povezane z lepili ali s toplotno ali kemično obdelavo površin lamel. Najbolj znan primer so vezane plošče, pri katerih so plasti lesa med seboj povezane z lepili na osnovi formaldehidnih smol.

XIII.E. KOMPOZITNI MATERIALI V LESARSTVU

Kot smo že večkrat omenili, kompozitne materiale na področju lesarstva v vsakdanjem življenju kar dobro poznamo. Tako med kompozite sodijo vezan les, iverne plošče, vlaknene plošče, laminati za talne obloge, ipd.

XIII.E.i. LESNO-POLIMERNI KOMPOZITI

Med novejšimi in komercialno že dodobra uveljavljenimi kompozitnimi materiali, pri katerih je ena od faz les, so lesno-polimerni kompoziti. Lesno-polimerne kompozite v glavnem izdelujejo iz recikliranih polimernih materialov ter iz predelanega odpadnega lesa, npr. lesnega prahu, lahko pa tudi različnih celuloznih vlaken. Za matrico se od polimernih materialov največ uporabljajo polietilen, polivinil klorid, polipropilen, polistiren, itd. Kompozite izdelujejo tako, da lesne delce ali vlakna zmešajo s polimerno maso, dodajo različne dodatke (npr. barvila, sredstva za penjenje, ipd.) ter iz zmeščane snovi izdelke oblikujejo z ekstrudiranjem ali z ulivanjem v modele. Lesno-polimerni kompoziti se po svoji obdelovalnosti obnašajo podobno kot les, zato jih lahko preoblikujemo z orodjem za les, po običajnih postopkih. Hkrati naj bi bili lesno-polimerni kompoziti od masivnega lesa bolj odporni proti lesnim škodljivcem, bolj odporni proti vlagi in vremenskim vplivom, prav tako naj jih ne bi bilo potrebno površinsko obdelovati z različnimi premazi. Vse omenjene trditve je potrebno sprejemati s previdnostjo, saj so na različnih znanstvenih sestankih poročali tudi o poškodbah lesno-polimernih kompozitov zaradi izpostavljenosti vremenu kakor tudi zaradi delovanja lesnih gliv in insektov. Iz lesno-polimernih kompozitov se največ izdeluje različne talne obloge za zunanjo uporabo, ograje, opažne plošče, vrtno pohištvo, okenske okvire in vratne podboje, ipd.



Slika 124: zunanja talna obloga iz kompozita les-polimer.

(<http://www.holzkomposit.de/images/dakterras.jpg> 21.7.2008, objavljeno z dovoljenjem W.Wieten, Fiberplast BV, Drachten, Friesland, Nizozemska, www.fiberplast.eu)

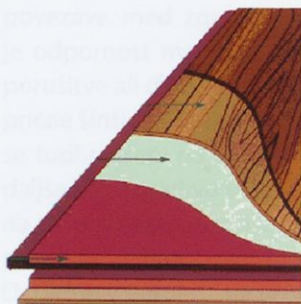
XIII.E.ii. UPORABA RAZLIČNIH DRUGIH KOMPOZITOV NA PODROČJU LESARSTVA

Predvsem v pohištvenih izdelkih lahko srečamo kar veliko različnih kompozitnih materialov. Med njimi so z vlakni ojačani kompoziti s polimerno matrico, ki jih uporabljamo za izdelavo ogrodij sedežnega oziroma oblazinjenega pohištva, različni kompoziti s kombinacijo polimerov in tekstilnih vlaken, za površinsko preoblačenje, polimerno-mineralni kompoziti za kuhinjske pulte in kopalniško pohištvo, ne nazadnje bi lahko med kompozite uvrstili tudi elastične penaste materiale v oblazinjenem pohištvu. Prav tako v skupino kompozitov uvrščamo tudi laminate.

Za različne izdelke, s katerimi so opremljeni bivalni prostori, so se uveljavili tudi polimerno-mineralni kompoziti. Matrica je običajno poliakrilat in manj pogosto poliester ali poliepoksidne smole. Ojačevalna faza so delci aluminijevega oksida trihidrata, aluminijevega hidroksida ali naravnih mineralov, npr. granita ali marmorja. Take kompozite uporabljajo za izdelavo kuhinjskih pultov in pomivalnih korit, umivalnikov, kadi in različnih odlagalnih površin v kopalnicah. Nekatera komercialna imena za te vrste snovi so Kerrock, Acrystone, Avonite, Coriane, Staron in Eco-terr. Skupna značilnost in prednost polimerno-mineralnih kompozitov je, da jih je možno obdelovati kot les ali mehke kovine. Lahko jih žagamo, rezkamo, stružimo, brusimo, poliramo, termično obdelujemo in vanje z običajnimi orodji tudi vrtamo. Rezila obdelavnih orodij morajo biti diamantna ali iz karbidnih trdin. Stružni noži za struženje in svedri so lahko izdelani tudi iz hitroreznega jekla. Pri vgradnji izdelkov iz polimerno-mineralnih kompozitnih materialov je potrebno upoštevati, da se pri segrevanju raztezajo, zato moramo pustiti prostor za dilatacijo. Ker ima linearni temperaturni razteznostni koeficient α materiala Kerrock po podatkih proizvajalca vrednost $4,1 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, mora imeti vgrajeni material na vsaki strani režo širine vsaj 1 mm na tekoči meter kompozitne plošče. Dilatacijske reže zapolnimo z nevtralnim silikonskim kitom. Polimerno-mineralni kompoziti so slabi prevodniki toplote in jo dobro akumulirajo. Zato moramo, če je kompozit v bližini toplotnega izvora, poskrbeti za zadostno odvajanje toplote. To storimo tako, da na njegov rob nalepimo trak iz aluminija.

XIII.E.iii. LAMINATI

Po definiciji je laminat vsak kompozitni material, pri katerem sta v celoto združeni dve plasti. Proces proizvodnje laminata imenujemo laminacija. Na področju lesarstva pod pojmom »laminat« običajno razumemo površinske folije ali plošče, narejene iz plasti papirja, tekstila iz naravnih ali sintetičnih vlaken ali lesa (furnirja). Plasti so prepojene z lepili, največkrat na osnovi formaldehidnih smol, ter nato stisnjene pri visokih temperaturah in pod visokimi tlaki. V vsakdanjem življenju pod besedo »laminat« napačno razumemo laminatne talne obloge. Pri le-teh so na neki osnovi, npr. iverni plošči, položeni laminati. Laminata lahko uporabljamo v dekorativne namene (npr. na talnih oblogah, obloge plošč z natisnjeno teksturo lesa, itd.) kakor tudi v nedekorativne, konstrukcijske namene (npr. zadnje stranice omar, dna predalov, ipd.). Glede na način proizvodnje poznamo visokotlačne in nizkotlačne laminata. Le-ti se med seboj razlikujejo po mehanskih lastnostih. Visokotlačne laminata bomo uporabili tam, kjer pričakujemo velike obremenitve, npr. pri talnih oblogah ali miznih ploščah. Po drugi strani nizkotlačne laminata uporabljamo takrat, ko ne pričakujemo večjih obremenitev med uporabo. Značilen primer so zadnje stranice omar.



Slika 125: primer plastovite zgradbe laminata za talne obloge.
(prirejenopoh^{http://fittinglaminatfloors.com/what_is_laminate_flooring.php}16.12.2007,
prosili smo za dovoljenje za priredbo in objavo, a negativnega odgovora ni bilo)

XIV. NANOTEHNOLOGIJA IN NANOMATERIALI

XIV.A. UVOD

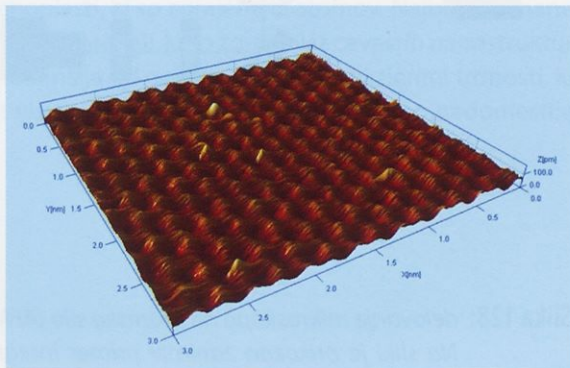
Nanotehnologijo bi gotovo lahko poimenovali tehnologija 21. stoletja. Čeprav začetki razvoja nanotehnologije segajo v zadnji desetletji prejšnjega stoletja, prav v zadnjih letih razvoj

nanotehnologije in nanomaterialov dosega silovit razmah. Rezultati tega razvoja preko komercialnih aplikacij že posegajo v naša vsakdanja življenja. Prav področje lesarstva je eno izmed področij, kjer so se nanotehnologije in nanomateriali že kar dobro uveljavili.

Za kaj gre? Nanotehnologija je interdisciplinarna veja temeljnih in aplikativnih znanosti, s katero lahko nadzorujemo in kontroliramo snov na submikroskopskem, atomarnem in molekularnem dimenzijskem nivoju. Od tod tudi ime. Predpona nano prihaja iz mednarodnega sistema enot in pomeni 10^{-9} . To je značilen dimenzijski nivo v svetu atomov in molekul. Gre torej za manipulacijo, sintezo in kontrolo snovi na ravni posameznih molekul oz. nanometrskih dimenzij. Nanotehnologija se pojavlja na vseh področjih industrije od kemijske in tekstilne industrije, računalništva in informatike, do transporta, energetike in avtomobilske industrije, še posebej na področju farmacevtske in obrambne dejavnosti. Omogoča izdelavo materialov ali naprav, ki so lažje, hitreje, močnejše, ki imajo popolnoma nove ali dodatne, specifične lastnosti. Nanoznanost pojasnjuje nove pojave in lastnosti (fizikalne, kemijske in biološke) na nanometrskem dimenzijskem nivoju.

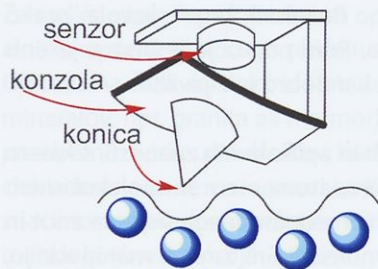
Nadzorovanje procesov, sestavljanje gradnikov v nanostrukture, je postalo možno šele, ko smo dobili za to primerna orodja, tunelski mikroskop in mikroskop na atomsko silo. Za izum tunelskega mikroskopa, ki omogoča opazovanje površin na atomskem nivoju (na površinah lahko s to tehniko vidimo atome in molekule), je bila leta 1981 podeljena Nobelova nagrada za fiziko. Tunelski mikroskop deluje na kvantnem pojavu tuneliranja. Če prevodni ali polprevodni površini močno približamo konico iz prevodnega elementa, pride do preskakovanja elektronov preko vmesnega vakuumu na konico in obratno. Pojav lahko s primerno tehniko zaznamo kot signal, ki omogoča postavitev tridimenzionalne slike površine, na kateri je možno razločiti posamezne atome. Mikroskop na atomsko silo predstavlja nadaljevanje razvoja tunelskega mikroskopa. Sodi v skupino mikroskopov s skupnim imenom vrstični preiskovalni mikroskopi (scanning probe microscopes). Če ostra konica mikroskopa drsi dovolj blizu opazovane površine, zaznava sile med konico in površino. Pod pojmom atomskih sil razumemo Van der Waalsove sile, kapilarne sile, elektrostatske sile, sile kemijskih vezi, itd. Razlike v silah, ki so posledica večje ali manjše oddaljenosti od atoma na površini, zaznamo kot signal, na osnovi katerega je možno zgraditi sliko površine z ločljivostjo na atomarnem nivoju. Konice mikroskopa ne uporabljamo samo za opazovanje atomov in molekul ampak tudi za postavljanje, izgradnjo nanostruktur.

Koncept nanotehnologije pripisujejo Nobelovemu nagrajencu Richardu Feynmanu, ki je že leta 1959 nakazal možnosti za manipulacijo posameznih atomov. Izraz nanotehnologija je uvedel in prvi uporabil Taniguchi leta 1974, ki jo je definiral kot proizvodno tehnologijo, s katero dosežemo izredno natančnost in ultramajhne dimenzije.

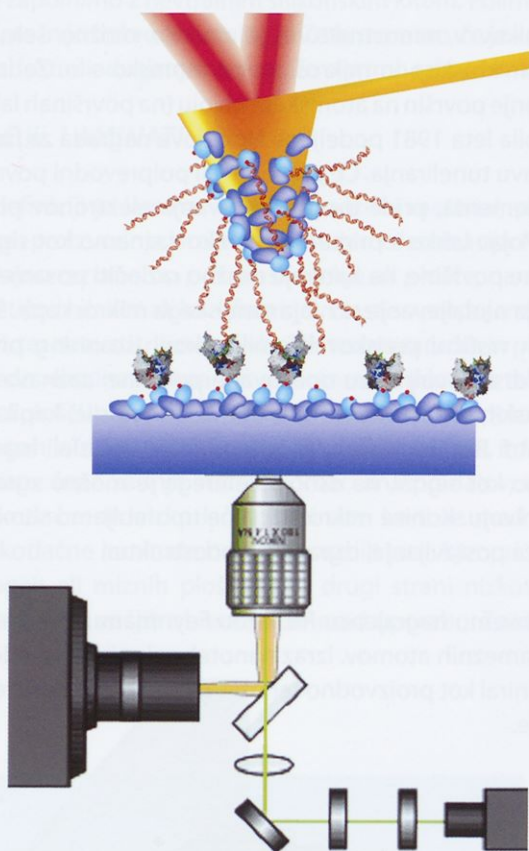


Slika 126: vrstični tunelski mikroskop (STM, levo) ter posnetek površine ogljika, narejen s STM, na katerem se jasno razločijo posamezni atomi (desno).

(Levo: <http://www.cbpf.br/~nanos/MENU/apresenta.htm> 9.12.2007, objavljeno z dovoljenjem Dr. Susana I. Zanette, CBPF, Rio de Janeiro, Brazilija; desno: <http://www.chem.uga.edu/mlay/nanogallery.htm> 19.12.2007, objavljeno z dovoljenjem Marcus D. Lay, Department of Chemistry, Faculty of Engineering, University of Georgia, Athens, Georgia, ZDA, <http://www.chem.uga.edu/mlay/>.)



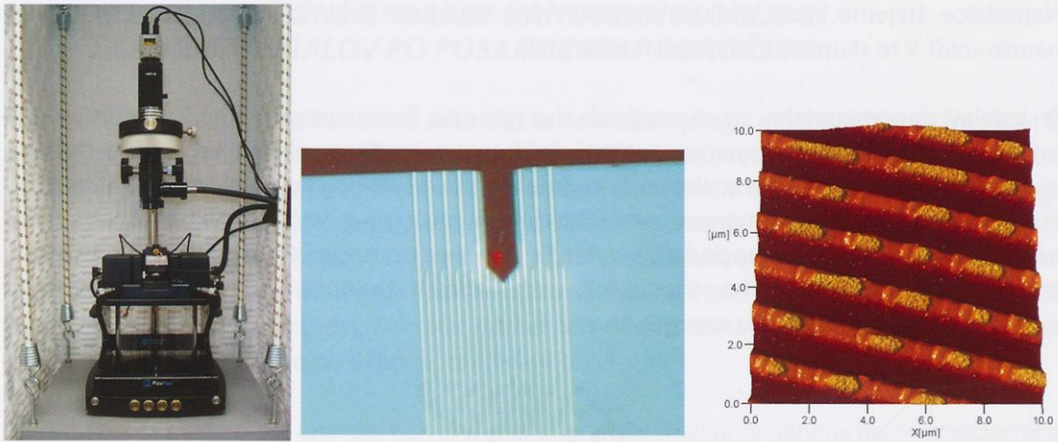
Slika 127: princip delovanja vrstičnega tunelskega mikroskopa (STM).



Slika 128: delovanje mikroskopa na atomsko silo (AFM).

Na sliki je prikazan zanimiv primer integracije mikroskopa na atomsko silo s tehniko monomolekularne fluorescenčne spektroskopije.

(<http://www.wfu.edu/~macoskjc/Courses/AFM.TIF> 19.12.2007, objavljeno z dovoljenjem Dr. Jed C. Macosko, Wake Forest University, Winston-Salem, North Carolina, ZDA, <http://www.wfu.edu/>)



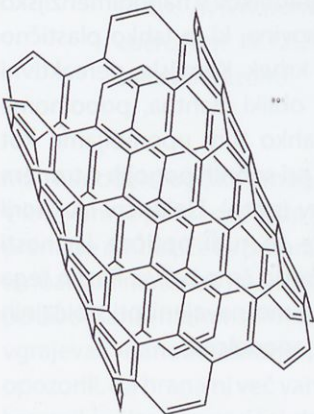
Slika 129: mikroskop na atomsko silo AFM (levo), konica mikroskopa (na sredini) in površina zgoščenke (CD) z zapisanimi podatki, posneta z AFM (desno).
(Vse tri slike je prijazno poslal in dovolil njihovo objavo, Marcus D. Lay, Department of Chemistry, Faculty of Engineering, University of Georgia, Athens, Georgia, ZDA, <http://www.chem.uga.edu/mlay>.)

XIV.B. NANOMATERIALI

Nanomaterial je snov, ki vsebuje nanostrukture dimenzij med 1 nm in 100 nm. Natančneje, velikost vsaj ene izmed dimenzij nanostrukture mora biti manjša od 100 nm. 100 nm je dimenzijska meja, pri katerih se lastnosti nanomateriala bistveno razlikujejo od lastnosti masivnega materiala. Zaradi svojih izredno majhnih dimenzij imajo namreč nanomateriali drugačne lastnosti od običajnih materialov. Nanostrukture so lahko plastovitih oblik, v obliki nanocevke in nanovlakna ter kot tridimenzionalni nanodelci.

Za plastovite nanostrukture je značilno, da je debelina plasti manjša od 100 nm. V to skupino sodijo npr. nanofilmi ali nano površinski premazi. Slednjih ne smemo mešati z »nano premazi«, ki to niso glede na debelino plasti, temveč jih tako imenujemo zaradi vsebnosti nanodelcev v filmu premaza.

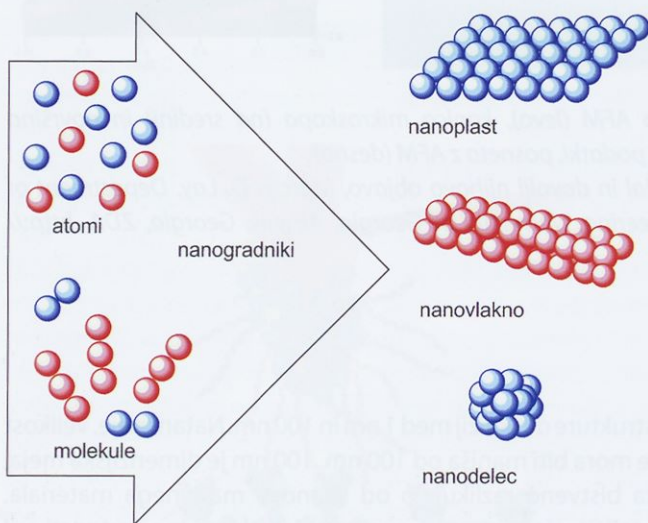
Snovi, ki imajo nanovelikostni nivo v dveh dimenzijah, so nanocevke (slika 130) in nanovlakna. Nanocevke so drobne, votle cevaste strukture, katerih premer ima dimenzijo reda velikosti 1 nm. Nanocevke bi lahko šteli kot v svitke zvite nanoplasti, ki so zgrajene iz atomov. Najbolj poznane so nanocevke, ki so zgrajene iz ogljikovih atomov. Materiali, ki so zgrajeni iz cevastih nanostruktur se odlikujejo po svoji nizki gostoti, ki je šestkrat nižja od gostote jekla ter po izjemni trdnosti, ki je v primerjavi s trdnostjo jekla kar 200krat višja. Tako bodo nanocevke verjetno nadomestile polprevodniške materiale na osnovi silicija.



Slika 130: shematski prikaz ogljikove nanocevke.

Nanodelce štejemo med tridimenzionalne nanostrukture. Taki so npr. nanoprecipitati ali nanokoloidi. V to skupino sodijo tudi nanokristali.

Pri izdelavi nanomaterialov sta se uveljavila dva principa. Prvega označujemo kot »bottom-up« pristop, torej od spodaj navzgor, kar pomeni, da iz atomov gradimo nekoliko večje nanostrukture in te uporabimo kot gradbene elemente za izdelavo še večjih, bolj kompleksnih nanoobjektov. Pri drugem načinu, tako imenovanem »top-down« pristopu iz večjih struktur proizvedemo nanostrukture. Tako so npr. na področju mikroelektronike s pomočjo konvencionalnih postopkov polprevodniške tehnologije na osnovi silicija uspeli izdelati strukture, ki so manjše od 100 nm in po definiciji padejo v skupino nanostruktur.



Slika 131: sestavljanje nanomaterialov od spodaj navzgor, po »bottom-up« principu.

XIV.C. LASTNOSTI NANOMATERIALOV

Dva glavna dejavnika, katerih posledica so bistveno drugačne lastnosti nanomaterialov v primerjavi z lastnostmi klasičnih materialov, sta: velika relativna velikost površine nanoobjektov v primerjavi z njihovim volumnom ter različni kvantni pojavi, ki v makro svetu ne pridejo do izraza. Ko se velikost delca manjša, se delež atomov na površini večja. Tako ima npr. nanodelec velikosti 30 nm na svoji površini 5 % vseh atomov nanodelca, pri 10 nm je takih atomov 20 %, pri 3 nm kar 50 %. Ker različne katalitske reakcije potekajo na površini, bodo snovi z nanodelci mnogo bolj reaktivne od klasičnih materialov. Različni kvantnomehanski učinki se npr. močno odražajo na elektronskih lastnostih nanomaterialov.

Poglejmo nekaj konkretnih primerov, kako se lastnosti nanosov ločijo od lastnosti običajnih snovi. Neprosojne snovi postanejo transparentne, če znižamo nivo gradnikov v nanodimenzijsko območje (baker). Baker je v običajni obliki zelo duktilna, mehka kovina, ki jo lahko plastično preoblikujemo. Če pa je baker zgrajen iz nanodelcev, je zelo trd in krhek. Kemijsko nereaktivni materiali se prelevijo v katalizatorje. Tudi zlato, ki je v običajni obliki žlahtna, popolnoma nereaktivna kovina, postane v nanoobliki zelo reaktivno in ga lahko tudi uporabljamo kot katalizator. Stabilne snovi postanejo vnetljive (aluminij). Snovi, ki so pri sobnih pogojih v trdnem agregatnem stanju, postanejo tekoče, če so zgrajene iz nanodelcev (zlato). Električni izolatorji ali polprevodniki postanejo električno prevodni (silicij). Zanimive so tudi optične lastnosti nanomaterialov. Tako so npr. tekočine z nanodelci zlata temno rdeče do črne barve. Razen tega lastnosti snovi, ki so zgrajene iz nanodelcev, niso konstantne, kot smo navajeni pri običajnih materialih, temveč so njihove lastnosti močno odvisne od velikosti nanodelcev.

XIV.D. PREGLED MOŽNE UPORABE NANOTEHNOLOGIJE IN NANOMATERIALOV PO POSAMEZNIH PODROČJIH

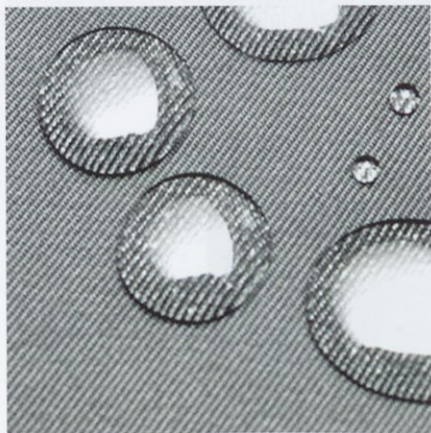
Čeprav se nanotehnologija večinoma še ni razvila do industrijskega merila, je število izdelkov, ki temeljijo na nanodelcih, na trgu že precejšnje. V mnogih primerih niti ne vemo, da gre za izdelek, ki temelji na lastnostih nanomaterialov. Tako so na fotografskih filmih nanodelci srebrovega jodida. Prav tako srečamo pigmente nanovelikosti v črnilih za brizgalne tiskalnike. »Samokopirni« papir, pri katerem se prepiše pisava na spodnji list, deluje tako, da vsebuje nanokapsule s črnilom na spodnji strani. Ko pišemo, zaradi pritiska stene nanodelcev počijo in sprostijo vsebino. Naša pisava se prepiše na spodnji list. Zelo star primer uporabe nanomaterialov so ogljikove saje kot polnilo v gumi. Le-te sodijo po definiciji med nanodelce.

Trenutno so v komercialni uporabi največ pasivni nanomateriali prve generacije. Sem sodijo npr. nanodelci titanovega dioksida v kremah za sončenje in drugih kozmetičnih izdelkih, srebrovi nanodelci v antibakterijskem embalažnem materialu, tekstilu in gospodinjskih aparatih (npr. na notranjih stenah hladilnikov ali v pralnih strojih), nanodelci cinkovega oksida v kozmetičnih izdelkih ter v površinskih premazih za les, ali delci cerijevega oksida, ki jih uporabljamo kot katalizator za boljše izgorevanje v tekočih gorivih.

Poglejmo natančneje trenutno in potencialno uporabo nanomaterialov pri nekaterih izbranih področjih:

XIV.D.i. NANOMATERIALI V ŠIROKOPOTROŠNIH IZDELKIH

Sodobne tekstilije, oplemenitene z nanomateriali, so odporne proti mečkanju ter proti madežem, lahko so vodoodbojne. Take tekstilije lahko peremo pri nižjih temperaturah in manj pogostokrat.



Slika 132: vodoodbojno blago, obdelano z nanodelci.

(http://www.nano-soluciones.com/tiendavirtual/productos_recubrimiento_textiles-cuero.htm 19.12.2007., objavljeno z dovoljenjem Nano Soluciones, Mehika, www.nano-soluciones.com)

Mali nanodelci ogljika omogočajo izdelavo tekstilij, ki ne prepuščajo elektromagnetnega sevanja. V kratkem je pričakovati, da bodo v blago vgrajevali mikroelektronske komponente. V površinske premaze embalaže za prehranske izdelke vgrajujejo antimikrobne nanodelce. Nanokompozitni embalažni materiali imajo lahko vsebini prilagojeno prepustnost za pline. Prav tako se odlikujejo po izboljšanih mehanskih lastnostih in odpornosti proti toploti. V prehransko embalažo bi lahko vgrajevali »nanodetektorje«, ki bi zaznali razkrojne produkte prehranskih izdelkov in potrošnike opozorili, da hrana ni več varna. V gospodinjstvih se že uveljavljajo samočistilne površine stekla in keramike. Nanokeramični delci izboljšajo gladkost in odpornost likalnih površin likalnikov proti visokim temperaturam. Na trgu so že prva sončna očala z anitirefleksijskimi tankimi polimernimi

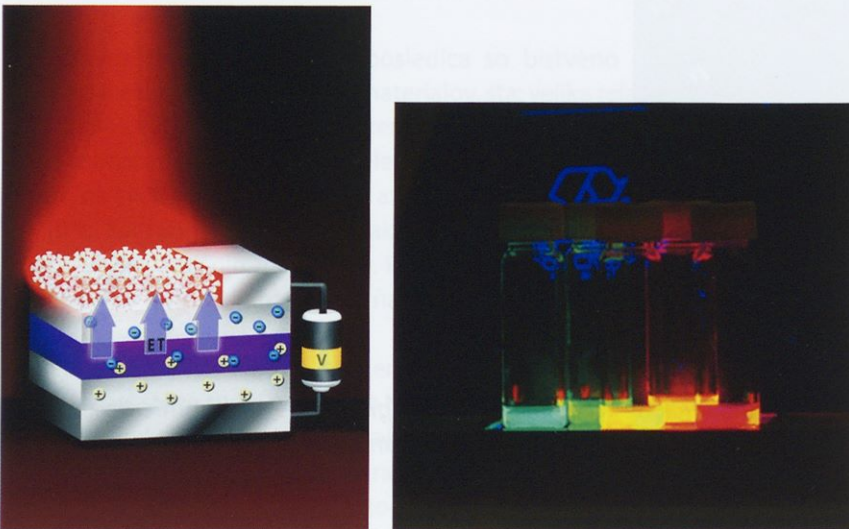
premazi, izdelanimi na osnovi nanotehnologije. Nanomateriali so se dodobra uveljavili v kozmetičnih izdelkih. Zaščitne kreme proti soncu, ki vsebujejo nanodelce titanovega dioksida, imajo odlične UV zaščitne lastnosti, a so hkrati popolnoma transparentne.

XIV.D.ii. KEMIJA IN VARSTVO OKOLJA

Nanotehnologija se je že uveljavila na področjih kemijske katalize in filtracijskih tehnik. Nanodelci so kot katalizatorji pomembni zaradi izredno velikega razmerja med površino in volumnom. Aplikacije najdemo pri katalizi izgorevanja, v katalitskih pretvornikih ter v fotokatalitskih pripravkih. Primer so že omenjeni nanodelci titanovega dioksida v samočistilnih površinah. Prav tako je možno sintetizirati nove materiale z vnaprej načrtovanimi lastnostmi. Nanofiltracijo, to je filtracijo tekočine pod tlakom skozi filter z ekstremno majhnimi porami, iz nanocev, premera pod 10 nm, uporabljamo v glavnem za odstranitev različnih ionov ter ločitev različnih tekočin. Filtracijo, kjer imajo pore premer med 10 nm in 100 nm, imenujemo ultrafiltracija. Ultrafiltracijo izvajamo npr. pri dializi. S pomočjo magnetnih nanodelcev je možno odstraniti težke kovine iz odpadnih vod.

ENERGETIKA

Zmanjšanje porabe energije lahko dosežemo z boljšimi toplotno izolacijskimi materiali, z uporabo učinkovitejših sistemov osvetljevanja ter z uporabo lažjih in bolj odpornih materialov za transport električne energije. Zanimivi so tudi svetleči fosforescentni nanodelci, tako imenovani »quantum-dots«. Nanodelci absorbirajo in emitirajo svetlobo, katere valovna dolžina (barva) je odvisna od njihove velikosti. Možno jih je vključiti v svetleče ali organske svetleče diode (LED ali OLED, slika 133). Taki svetilni elementi naj bi zamenjali sedanje klasične žarnice z zelo slabim izkoristkom, 5 %. Zaradi velike površine nanodelcev bo izkoristek novih žarnic skoraj 100 %. Prav tako bo z uporabo nanomaterialov možno izboljšati energetska učinkovitost sončnih celic. Okolju prijazno energijo lahko pridobivamo z gorivnimi celicami, v katerih so katalizator nanodelci žlahtnih kovin na ogljikovi osnovi (1 nm - 5 nm). Nanomateriali tudi vključujejo v zelo zmogljive električne baterije.



Slika 133: princip delovanja tim. »quantum-dots« (levo) in različne barve koloidnih raztopin z različno velikimi nanodelci, obsevanih z UV svetlobo (desno).

(Levo: <http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Achermann7RED.jpg> 20.7.2008, avtor: Marc Achermann, vir: Los Alamos National Laboratory, <http://www.sandia.gov/news-center/news-releases/2004/micro-nano/well.html> slika je po navedbi na spletni strani Wikipedie objavljiva brez obveznosti; desno: Wikipedia uporabnik »walkman 16«, objavljeno pod pogoji GNU Free Documentation license http://en.wikipedia.org/wiki/GNU_Free_Documentation_License, Verzija 1.2 ali katerakoli kasnejša verzija izdana od Free Software Foundation http://en.wikipedia.org/wiki/Free_Software_Foundation)

XIV.D.iii. MEDICINA

Nanomateriale bi lahko na področju medicine npr. uporabili za izdelavo kontrastnih sredstev za opazovanje celic, ali v terapevtske namene v primeru rakavih obolenj. Nanomateriali so zanimivi za povezavo z biološkimi materiali, saj so približno enakih dimenzij kot biološke strukture. Zato bi nanomateriale lahko uporabili tako za in-vivo kakor tudi za in-vitro biomedicinske aplikacije. Prav tako bi lahko nanotehnologijo uporabili v diagnostične namene. Nanodelci so idealni kot označevalci, za merjenje ali sledenje prisotnosti izbranih bioloških snovi. Nanodelci zlata so uporabni pri določanju genske sekvence. Uporaba nanodelcev prav tako omogoča večbarvno optično kodiranje pri bioloških poskusih. Nanotehnologija lahko priskoči na pomoč pri reprodukciji ali obnovi poškodovanega tkiva.

XIV.D.iv. FARMACIJA

Natančno doziranje zdravilnih učinkovin je mogoče doseči z nanoporoznimi materiali, ki malo molekulo zdravilne učinkovine transportirajo na želeno mesto v telesu. Kažejo se možnosti za zdravljenje raka z nanodelci zlata ali železa. Nanotehnologija odpira možnosti doziranja učinkovin iz vgrajenih implantatov, namesto klasičnega načina z injekcijami.

XIV.D.v. INFORMACIJSKO KOMUNIKACIJSKE TEHNOLOGIJE

Polprevodniška tehnologija je zasnovana na pristopu "od zgoraj navzdol". Tako so dimenzije integriranih vezij trenutno že na nanonivoju, okrog 50 nm. Novi sistemi, ki temeljijo na nanotehnologijah, vodijo k visoki gostoti podatkov na trdih diskih. Pomembna značilnost nanocevk iz silicijevega dioksida premera 50 nm je zmožnost prenašanja svetlobe večje valovne dolžine kot je njihova širina. V praksi to pomeni prenos informacij z večjo zanesljivostjo. Ogljikove nanocevke omogočajo izdelavo monitorjev z zelo nizko porabo energije. Kvantne pojave pri nanomaterialih bodo izkoriščali tako imenovani kvantni računalniki.

XIV.D.vi. PROIZVODNJA ZRAČNIH PLOVIL IN VOZIL

Lažji in močnejši materiali omogočajo izdelavo zmogljivejših in varnejših vozil in zračnih plovil. Materiali v motorjih z notranjim izgorevanjem bodo bolj odporni proti visokim temperaturam ter proti obrabi.

XIV.E. NANOTEHNOLOGIJA IN NANOMATERIALI NA PODROČJU LESARSTVA

Tako kot na druga področja tudi na področje lesarstva nanotehnologija in nanomateriali kar hitro prodirajo. Na trgu so že različni komercialni produkti na osnovi nanomaterialov. Seveda je še bistveno več kratkoročnih, srednjeročnih in dolgoročnih načrtov, kje vse bi lahko v lesarstvu uporabili nanomateriale.

Najpomembnejše je dejstvo, da je les sam po sebi pravzaprav nanokompozitni material. Celulozna vlakna so glede na svojo definicijo nanovlakna (slika 134). Trenutno štejemo ogljikove nanocevke (oz. nanovlakna) za najbolj trdno gradivo, ki ga je izdelal človek. Trdnost celuloznih nanofibril je tudi zelo visoka, saj znaša kar 25 % trdnosti ogljikovih nanocevk. Zato bi lahko, ali jih celo že, celulozna nanovlakna uporabljali za izdelavo različnih nanokompozitnih materialov z močno izboljšanimi mehanskimi lastnostmi. Ena možnost je, da bi celulozna nanovlakna nadomestila keramična in kovinska vlakna v kompozitih, ki so ojačani z vlakni. Na splošno je poznavanje interakcij lignoceluloznih nanomaterialov z drugimi nanomateriali še zelo slabo raziskano, zato raziskave na področju nanoznanosti v lesarstvu intenzivno potekajo v tej smeri.

XIV.E.i. NANOKOMPOZITI Z LIGNOCELULOZNIMI NANOMATERIALI

V to skupino nanomaterialov sodijo polimerni kompoziti, ojačani s celuloznimi nanovlakni,

nanokompoziti s celuloznimi nanovlakni in nanodelci gline, nanokompoziti z nanoceluloznimi kristali, ipd. Za take materiale je značilno, da so lahki in po drugi strani trdni materiali. Mehanske lastnosti nanokompozitov z nanoceluloznimi vlakni ali delci naraščajo proporcionalno z zmanjšanjem velikosti nanodelcev. Nove snovi so primerne za uporabo v gradbeništvu. Ker so nanocelulozna vlakna biološki material, se odlično kombinirajo z drugimi snovmi z materiali biološkega izvora. Tako so npr. v kombinaciji s karboksimetil celulozo izdelali nanofiltre, ki so primerni za dializo ali ultrafiltracijo. Odlične rezultate so z dodajanjem nanomaterialov dosegli na področju lesnih kompozitov. Le-ti imajo izboljšane mehanske lastnosti in boljšo odpornost proti UV svetlobi.

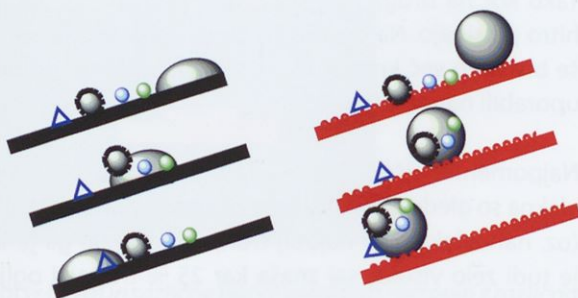


Slika 134: TEM posnetek celuloznanokristalov.

(Slika je poslal in dovolil njeno objavo prof. dr. John Simonsen, Oregon State University, Corvallis, Oregon, ZDA, <http://woodscience.oregonstate.edu/faculty/simonsen/index.htm>)

XIV.E.ii. POVRŠINSKI PREMAZI ZA LES

Področje, povezano z lesarsko dejavnostjo, na katerem so se nanomateriali najbolj komercialno uveljavili, je prav gotovo površinska obdelava oz. so premazi za les ter za druge materiale, ki jih v lesnih izdelkih uporabljamo skupaj z lesom. Samočistilno steklo, na katerega površini so hidrofilne snovi ter katalizatorski nano titanov dioksid, smo že omenili. Podoben samočistilni učinek predstavlja tudi efekt lotosovega lista ali na kratko lotosov efekt (slika 135).



Slika 135: lotos z vodoodbojnimi listi (levo), ter shematski prikaz lotosovega samočistilnega efekta (desno).

(Levo: <http://yoga-love.blogspot.com/> 19.12.2007, prosili smo za dovoljenje za objavo, a negativnega odgovora nismo prejeli)

Vendar je osnova lotosovega efekta popolnoma drugačna kot pri katalizatorskih nano samočistilnih površinah. Z nanotehnologijo je znanstvenikom uspelo izdelati površine, ki so

hrapave na nanonivoju, tako kot je v naravi zgrajena površina vodoodbojnih lotosovih listov. Mimogrede, posnemanje struktur iz narave imenujemo biomimetika. Zaradi »nanohrapavosti« površine, le-te vodne kapljice ne omakajo. Vodne kroglice s površine takoj odtečejo oz. spolzijo. Na njihovi poti se jih zaradi površinske napetosti vode oprimejo delci umazanije, ki jih voda odplakne. S premazi, ki vsebujejo nanodelce in modificirajo površino lesa na molekularnem nivoju, so torej dosegli izvrstno hidrofobnost površin (slika 136). Tudi umazanija v snovi, ki so obdelane s takimi premazi, ne more prodreti.



Slika 136: hidrofobna površina lesa, obdelanega s sredstvom z nanodelci.

(<http://machinedesign.com/ContentItem/59413/NanowasteTheNextbigthreat.aspx> 19.12.2007, prosili smo za dovoljenje za objavo, a negativnega odgovora nismo prejeli. Po navedbi na navedeni spletni strani je bila površina lesa obdelana z nano-vodoodbojnim premazom Minor, proizvajalca BASF)

Za potrebe avtomobilske industrije so izdelali premaze z odlično odpornostjo proti udarcem in razenju. Take lastnosti so posledica vsebnosti nanodelcev kompleksnih oksidov silicija. Dodatno se premazi odlikujejo z visokim sijajem ter odpornostjo proti kislinam in vodnim madežem. Izkušnje kažejo, da prav pri površinskih premazih rešitve s področja obdelave kovin hitro prodrejo na področje površinske obdelave lesa, kar se bo prav gotovo zgodilo tudi v primeru mehansko odpornih premazov z nanodelci.

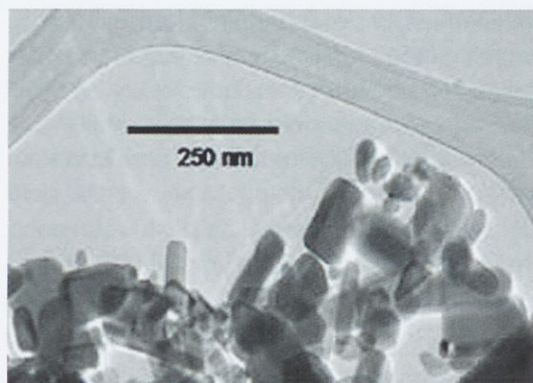
Spomočjo nanotehnologije so že izdelali površinske premaze, ki imajo povečano ognjeodpornost, odpornost proti vremenskim vplivom (vlagi, UV žarkom) ter proti biotskim dejavnikom razkroja. Na področju tekstilstva so v komercialni uporabi izdelki za zaščito blaga pred madeži, kar že prenašajo tudi na področje lesnih premazov.

Ker se je nano titanov dioksid že uveljavil v kozmetični industriji kot odlično zaščitno sredstvo proti UV sevanju, je na dlani podobna uporaba tudi v premazih za les.

Ne nazadnje naj omenimo še premaze z nanodelci za rezalna orodja z visoko odpornostjo proti obrabi.

XIV.E.iii. NANODODATKI V SREDSTVIH ZA OBDELAVO LESA

Med dodatki v obliki nanodelcev moramo na prvem mestu omeniti sredstva z biocidnim delovanjem, ki jih že uporabljajo v komercialnih zaščitnih sredstvih za les. Zaščitna sredstva za les z biocidi v obliki nanodelcev ali v nanokapsulah, iz katerih se sproščajo kontrolirano, so okolju prijaznejša alternativa klasičnim zaščitnim sredstvom, kot so npr. raztopine CCA ali CCB. Kot biocidi v nanoobliki uporabljajo srebro (Ag) in cinkov oksid (ZnO). Nanodelci ZnO prodrejo v lumne in celo stene lesnih celic in tako zagotavljajo dolgotrajno zaščito (slika 137). Nanodelci glinice pa lahko izboljšajo odpornost površin proti gorenju.



Slika 137: zaščitni nanodelci ZnO v lumnu lesne celice.

(<http://www.azonano.com/Details.asp?ArticleID=1731> 19.12.2007, prosili smo za dovoljenje za objavo, negativnega odgovora ni bilo. Les je bil zaščiteno s sredstvom NanoTek® Zinc Oxide, proizvajalca Nanophase Technologies Corporation, Romeoville, Illinois, ZDA, <http://www.nanophase.com/>)

XIV.E.iv. LEPILA ZA LES

Prav tako kot pri površinskih premazih za les, so uspeli izdelati sodobna lepila za les, ki vsebujejo nanodelce in se odlikujejo po izboljšani trajnosti ter odpornosti proti vlagi in ognju.

XIV.E.v. VARSTVO IN OBNOVA LESENIH OBJEKTOV KULTURNOZGODOVINSKE DEDIŠČINE

V razvoju so nanokompozitni materiali s polimerno matrico in nanodelci, za sanacijo oz. utrditev poškodovanih (npr. z glivami in insekti razkrojenih) delov lesenih predmetov kulturnozgodovinske dediščine. Raziskave kažejo, da imajo taki materiali v primerjavi s klasičnimi boljše vezavo na les ter odpornost proti staranju.

XIV.E.vi. NOVI MATERIALI IN IZDELKI IZ LESA

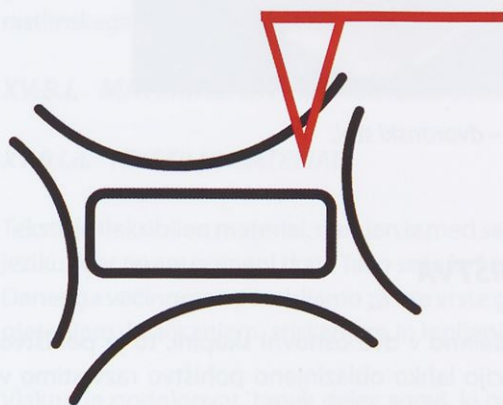
Nekoliko dlje od komercialne uporabe v primerjavi s prej opisanimi primeri so različni novi materiali in izdelki iz lesa, proizvedeni z nanotehnološkimi postopki. Sem sodijo npr. ekstrahirane celulozne nanofibrile kot surovina za druge izdelke, uporaba kmetijskih odpadkov za izdelavo lesu podobnih materialov ter proizvodnja prehrabnih izdelkov iz lesnih ostankov. Gre za popolnoma nove smeri razvoja lesnopredelovalne industrije. Pojavila se je tudi ideja izdelave keramike iz lesnih vlaken, ki bi jih predelali v silicijev karbid. Novi nanokatalizatorji bodo olajšali izdelavo biogoriv iz lignoceluloznih materialov. Vsi ti primeri kažejo na to, da bodo gozdovi dobili popolnoma novo vlogo: ne bodo samo vir lesne mase temveč tudi vir za proizvodnjo različnih kemikalij ter nanodelcev, s katerimi bo mogoče nadomestiti izdelke rafinerij nafte.

XIV.E.vii. NANOMATERIALI ZA SODOBNE SENZORJE

Nanotehnologija omogoča tudi izdelavo različnih sodobnih senzorjev, ki bi jih lahko vključili tudi v izdelke iz lesa. Le-te bi lahko uporabili za izboljšanje energetske učinkovitosti (ocenjuje se do 50 % možno zmanjšanje porabe energije) predelave lesa v surovine za izdelavo papirja. Nove senzorje bi bilo mogoče vgraditi v lesene konstrukcije, lesne plošče, strukturne kompozite ipd. za nadzor nad vsebnostjo vlage, obremenitvami, prisotnostjo termitov, okužbami z glivami razkrojevalkami lesa, ipd. Prav tako bi lažje nadzorovali in uravnavali emisije hlapnih organskih spojin iz obratov za obdelavo in predelavo lesa.

XIV.E.viii. RAZISKAVE LESA Z NANOINDENTACIJO

Nazadnje omenimo še možnost raziskav mehanskih lastnosti lesa s postopkom tako imenovane nanoindentacije (slika 138). Postopek lahko uvrstimo med nanotehnološke postopke in se že uporablja. V les vtiskamo konico in nato izmerimo nastale poškodbe. Razlika od klasičnega postopka določanja trdote je v tem, da je konica nanodimenzijskega nivoja. Take so tudi poškodbe v lesu, ki jih s tem postopkom povzročimo. Tako lahko proučujemo lastnosti celičnih sten oz. celo posameznih plasti celičnih sten. Določamo npr. trdoto in modul elastičnosti.



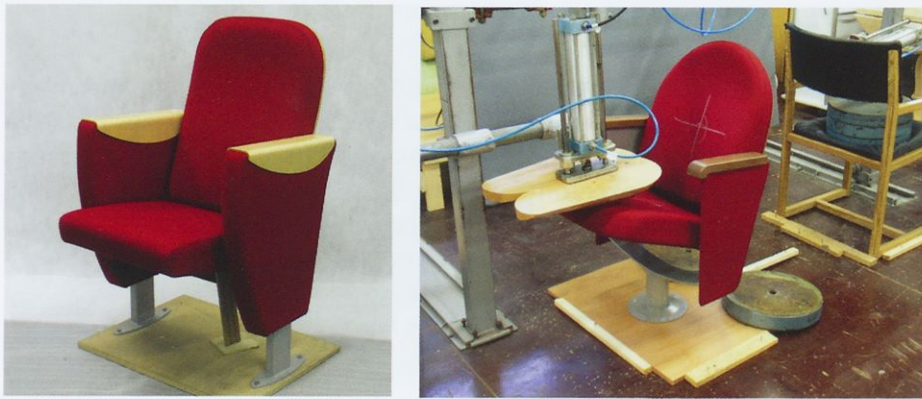
Slika 138: shematski prikaz nanoindentacije na celični steni.

XIV.F. VPLIVI NANOMATERIALOV NA ZDRAVJE

Navkljub mnogoterim prednostim, ki jih prinaša nanotehnologija v naša življenja, moramo biti pri uporabi nanomaterialov ekstremno previdni. Na prvem mestu zato, ker vplivi mnogih nanosnovi, s katerimi bomo prihajali v stik, še niso preskušeni z vidika njihovih možnih negativnih učinkov na zdravje človeka. Nekatere raziskave kažejo, da imajo določeni nanomateriali povečano toksičnost. Predvsem je problematična velika površina nanodelcev in s tem zvezana povečana reaktivnost nanosnovi. Nanodelci lahko prodrejo v telo preko kože, pljuč in prebavnega trakta ter v notranjih organih povzročajo vnetja in različne poškodbe. Podobno kot mala azbestna vlakna, bi tudi nanodelci v telesu lahko sprožili razvoj rakastih obolenj.

XV. MATERIALI V OBLAZINJENEM POHIŠTVU

Oblazinjeno pohištvo je skupina izdelkov lesne industrije, v katerih je razen lesa še veliko različnih drugih materialov. V oblazinjenem pohištvu nelesni materiali večinoma celo prevladujejo, včasih v njih lesa in lesnih tvoriv sploh ni. Vse najpomembnejše skupine materialov ter povezave med njihovo notranjo zgradbo ter lastnostmi smo v učbeniku že obravnavali. S tega vidika posebno poglavje o materialih za oblazinjeno pohištvo niti ne bi bilo potrebno. A ker je oblazinjeno pohištvo zelo specifična skupina izdelkov, s posebnimi zahtevami in lastnostmi, je poglavje o materialih v oblazinjenem pohištvu vseeno del tega učbenika. Ne nazadnje pri oblazinjenem pohištvu srečamo gradiva, o katerih do sedaj še nismo govorili – npr. tekstil in usnje – in si zaradi svoje pomembnosti tudi zaslužijo našo pozornost.



Slika 139: izdelek iz skupine oblazinjenega pohištva – dvoranski stol.
(foto S. Rudolf)

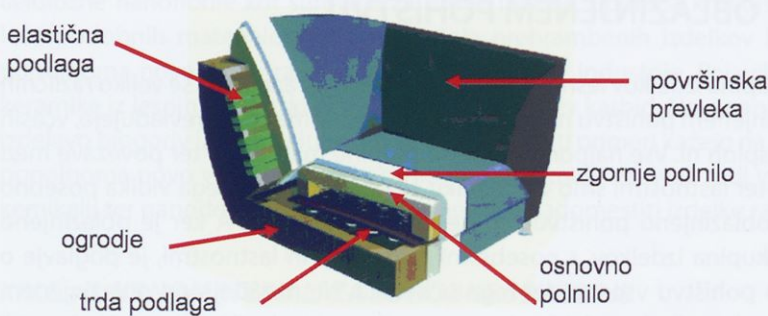
XV.A. ZGRADBA OBLAZINJENEGA POHIŠTVA

Oblazinjeno pohištvo glede na namen uporabe delimo v dve osnovni skupini, to je pohištvo za sedenje in pohištvo za ležanje. Glede na funkcijo lahko oblazinjeno pohištvo razvrstimo v naslednje skupine:

- pohištvo za sedenje,
- pohištvo za ležanje,
- večfunkcijsko oblazinjeno pohištvo (sedenje, počitek, ležanje),
- delovno oblazinjeno pohištvo (npr. pisarniški stoli),
- oblazinjeno pohištvo za posebne namene (za uporabo pri fizioterapiji, v bolnišnicah, v kozmetičnih in frizerskih salonih, ipd.).

Ne glede na zgoraj navedene funkcije lahko ugotovimo, da je vse oblazinjeno pohištvo zgrajeno iz naslednjih osnovnih elementov, razvrščeno od zunaj navznoter:

- dekorativna površinska plast,
- plast, ki zagotavlja primerno mehko oz. udobje,
- elastično jedro,
- trda ali elastična podlaga,
- ogrodje oz. okvirna konstrukcija (skelet izdelka).



Slika 140: sestavni deli oblazinjenega pohištva.

(prirejeno po <http://www.cpi.si/files/userfiles/Datoteke/ucnagradaiva/Lesarstvo/Tapetnik/VISOKO%20BLAZINJENJE.pdf> 6.1.2007)

XV.B. MATERIALI ZA OBLAZINJENO POHIŠTVO

Če sledimo skupinam konstrukcijskih elementov oblazinjenega pohištva, lahko na tej osnovi razdelimo materiale za izdelavo oblazinjenega pohištva v naslednje skupine:

- materiali za površinsko preoblačenje,
- polnilni materiali,
- vzmetni materiali oz. gradiva za izdelavo elastičnega jedra,
- materiali za podlago,
- materiali za ogrodje,
- pomožni materiali.

Zgornja razvrstitev materialov za oblazinjeno pohištvo seveda ni edina možna. Materiale bi glede na izvor lahko razdelili na naravne, sintetične in kombinirane, naravne še naprej na gradiva rastlinskega izvora, gradiva živalskega izvora ter na naravne mineralne materiale.

XV.B.i. MATERIALI ZA POVRŠINSKO PREOBLAČENJE IZDELKA

XV.B.i.a. TEKSTILNI MATERIALI

Tekstil je fleksibilen material, narejen iz med seboj povezanih vlaken. Beseda ima izvor v latinskem jeziku, kjer *texere* pomeni tkati. Tako se je izraz v ožjem smislu nekdanj uporabljale za tkano blago. Danes ga večinoma uporabljamo za vse vrste gradiv, ki jih iz vlaken dobimo s predenjem, tkanjem, pletenjem, kvačkanjem, stiskanjem in lepljenjem, ipd.

Vlakno je podolgovat, tanek delec snovi, ki ga lahko predemo v prejo oz. predivo, sukamo v nit ali sukanec ali stisnemo v vlaknovino. Značilne lastnosti blaga izhajajo iz lastnosti vlaken, zato je le-te potrebno poznati. Lastnosti vlaken, ki so pomembne za lastnosti tekstilnih izdelkov, obravnavamo v treh skupinah.

Med fizikalnimi lastnostmi vlaken so najpomembnejše dolžina, finost vlaken, gostota, higroskopnost, natezna trdnost, razteznost, lesk, odpornost proti toploti in svetlobi, ipd.

Dolžina: tekstilna vlakna po dolžini razvrščamo na vlakna z omejeno dolžino, ki jih imenujemo predivo ter na vlakna z neomejeno dolžino, ki se imenujejo filamentna preja. Dolžino kratkih vlaken izražamo v mm ali cm, dolžino dolgih vlaken v m ali celo km. Za kvalitetno blago je posebej pomembno, da je dolžina vlaken čim bolj enakomerna. Bombaževa vlakna imajo npr. dolžino do 50 mm, volnena do 300 mm, lanena do 900 mm.

Finost vlaken: debelino (v μm) je zelo težko izmeriti, zato jo običajno izražamo s podatkom o masi na enoto dolžine. Tako je 1 tex definiran kot masa vlakna v g na 1000 m dolžine. Od finosti so odvisni trdnost preje, mehkost, lesk in otip.

Trdnost: najpomembnejša je natezna trdnost vlaken. Natezna trdnost je pomembna za predelavo v prejo in tudi za končne lastnosti tekstilnih izdelkov. Vlakna z nizko trdnostjo se težko predelujejo in hitro trgajo. Vlakna z visoko trdnostjo uporabljamo za izdelavo tankih in lahkih izdelkov. Trdnost vlaken se spreminja z vlago.

Oblika prereza vlakna: je lahko okrogla, ovalna, mnogokotna, pri kemičnih vlaknih nazobčana, zvezdasta, votla, itd. Neokrogla vlakna imajo boljše predilne lastnosti, drugačen lesk, boljše toplotno izolacijske lastnosti, bolje se barvajo, izdelki imajo boljši otip in videz.

Enakomernost: enakomerna vlakna so si čimbolj podobna v dolžini, finosti in drugih lastnostih. Enakomernost močno vpliva na ceno vlaken, ker je predelava enakomernih vlaken cenejša, lažja, preje in izdelki so lepši.

Površina vlaken: po površini so vlakna gladka, hrapava, luskasta, zavita, kodrava, nalomljena. Vlakna z gladko površino se teže predejo in slabše sprijemajo.

Tudi **gostota**, ki jo običajno izražamo v g/cm^3 , je pomemben podatek o vlaknih. Nizka gostota vlaken daje bolj voluminozne tekstilne materiale.

Sorpcijske lastnosti: vlakna iz svoje okolice vežejo vlago ali jo oddajajo, dokler ne dosežejo ravnovesne vlažnosti. Vlažnost vlaken je odvisna od vlažnosti okolja in od vrste vlaken in se spreminja s temperaturo in vlažnostjo okolja. Vsa naravna vlakna in kemična vlakna iz naravnih polimerov so hidrofilna, sintetična vlakna pa so bolj ali manj hidrofobna.

V skupino kemičnih lastnosti vlaken uvrščamo predvsem njihovo odpornost proti kislinam, bazam ter sredstvom z oksidativnim delovanjem. Pod biološkimi lastnostmi vlaken razumemo njihovo odpornost proti različnim mikroorganizmom in raznim insektom.

Po kemični sestavi ločimo organska in anorganska vlakna. Primer organskih naravnih vlaken so bombažna vlakna, organskih sintetičnih so npr. poliestrska vlakna, anorganska naravna so npr. azbestna vlakna. V praksi se je najbolj uveljavila delitev tekstilnih vlaken glede na njihov izvor:

1. Naravna vlakna

a. organska

i. vlakna rastlinskega izvora

1. semenska
bombaž
2. stebelna
lan, konoplja, juta, ramija
3. listna
manila, sisal
4. plodovna
kokos

ii. vlakna živalskega izvora

1. volna, dlake
2. svila

b. anorganska

azbest

2. Kemična vlakna

a. organska

i. iz naravnih polimerov

1. iz celuloze
viskozna vlakna
acetatna vlakna
bakrova vlakna
2. iz beljakovin
kazeinska vlakna
proteinska vlakna
3. iz kavčuka
gumijaste niti

ii. iz sintetičnih polimerov

1. polimerizacijska vlakna
polietilenska, polipropilenska, polivinilkloridna, poliakrilonitrilna
2. polikondenzacijska vlakna
poliamidna, poliestrska, aramidna
3. poliadiacijska vlakna
poliuretanska, elastanska

b. anorganska

kovinske niti, steklene niti

V nadaljevanju pogledjmo nekaj najpomembnejših lastnosti tekstilnih vlaken oz. tekstilnih materialov iz teh vlaken:

Bombaž

Bombaž sodi v skupino semenskih vlaken rastlinskega izvora in je verjetno najpomembnejše tekstilno vlakno. Pridobivajo ga iz semen rastline bombaževca. Poznanih je več kot 500 vrst bombaževca, ki sodi v rod *Gossypium*. Ročno obran bombaž daje boljšo kvaliteto vlaken kot strojno obrane rastline. Debelina vlaken variira v območju med 10 μm do 20 μm . Bombaževa vlakna so kemično gledano čista celuloza. Celulozne polimerne molekule so v vlaknih razporejene tako, da jim dajejo visoko natezno trdnost. V vsakem vlaknu je okrog 20-30 plasti celuloze, ki so uvite tako, da tvorijo splet vzmeti. Ko se splet odpre, dobimo prepletene ploščate, zvite oblike, kar naredi bombažna vlakna idealna za sukanje v sukanec.

Najpomembnejše lastnosti bombaža so:

- bombažno blago je mehko in prijetno,
- se precej mečka,
- absorbira vlago (ker je bombaž iz celuloze, uravnoveša svojo vlažnost z vlažnostjo okolice, tako kot nam je poznano pri lesu. Molekule vode se vežejo med celulozne molekule z vodikovimi vezmi),
- je primeren za tisk, obstojnost barv obarvanega bombaža je dobra,
- je trden in trajen material,
- dobro obstojen proti svetlobi.



Slika 141: bombaž.

(<http://en.wikipedia.org/wiki/Image:CottonPlant.JPG> 5.1.2008, vir: <http://photogallery.nrcs.usda.gov/Index.asp>, po navedbi na spletni strani, slika ni avtorsko zaščiten in je javno objavljiva)

Lan

Lanena vlakna sodijo v skupino najstarejših rastlinskih pridelkov, saj so lan za izdelavo blaga uporabljali že pred več kot 5000 leti. Lanena vlakna pridobivajo iz stebela rastline lan (*Linum usitatissimum*). V steblih se vlakna nahajajo v približno 30 plasteh, ki ovijajo lesnato jedro. Vlakna so mehka, lesketajoča in fleksibilna. Zelo dobro vpijajo vlago, saj so tako kot bombažna vlakna, sestavljena iz čiste celuloze in jih zato lahko uporabljamo za izdelavo brisač. So bolj trdna od bombažnih vlaken, a manj elastična in od bombaža še bolj nagnjena k mečkanju. Najboljši lan uporabljajo za izdelavo ploščato tkanega blaga, slabšega za izdelavo vrvi.

Konoplja

Tudi konoplja vlakna uvrščamo v skupino stebelnih vlaken rastlinskega izvora. Vlakna imajo odlično trdnost in trajnost, so odporna proti UV svetlobi in plesnim ter dobro vpijajo vlago. Tradicionalno so konopljo uporabljali za izdelavo vrvi. Razen tega konopljo uporabljajo za izdelavo preprog. Ocenjujejo, da ima konoplja največjo prihodnost v obliki vlaken v kompozitnih materialih.



Slika 142: polje z lanom (levo) in industrijsko konopljo (desno).

(Levo: http://www.pfi.iastate.edu/images/Salton_flax_bloom_close_up.JPG 5.1.2008, foto Eben Salton, objavljeno z dovoljenje Rick Exner in Teresa Opheim, "Practical Farmers of Iowa", ZDA, <http://www.practicalfarmers.org/>; desno: <http://www.gov.mb.ca/agriculture/crops/hemp/bko02s00.html>, 5.1.2008, dovoljenje za objavo: Cindy Stevens, Queen 's Printer for Manitoba, Canada.

Juta

Jutina vlakna so dolga, mehka, svetlikajoča se vlakna rastlinskega izvora, zelo primerna za izdelavo grobih, močnih niti. Vlakna imajo visoko natezno trdnost. Odlikujejo se tudi po toplotni in zvočni izolativnosti pa tudi po svojih antistatičnih lastnostih. Barva jute se spreminja od svetlo sive do svetlo rumenkaste, srebrno sive in sivo zelenkaste. Slabše vrste jute so bolj sive, rjavkaste ali umazano rjave, brez leska. Jutina vlakna pridobivajo iz rastlin rodu *Corchorus*. So zelo poceni ter so po proizvedeni količini na drugem mestu, takoj za bombažem. Kvaliteta je pri juti odvisna od sijaja: bolj svetleča se vlakna so višje kakovosti. Kemično so vlakna sestavljena iz celuloze in lignina. Iz jute izdelujejo grobo blago za embalažo, razne vreče, preproge in druge talne obloge, za površinsko preoblačenje stolov, ipd.

Ramija

Vlakna ramije, ki so tudi iz skupine rastlinskih stebelnih vlaken, uvrščamo med najbolj močna naravna vlakna. Njihova trdnost se še poveča, če so mokra. Za ramijo je značilno, da se le malo mečka, v kombinaciji z drugimi vlakni daje blagu značilen svilnat lesk. Za vlakna je značilen kristaliničen razpored polimernih molekul, zato je krhka. Ker je pridobivanje vlaken ramije drago, se ramija kot tekstilna surovina dokaj redko uporablja. Iz nje izdelujejo tekstil za oblazinjeno pohištvo, za vreče, za ribiške mreže, filtre. Precej ramije uporabljajo v zmeseh z drugimi tekstilnimi vlakni.

Sisal

Sisal pridobivajo iz listov rastline *Agave sisalana*. Vlakna so zelo žilava in jih uporabljajo za izdelavo vrvi. Zaradi grobosti in nefleksibilnosti, sisalova vlakna največkrat mešajo z različnimi drugimi vlakni, veliko jih uporabljajo v proizvodnji preprog in talnih oblog. Navadno imajo na zadnji strani plast lateksa, kar omogoča dimenzijsko stabilnost obloge in lažje vzdrževanje, ki je tako ali tako preprosto. Njihova prednost je tudi antistatičnost.



Slika 143: ramijska (levo) in sisalova vlakna (desno).

(Levo: <http://www.koganeishokubutsutanbo.com/yasou.html>, 5.1.2008, prosili smo za dovoljenje za objavo in negativnega odgovora ni bilo; desno: <http://www.agavetequila.com/wordpress/2006/09/5.1.2008>) foto: Ana Valenzuela, objavljeno z dovoljenjem, <http://www.agavetequila.com/wordpress/>)

Kokosova vlakna

Kokosova vlakna pridobivajo z vlaknate površine lupin kokosovih orehov (*Cocos nucifera*). Za vlakna je značilna visoka vsebnost lignina ter po drugi strani nizek delež celuloze. Vlakna uporabljajo za izdelavo različnih vrvi, tekačev (vrste talne obloge), predpražnikov, veliko kot polnilni material v oblazinjenem pohištvu, predvsem v vzmetnicah. Vlakna pogosto obdelajo z lateksom.

Volna

Volnena vlakna so naravna vlakna živalskega izvora. Najpomembnejša je ovčja volna. Pridobivajo jo tudi iz dlak drugih živali, npr. koz, lam ali angora zajcev. V volnenih vlaknih tekstilnih izdelkih je ujetega veliko zraka, ki je glavni vzrok za dobro toplotno izolativnost volne. Najpomembnejše lastnosti volnenih vlaken, ki določajo kvaliteto volnenega blaga, so: debelina vlaken, dolžina vlaken, kodravost in porazdelitev debeline vlaken. Premer vlakna je merilo za njegovo debelino in znaša nekje med 15 μm in 80 μm . Pri najboljši, merino volni, so vlakna zelo fina. Tudi porazdelitev debeline je pomembna, saj vpliva na občutek, ki ga volna povzroči na koži: če je delež vlaken z večjo debelino večji, to na koži občutimo kot večjo »hrapavost«. Dolžina vlaken se giblje v razponu med 40 in 150 mm, izjemoma celo do 300 mm. Daljša vlakna so primernejša za izdelavo lahkih volnenih tkanin, krajša za pletenine ali težje volnene tkanine. Kodravost je posebna značilnost volnenih vlaken. Če uporabimo nizko kodravo volnena vlakna, dobimo gladko blago, če je kodravost večja, je volneno blago bolj voluminozno in ker vsebuje več zraka, primernejše za zimska oblačila. Volnena vlakna so zelo elastična, v vodi pa se močno raztegnejo. Prav tako se odlikujejo po visoki natezni trdnosti. Vlakna imajo veliko sposobnost vpijanja in oddajanja vlage.

Svila

Prava svila je naravna, proteinska tekstilna surovina živalskega izvora; v naravi nastaja že v obliki niti, medtem ko je potrebno pri drugih naravnih surovinah niti šele spresti iz vlaken. Svilo pridobivajo iz zapredkov oz. kokonov v katerih so bube sviloprejk. Nit, ki jo dobijo z odvijanjem kokonov, je dolga tudi do 4000 m, uporabne dolžine je običajno okrog 900 m. Nit je v prerezu trikotne oblike, z zaobljenimi oglišči. Prav oblika vlaken je vzrok za značilen svilnat sijaj. Vlakna imajo visoko natezno trdnost (ena najvišjih vrednosti v skupini naravnih vlaken), ki pa se po vlaženju zmanjša za približno 20 %. Elastičnost je dokaj nizka, sposobnost absorpcije vlage ugodna. Svila je proti kislinam le slabo odporna. Svilo kot surovino seveda največ uporabljamo za izdelovanje tekstilnih oblačil in modnih dodatkov, veliko se jo uporablja tudi pri izdelavi oblazinjenega pohištva. Tako svilene niti uporabljajo kot polnilo pri oblazinjenem pohištvu, precej tudi kot polnilo za prešite odeje.

Viskoza

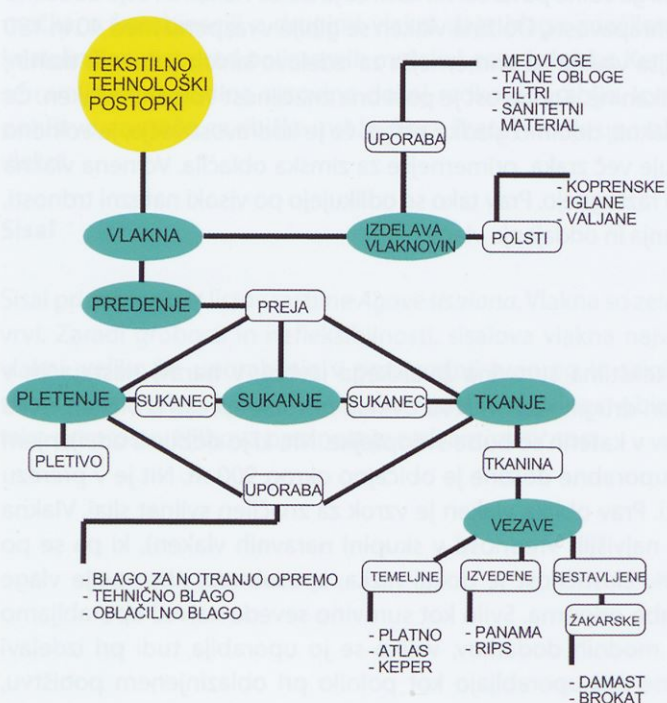
Viskoza je sintetičen material, ki ga pridobivajo iz naravnih polimerov. To je regenerirana ali predelana celuloza. Najprej pridobijo čisto celulozo (npr. iz lesa), ki jo ponavadi stisnejo v celulozne plošče. Le-te kasneje razkosmičijo ter obdelajo s CS_2 , da dobijo celulozni ksantogenat. Le-tega raztopijo v razredčeni raztopini hidroksida in dobijo gosto tekočo, viskozno maso, ki se imenuje viskoza. Viskožo nato ekstrudirajo skozi cev, ki ima na koncu pokrov z luknjicami. Curki viskoze odteka v kopel, kjer se strdijo. Tako dobimo celulozna (viskozna) vlakna v obliki filameta, katerega dolžina je omejena samo s količino viskozne mase. Filamente nato kodrajo, za prijetnejši otip, ali narežejo na krajša vlakna. Sprva so viskožo uporabljali prav kot material za površinsko preoblačenje oblazinjenega pohištva, kasneje so iz nje začeli izdelovati vse vrste blaga.

Različna sintetična vlakna

Polimerne materiale, iz katerih izdelujejo sintetična vlakna, smo že podrobno obravnavali. Zato naj omenimo, da se za izdelavo tekstilnih vlaken največ uporabljajo poliamidi (najlon, perlon), poliestri (diolen, trevira) ter poliakrilati (npr. dralon). Polimerni tekstilni materiali so zelo lahki, odporni proti mečkanju, zanje sta značilni visoka trdnost in trajnost, a žal nizka odpornost proti visokim temperaturam. Sintetični polimerni materiali ne vpijajo vlage.

V zadnjih petih ali desetih letih se kot material za površinsko preoblačenje oblazinjenega pohištva veliko uporablja tekstil, izdelan iz **mikrovlaknen**. Po definiciji je mikrovlakno vlakno, čigar finost znaša manj kot 1 denier (denier je ameriška enota za finost vlaken, podobno kot v Evropi uporabljamo enoto tex. V enoti denier izražamo maso vlaken v g na 9000 m dolžine). Mikrovlakna izdelujejo iz zmesi poliestra in poliamida. Blago iz mikrovlaknen je zelo mehko, a se ne mečka. Prav tako ga je lahko čistiti. Krpe iz mikrovlaknen imajo izjemno čistilno sposobnost. Blago iz mikrovlaknen se je sprva najbolj uveljavilo za izdelavo športnih oblačil, saj vlago prepušča le v eni smeri. Iz mikrovlaknen so npr. izdelane košarkaške žoge. Kot že omenjeno, se mikrovlakna zelo veliko uporabljajo v tapetništvu, za površinsko preoblačenje oblazinjenega pohištva.

Iz vlaken po različnih tekstilno-tehnoloških postopkih izdelujejo blago in vlaknovine. Ker program predmeta ne obravnava postopkov izdelave tekstilnih materialov, je na sliki 144 podan le shematski pregled tekstilno-tehnoloških postopkov.



Slika 144: postopki za izdelavo tekstilij, vrste tekstilij in njihova uporaba.

Tkanina je tekstilni izdelek, narejen s tkanjem, to je s procesom, pri katerem se prepletata dva nitna sistema pod pravim kotom. Osnovne niti v navpični smeri se prepletajo z vodoravnim nitnim sistemom – votkom. Strukturo tkanine določajo gostota osnovnih in votkovnih niti, finost preje v osnovi in votku ter vezava. Osnovne vezave so platno, atlas in keper. Enostavne izpeljanke osnovnih vezav so npr. panama in rips, koničasti keper, krep, itd. Platno je najenostavnejša in najpogostejša vezava. Obe strani blaga sta enakega videza. Platno uporabljamo kot blago za prekrivanje vzmeti, za oblikovanje polnil pri blazinah, za pohištveno in dekorativno blago. Keper vezava daje diagonalni videz. Blago je mehkejše in bolj prilagodljivo kot platno. Blago v keper vezavi uporabljamo kot osnovo pri umetnem usnju, za prekrivno blago posteljnih vložkov, za obrobne trakove. Atlas vezava daje zaradi načina prepletanja niti gladek, dekorativen videz. Blago v atlas vezavi uporabljamo za dekorativno in lahko pohištveno blago.

V nasprotju s tkaninami, vlaknovine izdelujemo neposredno iz vlaken ali niti, ne da bi prej iz njih spredli prejo. Vlakna ali niti najprej razporedijo v enakomerno, plosko kopreno in jih v takšnem stanju utrdijo z iglanjem, prešivanjem ali lepljenjem. Vlaknovine imajo veliko uporabno vrednost v tapetništvu za polnila in obloge blazinjenih delov, za nosilne, ločilne in izravnalne plasti ter talne obloge.



Slika 145: vezavi platno (levo) in keper (desno).

(Levo: http://www.classactfabrics.com/linen/linen_fabric.htm 5.1.2008; desno: , http://www.classactfabrics.com/linen/linen_fabric.htm 5.1.2008, obe sliki foto Linda Learn, objavljeno z dovoljenjem Linda Learn, www.classactfabrics.com)

XV.B.i.b. USNJE

Usnje je kot prevlečni material za oblazinjeno pohištvo dražje od tekstilnih prevlek, vendar ima nekajkrat daljšo življenjsko dobo in ga zato pri oblazinjenem pohištvu kar veliko uporabljamo. Surovina za izdelavo vseh vrst usnja je surova živalska koža.

V nadaljevanju sledi kratek opis postopkov izdelave usnja iz kože. Surova koža je sestavljena iz treh plasti in sicer iz vrhnjice (*epidermis*), usnjatice (*corium*, tudi *dermis* ali *cutis*) ter mesnatice ali podkožja (*subcutis*). Prevladujoča sestavina v vrhnjici je beljakovina keratin. Srednja plast, usnjatica, je zgrajena iz čvrstega, prožnega vezivnega tkiva. V njej je visoka koncentracija elastičnih kolagenskih, proteinskih vlaken. Ta vlakna dajejo dermisu oz. usnjatici trdnost, razteznost in elastičnost. Glavna sestavina podkožja (mesnatice) sta maščobno in mišično tkivo.

Postopek za proizvodnjo usnja iz kože imenujemo strojenje. Strojenje je pretvarjanje surovih kož, to je zelo neobstoje ne surovine, v obstojen material - usnje, primerno za proizvodnjo vrste različnih izdelkov. Celotni proces sestavlja zaporedje kompleksnih kemičnih reakcij in mehanskih

procesov. S strojenjem odstranimo povrhnjico in podkožje. Usnje je torej sestavljeno iz kolagenskih vlaken, ki jih vsebuje usnjatica. Zato bi lahko usnje uvrstili v skupino polimernih materialov. Če bi odstranili epidermis in podkožje ter nato preostanek samo posušili, bi dobili zelo trd in krhek material. Kolagenska vlakna se v posušeni koži med seboj bolj ali manj močno sprimejo, rezultat so neuporabne mehanske lastnosti. Da bi dobili mehak in elastičen material - usnje, je potrebno sprijem kolagenskih vlaken preprečiti. Ravno to je bistvo strojenja. Z naravnimi ali sintetičnimi strojili vlakna kemično obdelamo in šele takrat dobi usnje mehko in elastičnost. Sprijemanje vlaken je možno preprečiti tudi z obdelavo kož z različnimi olji.

Proizvodne procese v usnjarskem obratu lahko razdelimo na štiri glavne kategorije: skladiščenje surovih kož in krzna ter dela v vodni delavnici, dela v strojilnici, postopke dodelave po strojenju in postopke končne dodelave.

Med pripravljala dela uvrščamo konzerviranje kož, njihovo pranje in namakanje, luženje ter razmaščevanje. Ker je koža biološki material, je potrebno, še posebej za potrebe skladiščenja, preprečiti njeno gnitje, kar dosežemo s konzerviranjem. Kože lahko konzerviramo z različnimi solmi ali preprosto kar s sušenjem. Konzervirane kože je nato potrebno oprati in namakati. V vodni delavnici usnjarne potekajo navadno naslednja dela: namakanje, odstranitev dlak, mezdrenje (odstranitev podkožja) in cepljenje. Za strojilnico so značilna naslednja dela: luženje, čimžanje, piklanje in strojenje. Z namakanjem odstranimo soli za konzerviranje. Sledi postopek luženja, katerega glavni namen je odstranitev zgornje in spodnje plasti kože oz. odstranitev vseh nekolagenskih delov kot so vrhnjica, dlake, ščetine, volna. Kože namakajo v bazenih z gašenim apnom do 14 dni. Pri tem se povrhnjica in mesnatica razkrojita, tako da je mogoča njuna mehanska odstranitev, npr. v vrtečih se bobnih. Golico nato izpirajo v vodi z dodatkom raznih kislin, da se lužnate snovi nevtralizirajo. Tako oprano golico nato še obdelujejo z raznimi dodatki (sedaj večinoma z različnimi encimi), da postane koža mehkejša in da lahko strojila enakomerno pronicajo v kožo. Postopek mehčanja kože se imenuje čimžanje. S čimžanjem želimo tudi dokončno odstraniti vse nekolagenske sestavine kože. Piklanje je postopek, s katerim dosežemo enakomerno kisanje po vsem prerezu kože in s tem omogočimo prodiranje kromovih strojil v notranjost kolagenskih vlaken.

S strojenjem utrdimo kolagensko strukturo golice s prepletanjem in vgrajevanjem strojilnih sredstev. Po strojenju dobimo iz golice usnje, ki je odporno proti gnitju, temperaturi in nudi različne možnosti nadaljnje predelave in uporabe. Vlakna po strojenju niso sprijeta med seboj, usnje dobi mehko in elastičnost. Strojenje izvajamo z različnimi strojili rastlinskega izvora, mineralnimi strojili, aldehidi ali maščobami.

Tanini so strojila rastlinskega izvora. Usnje, ki ga dobimo s strojenjem s tanini v vodi pri nepravilni vrednosti pH, je delno nestabilno: se razbarva, po osušitvi postane krhko in trše. Za boljši rezultat je nujno dodati maščobe. Zaradi tega so strojenje z rastlinskimi strojili v glavnem opustili. Med mineralnimi strojili so najpomembnejše kromove soli. Usnje, strojeno s kromovimi spojinami, spoznamo po barvi v prerezu, ki ima rahlo modrikasto-zelenkast odtenek. V primerjavi z rastlinskimi strojili izdelanim usnjem je usnje, ki ga pridobivajo s strojenjem s kromovimi strojili, bolj gibko in elastično. Tudi usnje, strojeno s strojili, ki vsebujejo aluminijeve soli, je slabše kvalitete od s kromovimi spojinami strojenega usnja. Usnje strojijo tudi z aldehidi. Tako usnje je v prerezu bele ali rahlo rumenkaste barve. Usnje, ki ne vsebuje kroma, uporabljajo za izdelavo otroške obutve ali kot preobleko za sedeže v avtomobilih. Za strojenje usnja je možno uporabljati tudi različne druge sintetične spojine, kot so različne melamin- ali ureaformaldehidne smole. Obdelava usnja z različnimi olji živalskega izvora, npr. z ribjim oljem, ni strojenje v pravem smislu besede, a vseeno dosežemo podoben učinek kot pri klasičnem strojenju: koža postane mehka in elastična. Na ta način izdelujejo semiš usnje.

Za dodelavo po strojenju so značilni naslednji procesi: ožemanje, poravnava, cepljenje, struženje, dostrojenje, barvanje, mašččenje v kopeli in sušenje. Usnje v tej fazi imenujemo »krast usnje«. Različno usnje mora imeti z ozirom na svoj namen različno debelino, a sama golica je neenakomerno debela. Zato golico "cepijo", da pridobijo enakomerno debelino kože.

Med postopke končne dodelave spada več vrst mehanskih obdelav in površinski nanos. Izbira procesa končne dodelave je odvisna od zahtev glede končnega izdelka. V usnjarnah na splošno uporabljajo kombinacijo naslednjih postopkov: kondicioniranje, mehčanje, brušenje, lakiranje, valjkanje, likanje in vtiskanje lica.

Najpomembnejše lastnosti usnja so:

- je čvrsto, mehko, zračno in elastično,
- »diha« in vpija znoj (prepušča vodne hlape in zrak),
- je stabilnih dimenzij,
- ima dolgo življenjsko dobo, če ga pravilno negujemo,
- je dokaj dobro odporno proti ognju,
- sodobno usnje ne poka,
- usnje se stara in s časom dobi patino.

Glede na vrsto živali, velikost in debelino kože, površinske značilnosti ter druge posebnosti živalskih kož (videz lica, tipične poškodbe, struktura kožnih vlaken...), ločimo zelo različne vrste usnja:

Goveje in telečje usnje je trpežno, primerno za izdelavo oblačil, galanterije, obutve, avtomobilskih sedežev in za tapetniške namene. Debelino usnja pri strojenju prilagodimo namenu.

Svinjsko usnje je tanjše in lažje od govejega. Usnje izdelujejo na lični (napa, nubuk) ali mesni strani (napa, velur) ter iz spodnje plasti (cepljenec, vse vrste dodelav). Uporabnost je široka: za izdelavo oblačil, galanterije, tapetniških izdelkov in obutve.

Kozje in ovčje usnje je tanjše in mehkejše, dodelavo izvedejo na licu (napa) in na mesni strani (velur). Uporabljajo ga predvsem za izdelavo oblačil in rokavic.

Jelenje usnje zaradi redkosti le malo uporabljamo. Usnje je posebno mehko, izdeluje se kot velur ali irhovina, uporablja se za izdelavo oblačil.

Glede na izdelavo in dodelavo poznamo usnje z dodelavnimi nanosi, kamor sodijo napa (za oblačilne, tapetniške namene), boks (za obutev in galanterijske izdelke), lak usnje, krito usnje, semianilinsko usnje, anilinsko usnje, usnje z vidnimi naravnimi vlakni (velur za oblačila in obutev, nubuk za tapetniške namene, usnje z lepljenimi nanosi (usnje s folijo), usnje cepljenec (kot velur ali napa za oblačila, galanterijo, obutev in tehnične izdelke), krzno velur, krzno, itd.

S posebnimi obdelavami lahko spremenimo videz površine usnja (perforiranje, tiskanje, vtiskanje ali prešanje, lepljenje folij) ter dodajamo oziroma spreminjamo uporabne lastnosti. Tako lahko npr. usnje hidrofobiramo in s posebnimi postopki izdelamo pralno usnje. Na trgu se v zadnjih letih pojavlja tudi tako imenovano organsko usnje, ki je izdelano po okolju prijaznejših postopkih.

Napa je usnje z gladko površino. Postopek strojenja poteka s kromovimi solmi in v zadnjem času spet vse več tudi z naravnimi rastlinskimi strojili, npr. v Italiji za izdelavo usnjene obutve. Prav tako morajo biti usnjeni podplati vojaških škornjev obvezno strojeni z naravnimi strojili. Najbolj cenjena je rahlo krita (anilinska) obdelava, ki omogoča, da usnje obdrži razmeroma naraven videz lica (dlačne luknjice, vidne žile ter nagubanost). Napa je razmeroma mehko usnje, ki prepušča zrak in vlago (pravimo, da diha), in je primerno za vse vrste oblačil, mehko obutev in galanterijo. Brez dodatnih obdelav je občutljiva na vodo in madeže (anilinska dodelava). Občutljiva je tudi na svetlobo (sčasoma rada potemni ali osvetli), zato jo je priporočljivo zaščititi pred direktno svetlobo in bližino grelnih teles.

Nubuk je brušeno usnje na lični strani kože. Značilna so gosta, fina, kratka vlakna. Površina je mehka in žametna na otip. Usnje je občutljivo na maščobo in vodo.

Velur je brušeno usnje na mesni strani kože. Tako kot nubuk ima žametni izgled, le da so vlakna nekoliko daljša in bolj groba. Tudi velur je občutljiv na maščobo in vodo, če ni s posebno obdelavo zaščiten pred vodo in oljem.

Usnje cepljenec je spodnja stran debelejših kož, ki jih v proizvodnem procesu vzdolžno prerežejo, cepijo. Cepljenec ima glede na vrsto strojenja in dodelave podoben izgled in lastnosti kot običajne zvrsti usnja, velur, napa, kriti cepljenec, folija.... , le da je njegova trdnost nižja.

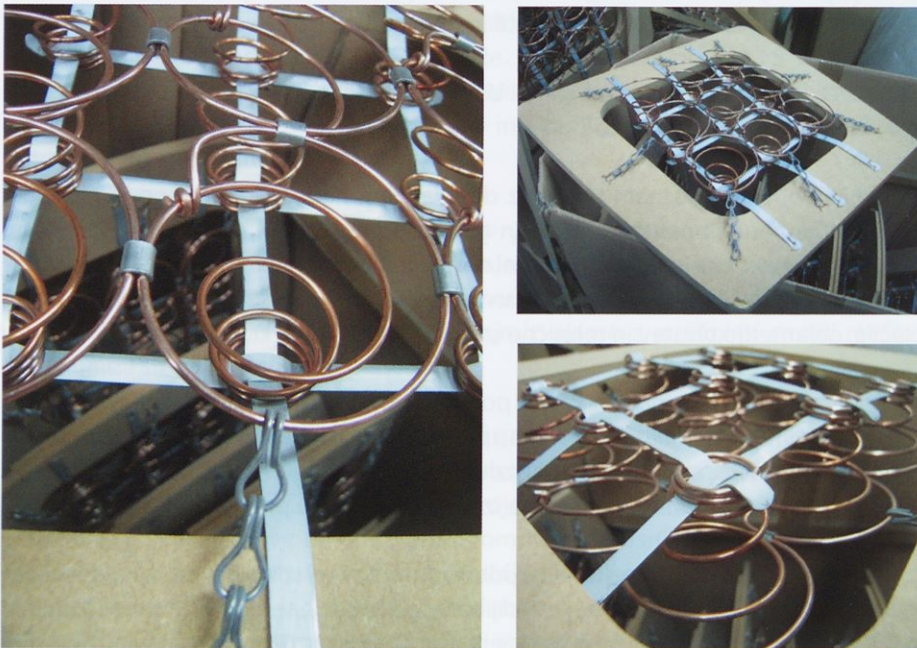
Gladko usnje je barvano površinsko, zato je površina prevlečena s plastjo pigmenta, ki usnje obarva in mu zapre naravne pore. Je gladko in manj občutljivo, a izgubi svoj naravni hrapavi videz. Globinsko pobarvano (anilinsko) usnje izdelujejo tako, da ga namakajo v sredstvu za obarvanje. Barva se vpije po vsej globini. Vendar usnje na površini ohrani naravno strukturo. Anilinsko usnje se lepo prilaga telesu in je zelo prijetno na otip, a veliko bolj vpija umazanijo, zato je za vsakdanjo uporabo primernejše vsaj rahlo pigmentirano usnje, ki je zaradi barvanja manj občutljivo in ga je lažje negovati.

XV.B.ii. POLNILNI MATERIALI

Polnilni materiali zagotavljajo udobje pri uporabi oblazinjenega pohištva. Delimo jih v dve skupini in sicer na osnovne polnilne materiale, ki so naneseni na podlago oblazinjenega pohištva, in na fine polnilne materiale vrhnjega sloja, pod površinsko preobleko.

Med grobe polnilne materiale uvrščamo kokosova vlakna, sisal, slamo, konjsko žimo, lan, konopljo, juto, ramijo, morsko travo, ipd. Največ danes uporabljajo različne poliuretanske pene. V tej skupini sta tudi spenjen polivinil klorid ter spenjen lateks.

Polnila vrhnjega sloja so lahko ovčja volna, dlake različnih živali (lama, angora, konjska žima, ipd.) različne vrste perja, svila in različna sintetična, npr. poliestrska ali poliakrilatna vlakna.



Slika 146: vzmetna košara (foto M. Humar).

XV.B.iii. VZMETNI MATERIALI ZA IZDELAVO ELASTIČNEGA JEDRA

Vzmeti so večinoma narejene iz jeklene žice, za preprečitev korozije so lahko tudi pocinkane ali pobakrene. Debeline vzmetne žice, kakor tudi število navojev v vzmeti in dimenzije vzmeti so predvsem odvisne od namena uporabe. Tako so npr. žice za vzmeti v sedežih debelejšje in znašajo približno med 3,5 mm in 4 mm, za vzmetenje naslonjal pa tanjše, okrog 2,5 mm. Od debeline žice ter števila navojev v vzmeti sta odvisna mehkoča in prožnost vzmetenja.

Sistem vzmetenja je industrijsko izdelano vzmetenje iz vzmetne jeklene žice različnih dimenzij in oblik. Poznamo naslednje sisteme vzmetenja:

- vzmetne vložke
- vzmetna jedra
- vzmetne košare

V vzmetnih vložkih so vzmeti med seboj prepletene na različne načine, najpogostejši so šlarafija, bonel, lahko pa so posamezne vzmeti v prevlečenih in med seboj povezanih žepkih (TFK). Vzmeti, povezane med sabo na klasičen način, imenujemo šlarafija. Vzmeti so ročno prepletene in vložene v dvojni okvir. V vzmetnem vložku bonel so vzmeti med sabo povezane s spiralnimi vzmetmi. Ležišča s TFK žepastimi vzmetmi imajo posamezne vzmeti v vrečkah iz netkanega tekstila ali bombaža, ki so zašite v sistem druga zraven druge. Žepasto jedro omogoča najboljšo prilagoditev glede na težo, saj vzmeti med seboj niso vpete in se vsaka vzmet neodvisno od drugih vzmeti prilagaja oziroma podaja pod različnimi pritiski. S tem dosežemo delni stranski oprijem. Oblika vzmeti omogoča vedno enako silo podporne moči.

Vzmetno jedro ima različno zgornjo in spodnjo stran in se uporablja za blazine točno določenih oblik (npr. avtomobilski sedež).

Za vzmetne košare je značilno, da so stožčaste vzmeti pritrjene z vzmetnimi sponami na nosilne kovinske trakove. Uporabljajo se za sedeže stolov.

XV.B.iv. MATERIALI ZA PODLAGO

Podlaga pri oblazinjenem pohištvu je lahko elastična ali toga. Elastične podlage so iz različnih platnenih ali gumijastih trakov (optri) ter iz elastičnih trakov iz drugih materialov. Prav tako pridejo pri elastičnih podlagah v poštev različne v okvir vgrajene ploščate kovinske vzmeti ali vzmetni trakovi ali celo v okvir vgrajeni vzmetni sistemi, lesene letve in letve ali plošče iz vezanega lesa. Trde podlage so večinoma izdelane iz lesnih plošč ali masivnega lesa ter različnih sintetičnih polimernih materialov.

XV.B.v. POMOŽNI IN OKRASNI MATERIALI

V to zelo raznoliko skupino materialov za oblazinjeno pohištvo uvrščamo snovi za dekorativne izdelke kot so razni dekorativni gumbi, trakovi, rese, čopi, ipd. ter materiale za spajanje, veznike in okovja, gibljiva kolesčka, ipd.

Z izrazom pozamenterija označujemo drobne tekstilne izdelke (vrvice, trakovi, resice, čipke, ipd.) za obrobjanje in okraševanje razkošnega blazinjenega pohištva. Izdelani so iz različnih tekstilnih materialov, ki smo jih v poglavju o oblazinjenem pohištvu že obravnavali.

Profile različnih oblik nameščamo (prilepimo, pribijemo, prišijemo) pod prevleko ali na robove. Največkrat so izdelani iz trdih ali mehkih sintetičnih polimernih materialov.

Tudi pohištvena kolesa so izdelana iz kovinskih in/ali polimernih materialov, ki morajo imeti dobre mehanske lastnosti.

Kot veznike uporabljamo različne žičnike, sponke, vijake, kovice, ipd. Večinoma so izdelani iz jekel, različnih drugih kovin in zlitin ali celo iz sintetičnih polimernih materialov.

Tudi okovja (sponska, zaporna, nosilna, vrtilna, pomična, varovalna, zaščitna, dekorativna) so lahko izdelana iz kovinskih ali polimernih materialov.

Mehanizmi, spet večinoma kovinski, lahko tudi iz umetnih mas, so sestavni deli oblazinjenega pohištva, ki so vgrajeni v ogrodje in omogočajo različne lege sedežev, naslonov ali ležišč.

Nazadnje naj med pomožnimi materiali omenimo še lepenko, ki jo uporabljamo za embaliranje pri transportu in tudi za zapiranje stranskih delov in hrbtnih naslonov oblazinjenega pohištva. Lepenka je izdelana iz rastlinskih vlaken (les, slama, star papir), polnil in lepil. Kot polnilo, ki zapolnjuje prostore med lignoceluloznimi vlakni v lepenki, uporabljajo barijev sulfat, mavec ali kaolin. Lepila so izdelana iz različnih naravnih ali sintetičnih polimernih materialov.

XV.B.vi. MATERIALI ZA OGRODJE KOT NOSILNI SKELET IZDELKA

Ogrodje je lahko v celoti prekrito z materiali za blazinjenje ali je le delno oblazinjeno. Ogrodje je najpogosteje izdelano iz lesa ali lesnih tvoriv, pogosto tudi iz različnih kovin ali kovinskih zlitin in sintetičnih polimernih materialov. V poštev pridejo tudi sodobni kompozitni materiali, npr. z vlakni ojačane polimerne mase.

Čeprav ta učbenik obravnava nelesne materiale, namenimo nekaj pozornosti tudi pravilni izbiri lesa ali lesnih tvoriv, kot materiala za ogrodje. Za ogrodje izberemo les, ki omogoča dobro nosilnost, je brez napak, ki bi zmanjšale trdnost (razpoke, grče), ohranja stabilno obliko, se dobro obdeluje in ki je na tržišču dostopno po ugodnih cenah. Zgodovinsko gledano so ogrodje izdelovali predvsem iz v sušilnikih sušenega masivnega lesa listavcev, npr. iz hrastovine ali iz lesa javorja, breze ali bukve. Danes namesto masivnega lesa zelo veliko uporabljajo vezan les. Včasih se uporablja tudi les iglavcev, vendar je kvaliteta takega oblazinjenega pohištva nižja. Med drugimi materiali za ogrodje naj omenimo železo, jeklo in aluminij (pogosto v obliki cevi), medenino ter različne polimerne materiale in kompozite s polimerno matrico. Ogrodje iz umetnih snovi omogoča več možnosti oblikovanja.

XVII. LITERATURA

- 1 Aberšek, B. 1995. Tehnologija in obdelava gradiv. Radovljica, Didakta: 330 str.
- 2 Bahčevandžiev, K. 2002. Pomošni materiali. Nedrveni materiali. Skopje, Šumarski fakultet: 239 str.
- 3 Bentley, J., Turner, G.P.A. 1998. Introduction to paint chemistry and principles of paint technology. 4th Ed. London [etc.], Chapman and Hall: 281.str.
- 4 Bezjak, J. 2003. Materiali v tehniki. 4. natis. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 190 str.
- 5 Brock, T., Groteklaes, M., Mischke, P. 2000. European coatings handbook. Hannover, Vincentz: 410 str.
- 6 Butt, H.-J.B., Graf, K., Kappl, M. 2003. Physics and chemistry of interfaces. Weinheim, Wiley-VCH; Chichester, John Wiley cop.: 361 str.
- 7 Fried, J. 2003. Polymer science and technology. 2nd Ed. Upper Saddle River, Prentice Hall Professional Technical Reference: 582 str.
- 8 Garbassi, F. 1998. Polymer surfaces: from physics to technology. Chichester [etc.], J. Wiley & sons: 486 str.
- 9 Glavič, P. 2006. Gradiva. Maribor, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo: 441 str.
- 10 Govedič, J. 2001. Gradimo s steklom. Gornja Radgona, Reflex: 260 str.
- 11 Govedič, J. 2003. Navodila za zastekljevanje. 1. popravljena izdaja. Gornja Radgona, Reflex: 74 str.
- 12 Govedič, J. 2003. Steklo in varnost. 1. popravljena izdaja. Gornja Radgona, Reflex: 54 str.
- 13 Grbac, I. 2006. Krevet i zdravlje. Zagreb, Šumarski fakultet: 271 str.
- 14 Grbac, I., Ivelić, Ž. 2005. Ojastučeni namještaj. Zagreb, Šumarski fakultet: 293 str.
- 15 Grum, J., Ferlan, D. 1995. Gradiva. 4. ponatis. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije, 186. str.
- 16 Haarich, H. 1990. Družinska hiša brez napak. 1.izdaja. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 141 str.
- 17 Hummel, R.E. 2004. Understanding materials science: history, properties, applications. 2nd ed. New York, Springer: 440 str.
- 18 Jaić, M., Živanović-Trbojević, R. 2000. Površinska obrada drveta : teorijske osnove, tehnološki procesi. Beograd, M. Jaić: 400 str.
- 19 Jug-Hartman, M. 1995. Poznavanje tekstilij. Del 1, Vlakna. 1. natis. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 62 str.
- 20 Jug-Hartman, M. 1996. Poznavanje tekstilij. Del 2, Tekstilnotehnološki postopki. 1. natis. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 109 str.
- 21 Knaut, B. 2003. Knautov strojniški priročnik. 14. slovenska izdaja. Ljubljana, Littera picta: 817 str.
- 22 Kotnik, D. 2003. Površinska obdelava v izdelavi pohištva. 2. dopolnjena izdaja. Brezovica, Finitura: 184.str.
- 23 Kovač, M. 2001. Gradiva. Zapiski predavanj. 1. popravljena izdaja. Ljubljana, Fakulteta za strojništvo: 498 str.
- 24 Kresal, J., Zbašnik-Senegačnik, M. 1994. Površinska obdelava gradiv v arhitekturi –Glosar. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FAGG, Šola za arhitekturo: 56 str.
- 25 Kresal, J., Zbašnik-Senegačnik, M. 2002. Gradiva v arhitekturi: učbenik za arhitekto. 3. izdaja. Ljubljana, Fakulteta za arhitekturo: 187 str.

- 26 Ljuljka, B. 1990. Površinska obrada drva. Zagreb, Šumarski fakultet.
- 27 Ljuljka, B., Jirouš-Rajković, V. 2006. Osnove površinske obrade drva: sveučilišni udžbenik. Zagreb, Šumarski fakultet: 114.str.
- 28 Mezger, T. 2002. The rheology handbook: for users of rotational and oscillatory rheometers. Hannover, Vincentz: 252 str.
- 29 Schröter, W. 1993. Kemija: splošni priročnik. 1. izdaja. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 712 str.
- 30 Shelby, J.E. 2005. Introduction to glass science and technology. 2nd Ed. Cambridge, Royal Society of Chemistry, cop.: 291 str.
- 31 Smith, W.F. 1999. Principles of materials science and engineering. 3rd Ed. New York [etc.], McGraw-Hill cop.: 892 str.
- 32 Stark, J.G. 1997. Kemijski podatkovnik za srednje, višje in visoke šole. 1. izdaja. Ljubljana, DZS: 107 str.
- 33 Tilley, R.J.D. 2004. Understanding solids: the science of materials. Chichester, Wiley: 593 str.
- 34 Wicks, Z. W., Jones, F. N., Pappas, P. S. 1999. Organic coatings. Science and technology. 2nd Ed. Toronto, John Wiley & Sons: 630 str.
- 35 Zupanič, F., Anžel, I. 2007. Gradiva. 1. izdaja. Maribor, Fakulteta za strojništvo.
- 36 Žarnić, R. 2003. Lastnosti gradiv. 1. izdaja. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za preskušanje materialov in konstrukcij: 350 str.

XVIII. STVARNO KAZALO

A

abrazivi	81, 96, 98, 100
abrazivna zrna	98, 100
absorpcijska stekla	92
acetatna vlakna	122
adhezija	102
<i>mehanizmi</i>	103
adhezijske sile	103
ADI	135
adicijska polimerizacija	33
adsorpcija	103, 104
akrilatne smole, akrilne smole	48, 55
akrilno-uretanske smole	48
akrilonitril butadien stiren	59
akutna toksičnost	134
alkalna silikatna stekla	86
<i>linearni temperaturni</i>	
<i>razteznostni koeficient</i>	87
alifatski izocianati	55
alkidi	52, 53
alkidne smole	52, 55
alternirajoči kopolimer	42
aluminij	16, 18, 25, 27, 69-70, 112, 135
aluminij	
<i>Brinellova trdota</i>	29
<i>linearni temperaturni</i>	
<i>razteznostni koeficient</i>	75
<i>specifična električna upornost</i>	61
<i>toplotna prevodnost</i>	77
aluminijev oksid	82, 84, 96, 99
aluminijeve zlitine	69-70
<i>natezna trdnost</i>	27
alumosilikati	82
aminoplasti	49
aminske smole	49
amorfná snov	21, 22, 39, 85, 93, 94
amorfnost, polimeri	36, 40, 41
anilinsko usnje	129
anorganska vlakna	122
anorganski polimeri	60
antistatična plast pri brusilnih	
sredstvih	101
apatit	23
apnenec	94, 95, 96
aramidi	50, 51, 107
aromatski izocianati	55
arzen	135
arzenopirit	23
asfalt	102
atlas	127
avstenitno jeklo	68
azbest	122

B

backbone, hrbtenica	36
bakelit	34, 41, 49
baker	25, 67, 69, 70-71, 73, 102, 112, 135
<i>Brinellova trdota</i>	29
<i>natezna trdnost</i>	27
<i>patina</i>	70
<i>specifična električna upornost</i>	61
<i>Youngov modul</i>	26
<i>zlitine</i>	70-71
bakrova vlakna	122
barva	19, 48, 52
barvna stekla	89
barvni centri	89
bazalt	95
benzen	135
beton	102
<i>linearni temperaturni razteznostni</i>	

<i>koeficient</i>	75
<i>toplotna prevodnost</i>	77
biogenokemične sedimentne kamnine	95-96
blago	121, 126
<i>pohištvono</i>	127
blok kopolimer	42, 59
boks	129
bombaž	122, 123
bombaž	16
bonel	131
boratna in borosilikatna stekla	86, 88
<i>linearni temperaturni razteznostni</i>	
<i>koeficient</i>	87
borov les	
<i>Brinellova trdota</i>	29
<i>linearni temperaturni razteznostni</i>	
<i>koeficient</i>	75
<i>natezna trdnost</i>	27
<i>toplotna prevodnost</i>	77
borov oksid	88
breče	94
Brinellova trdota	28
broni	71
<i>kositrovi</i>	71
bronze	71
brusilna sredstva	96-101
<i>antistatična plast</i>	101
<i>plast za izboljšanje drsnosti</i>	101
<i>prosta</i>	97
<i>toga</i>	96
<i>upogibna</i>	97-101
brusna sredstva	96-101
brušenje lesa	96
brušeno steklo	88
buckminsterfullereni	19

C

celuloza	34, 56, 57, 102, 122, 123
celuloza	
<i>nitriranje</i>	57
<i>regenerirana, predelana</i>	126
celulozna vlakna	102, 115
celulozni nitrat	56-57
cepljen kopolimer	42
cink	23, 67, 71-72, 102
<i>kompatibilnost z lesom</i>	72
<i>zlitine</i>	71
cinkanje	71
cinkov oksid	117, 118
cirkonijev oksid	99
<i>cis-1,4 izopren</i>	57

Č

čimžanje	128
čopi	131
črtaste napake	65

D

DD laki	55
deformacija materiala	24, 26
<i>reverzibilna, obrnljiva, prožna,</i>	
<i>elastična</i>	25, 25-26, 41, 58
<i>viskoelastična</i>	58
delno kaljena stekla	90-91
delno kristalinični polimeri	37, 39, 40
delno odprt posip	100
delovno oblazinjeno pohištvo	120
denier	126
deoksiribonukleinska kislina	34
Desmodur	55

Desmophen	55
devitrifikacija	93
diagram napetost/deformacija	26, 27
diamant	19
barva	19
električna prevodnost	19
linearni temperaturni razteznostni koeficient	75
specifična električna upornost	61
trdota	19
Youngov modul	26
dietilen glikol	135
difuzija	103
v trdnem agregatnem stanju	84
diiizocianati	53
dilatacijska reža	75, 108
diode, svetleče	114
dioksan	135
diolen	126
dislokacija	65, 81
robna	65
gibanje	65, 66, 81
disperzije, vodne poliuretanske	55, 56
dolomit	23, 96
dolžina tekstilnih vlaken	121
dralon	126
dražilne kemikalije	136
dražilne snovi	133
duktilnost	23, 31, 63
duromeri	40, 41, 49, 50, 52
duroplasti	40, 41, 49, 50, 52

E

efekt lotosovega lista	17, 116
ekspandiran polistiren	47, 78
eksplozivne snovi	136
eksplozivnost	133, 136
ekstrudor	82-83
ekstruzija	126
elastična deformacija	25, 25-26, 41, 58
elastično jedro	130
elastomeri	25, 40, 41, 60
električna prevodnost	19, 60
kovin, temperaturna odvisnost	63
električni izolatorji	60-61
električni polprevodniki	60-61
električni prevodniki	60-61
električni tok	60
električni upor	61
elektrokorund	99
elektrostatski privlak	103, 104
enakomernost tekstilnih vlaken	121
encimi	34
epidermis	127
epoksidi	56
epoksidne smole	56

F

fasadne obloge	46
faza	23, 24
ojačevalna	105, 107
fazna meja	23
fenolformaldehidne smole	41, 49
fenoli	49, 50
fenolne smole	49, 105
fenoplasti	49
FEPA	97, 100
feritno jeklo	68
filamentna preja	121
finost tekstilnih vlaken	121
folija, polimerna, med steklenima ploščama	91
formaldehid	49, 50
formaldehidne smole	49-50, 107
ftalati	46
fulereni	19
funkcionalnost	34

G

gabljive snovi	136
germanij, specifična električna upornost	61
gladko usnje	130
glinavci	95
gline	82
globočnine	94
Goodyear	58
gost posip	99
gosti sklad	62
gostota električnega toka	60
gostota posipa	99-100
gostota toplotnega toka	76
goveje usnje	129
gradivo	16
amorfno	21, 22, 39, 85, 93, 94
kristalinično	21
penasto	105
gradniki snovi	18, 21
nihanje, termično nihanje	22, 39, 63, 74, 76
razpored	18, 21
grafični znaki za nevarnost	137
grafit	19
barva	19
električna prevodnost	19
specifična električna upornost	61
trdota	19
graftna vlakna	106
gramatura papirja	98
granati	96, 99
granit	95, 107
granulacija	100-101
granulacijsko število	100-101
guma	36, 41, 57-59, 113, 122
natezna trdnost	27
toplotna prevodnost	77
Youngov modul	26
gumbi	131
gumena vlakna	59
gumijasti trakovi	131
guta percha	58

H

HDPE	43
heksagonalni kristalni sistem	19
heksagonalni najgostejši sklad	62, 63
heksamtilen diizocianat	55
hematit	67
heteropolimeri	41-42
hitin	34
hladno utrjevanje kovin	66
hlapne organske spojine, HOS	57
homopolimeri	41-42
Hookov zakon	26
HOS	57
hrastov les	
linearni temperaturni razteznostni koeficient	75
Youngov modul	26
hrbtenica, backbone	36, 48

I

idealna zgradba	63
interdifuzija	103
intersticije	65, 66
intersticijska zlitina	67
intramolekularne vezi	38
ioni	18, 21
ionska vez	18, 81
Ireverzibilna deformacija	25, 58
iverna plošča	
gostota, gostotni profil	24
velikost iveri	24
iverne plošče	24, 102, 107
izmenični kopolimer	42

- izocianati 48, 53, 55
alifatski 55
aromatski 55
izolatorji, električni 60-61
izopren 57
- J**
- jakost električnega polja 60
jedkano steklo 90
jedke kemikalije 136
jedke snovi 133
jedra
 vzmetna 131
jekla
 konstrukcijska 68
 orodna 68
jekleno ogrodje 69, 132
jeklo 27, 67-70, 102
 avstenitno 68
 Brinellova trdota 29
 feritno 68
 legirano 68
 linearni temperaturni razteznostni koeficient 75
 mikrostruktura 102
 natezna trdnost 27
 nelegirano 68
 ogljikovo 68
 vzmetno 16, 68, 130
 Youngov modul 26
jelenje usnje 129
juta 122, 124, 130
- K**
- kadmij 65, 135
kalcit 23, 94, 95
kaljena stekla 90-91
kamnine 94-96
 biogenokemične sedimentne 95-96
 kemične sedimentne 95
 klastične 95
 magmatske 94-95
 metamorfne 96
 sedimentne 95-96
karbonatna skupina 56
kavčuk 34, 36, 57, 122
kavčukovec 57
kazeinska vlakna 122
kemična vlakna 122
kemične sedimentne kamnine 95
kemikalije 133
 ki povzročajo preobčutljivost 133
 ki so strupene za razmnoževanje 134
keper 127
keramična vlakna 115
keramika 21, 22, 25, 26, 81-85, 105
 električna izolativnost 82
 linearni temperaturni razteznostni koeficient 75
 sanitarna 81
 toplotna izolativnost 82
 toplotna prevodnost 77
 trdota 81
keratin 127
Kerrock 108
 linearni temperaturni razteznostni koeficient 108
kevlar 34, 106
kislinski laki 49, 50
klastične kamnine 95
Knoopova mikrotredota 28
koeficient toplotne prehodnosti 79
koeficient toplotne prestopnosti 78
koeficient toplotnega prehoda 79
koeficient toplotnega prestopa 78
kohezija 103
kohezijske sile 103
kokos 122, 125, 130
kolagenska vlakna 102, 127, 128
kolesa, pohištevna 132
kombinirani R in S stavki 137
kompozit, kompozitni material 15, 24, 43, 96, 101-108, 132
 definicija 101
 les-polimer 24, 43, 107-108
 ojačevalna faza 101, 107
 osnova ali matrica 101, 105, 106, 107
 lamelirani 107
 ojačani z vlakni 106, 107, 115
koncentracija, smrtna 134
kondenzacijska reakcija 34
kondenzacijski polimer 34
kondukcija 76
konglomerati 94, 95
konjska žima 130
konoplja 122, 123, 130
konstrukcijska jekla 68
kopalniško pohištvo 107
kopolimeri 41-42, 102
 alternirajoči 42
 blok 42, 59
 cepljeni 42
 izmenični 42
 naključni 42
 poliestrsko-uretanski 52
 stirensko-butadienski 59
kopolimerizacija 41
korund 85, 98
kositer 71, 72-73
kost 102
košare, vzmetne 131
kovalentna vez 18, 19, 38, 41, 81
kovice 132
kovine 21, 60, 61-74, 105, 132
 hladno utrjevanje 66
 lastnosti 61
 mehansko preoblikovanje 63, 65
 plastično preoblikovanje 65
 razteznost 74
 toplotna prevodnost 77
 toplotna prevodnost 63, 74
 trdnost 66
 trdota 66
 vplivanje na mehanske lastnosti 66
 zgradba 62-63
kovinska vez 18, 60, 62-63
kovinska vlakna 115
kovnost, kovati 62, 63
kozje usnje 129
koža 127, 128
kremen 85, 86, 99
kremenovo steklo 86
 linearni temperaturni razteznostni koeficient 87
krhke snovi 25
kristal 18, 21
kristalinična snov 21, 22, 39,
kristaliničnost, polimeri 36
kristaliti 23
kristalinitna teorija 86
kristalizacija stekla 93
kristalna meja 23
kristalna mreža 21, 22
kristalna mreža, kubična 19
kristalna mreža, kubična 19
kristalna napaka 23, 63-64
kristalna rešetka 63
kristalna struktura 21
kristalni sistem 22
 heksagonalni 19
kristalni zdrs 63, 65
kristalno steklo 88
kristalno zrno 23, 84
krom 21, 74
kromoforji 89

kromova strojila	129	<i>Youngov modul</i>	26
kubična kristalna mreža	19	MAK	135
kubični najgostejši sklad	62, 63	makromolekula	33, 41
kuhinjski pulti	95	<i>velikost</i>	38
kuhinjsko pohištvo	15	makroskopska zgradba snovi	18, 24
kužne snovi	136	makrostruktura	24
kvarčno steklo	86	maksimalna delovna koncentracija	135
		mangan	69
		manila	122
		marmor	95, 96, 108
		<i>toplotna prevodnost</i>	77
L		material	
lahko vnetljive kemikalije	136	<i>definicija</i>	16
laki	6, 48, 50, 52, 55	<i>deformacija</i>	24
<i>DD</i>	55	<i>kompozitni</i>	24, 132
<i>kislinski</i>	49	<i>sestavljene</i>	24, 101-108
<i>nitrocelulozni</i>	57	materiali	
<i>parketni</i>	55	<i>za oblazinjeno pohištvo</i>	120-132
<i>poliestrski</i>	52	<i>za ogrodje</i>	121, 132
<i>polikondenzacijski</i>	41, 49, 50	<i>za podlago</i>	121, 131
<i>poliuretanski</i>	55	<i>za površinsko preoblačenje</i>	121
lamela	36	<i>okrasni, pri oblazinjenem pohištvo</i>	131
lamelirani kompoziti	107	<i>polimerni</i>	21
laminacija	107	<i>polnilni</i>	121, 130
laminati	50, 108	<i>pomožni, pri oblazinjenem pohištvo</i>	121, 131
<i>nizkotlačni</i>	108	<i>tekstilni</i>	121-127
<i>visokotlačni</i>	108	<i>vzmetni</i>	121, 130
laminirana stekla	91	matrica kompozita	101, 105, 106, 107
lan	122, 123, 130	medenina	67, 70, 73, 102
lateks	16, 57, 130	<i>linearni temperaturni razteznostni</i>	
lazura	16, 48, 52	<i>koeficient</i>	75
LC ₅₀ 134		medmolekulske sile	40
LD ₅₀ 134		mehanizmi	132
LDPE	43	mehanizmi adhezije	103
LED 114		mehanske lastnosti snovi	24-32
legirano jeklo	68	mehansko sidranje	103
legure	66-67	mehčala	46
lepenka	132	mehki polivinilklorid	46
lepila	16, 41, 47, 50, 52, 53, 56, 98, 117	meja elastičnosti	27
<i>poliestrska</i>	52	meja plastičnosti	27
<i>polikondenzacijska</i>	34, 50	meja tečenja	27
<i>poliuretanska</i>	53, 54	meja, fazna	23
lepljena stekla	91	meje med zrni	23, 64, 66
les		melamin	48, 50
<i>kot naravni kompozitni material</i>	102	melaminformaldehidna lepila	50
<i>kompatibilnost s cinkom</i>	72	melaminske smole	49
<i>kot nanokompozitni material</i>	115	melaminske smole,	
<i>za ogrodje oblazinjenega pohištva</i>	132	melaminformaldehidne smole	41, 50
lesene letve	131	<i>meljevci</i>	95
lesno-cementne plošče	102	mesnatica	127
lesno-polimerni kompoziti	107-108	metakrilati	48
letalni čas	134	metal	62
letve, lesene	131	metamorfne kamnine	96
lignin	34, 102	metanol	135
limonit	67	metilolne skupine	49
linearni poliestri	40	mikrotrdota, Knoopova	28
linearni polietri	56	mikroskop	18, 19
linearni polimeri	36, 40	<i>na atomsko silo</i>	19, 21, 109, 110, 111
linearni relativni raztezki	75	<i>elektronski</i>	19, 23
linearni temperaturni razteznostni		<i>elektronski, vrstični</i>	23, 109
koeficient	74-75	<i>presevni</i>	19
<i>alkalna silikatna stekla</i>	87	<i>transmisijski</i>	19
<i>boratna in borosilikatna stekla</i>	87	<i>tunelski</i>	19, 109, 110
<i>Kerrock</i>	108	mikroskopska zgradba snovi	18, 22, 23
<i>kremenovo steklo</i>	87	mikrostruktura	22, 23, 24, 84, 85
<i>steklokeramika</i>	93	mikrovlakna	16, 126
<i>svinčeva stekla</i>	87	mineral	94
linijske napake	65	modul elastičnosti	26
listna vlakna	122	Mohsova lestvica trdote	31, 98
litine	68	Mohsova trdota	30, 98
<i>bele</i>	68	molekule	18, 21
<i>sive</i>	68	monokristal	22, 24, 65
lito železo	65, 68	<i>žveplo</i>	23
lotosov list	17, 116	monomer	33, 41-42
		<i>vinilni</i>	48
		morska trava	130
		motna stekla	89-90
		mreža	
		<i>kristalna</i>	21, 22
		<i>polimerna</i>	37

- prostorska* 22
 mrežne napake 63
 mrežni modifikatorji 87
 mulit 85
 mutagene kemikalije 134
 mutagene snovi 133
- N**
 najgostejši sklad 62
 najlon 34, 50, 51, 126
 naključni kopolimer 42
 nalimki 54, 59
 nanocevke 19, 111, 114, 115
 ogljikove 19, 115
 nanodelci 112, 113, 114, 115, 116, 117
 fosforescentni 114
 nanofilmi 111
 nanofiltracija 114
 nanoindentacija 119
 nanokapsule 113, 117
 nanokoloizi 112
 nanokompozit 115, 116
 nanokristali 116
 nanomateriali 17, 19, 92, 108-119
 definicija 111
 lastnosti 112
 vplivi na zdravje 119
 nanoprecipitati 112
 nanopremazi 111, 116
 nanostrukture 109, 111, 112
 plastovite 111
 nanotehnologija 17, 19, 92, 108-119
 definicija 109
 nanovlakna 111, 115, 116
 napa 129
 napake
 kristalne 23, 63-64
 črtaste 65
 linijske 65
 mrežne 63
 ploskovne 65
 prostorske 65
 strukturne 63
 točkaste 65
 v steklu 93
 napetost 25
 normalna 25
 tangencialna 25
 naravne kamnine 94-96
 naravni polimeri 34
 nasičeni poliestri 52
 natezna obremenitev 25, 41
 natezna trdnost 27
 natrijevo steklo 87
 nelegirano jeklo 68
 nenasičeni poliestri 52
 neškodljiv dnevni navzem 135
 nevarne snovi 133-137
 nikelj 73, 135
 nit 121, 127
 nitroceluloza 56-57
 nitrocelulozni laki 57
 nitrocelulozni premazi 57
 nizkoemisijska stekla 92
 nizkotlačni laminati 108
 nizkotlačni polietilen 43
 normalna napetost 25
 novolaki 49
 nubuk 129
- materiali* 120-132, 127
materiali za ogrodje 121, 132
ogrodje 16, 52, 69, 107, 132
okrasni materiali 131
polnila 53, 54, 57, 130
pomožni materiali 121, 131
zgradba 120
 oblike polimernih molekul 35-36
 obloge, fasadne, iz polivinilklorida 46
 obrnljiva deformacija 24, 58
 odpornost proti koroziji 23
 odprt posip 100
 ogljik 19, 63, 65, 67, 107, 109, 113
 nanocevke 19, 111
 ogljikov tetraklorid 135
 ogljikova nanocevka, natezna trdnost 27
 ogljikova vlakna 106
 ogljikove saje 113
 ogljikovi nanodelci 113
 ogljikovo jeklo 68
 ogrodje, jekleno 69, 132
 ojačevalna faza kompozita 101, 105, 107
 ojačitev matrice 105
 okna 46
 toplotna prehodnost 80
 okolje 133
 okolju nevarne kemikalije 134
 okolju nevarne snovi 133
 okovje 131, 132
 okrasni materiali 131
 oksidativne kemikalije 136
 oksidativnost 133, 136
 OLED 114
 oljno-alkidni premazi 53
 opeka 81
 linearni temperaturni razteznostni koeficient 75
 toplotna prevodnost 77
 oprti 131
 organske svetleče diode 114
 orodna jekla 68
 osnova kompozita 101, 105
 osnovna celica 22
 ovčja volna 130
 ovčje usnje 129
- P**
 papir 97
 gramatura 98
 parketni laki 55
 peptidna vez 50
 perje 130
 peskano steklo 90
 peščenjaki 95
 piklanje 128
 pirit 23
 plastična deformacija 25, 27, 58
 plastični tok 84
 plastično preoblikovanje kovin 65
 plastično preoblikovanje polimerov 40
 plastika 34
 plastomeri 40, 52, 56
 plastovita struktura 19
 platina 63, 135
 platneni trakovi 131
 platno 97, 127
 plavž 67
 pleksi steklo, polimerno steklo 48, 85
 plini 133
 plodovna vlakna 122
 ploskovne napake 65
 podhlajena tekočina 22
 podkožje 127
 podlaga 97, 131
 pohištvena kolesa 132
 pohištveno blago 127
 pohištvo
- O**
 oblazinjeno pohištvo 16, 51, 52, 53, 57, 107, 119-132, 127, 130

za ležanje	120	polimerne molekule, oblike	35
za sedenje	120	polimerni materiali	21
delovno, oblazinjeno	120	polimerno-mineralni kompoziti	108
iz cinka	71-72	polimetilmetakrilat	36, 48, 56, 85
iz polivinilklorida	46	polipropilen	40, 45, 48, 107
kopalniško	107	<i>linearni temperaturni razteznostni</i>	
kovinsko ogrodje	61, 69, 132	<i>koeficient</i>	75
kuhinjsko	15	<i>natezna trdnost</i>	27
oblazinjeno	51, 52, 53, 119-132	<i>Youngov modul</i>	26
polipropilensko	45	poli-R-akrilati	48
sedežno	52	poli-R-metakrilati	48
stilno	16	polirne paste	97
večfunkcijsko	120	polisiloksani	60
vrtno	44, 46	polistiren	34, 36, 40, 47-48, 107
poliadicija	53	<i>ekspandiran</i>	47
poliakrilati	15, 40, 48, 105, 107, 126, 130	<i>linearni temperaturni razteznostni</i>	
poliakrilatna vlakna	130	<i>koeficient</i>	75
poliakrilatne smole	48	<i>specifična električna upornost</i>	61
polialkidi	52-53	<i>Youngov modul</i>	26
poliamid	40, 50-51	poliuretani	53-56
poliamidna vlakna	51	<i>pena</i>	16, 40, 53, 54, 78, 130
poliepoksidi	56, 105	<i>zamreženi</i>	41
poliepoksidne smole	41, 108	poliuretanska lepila	53
poliestri	15, 34, 52, 53, 55, 105, 108, 126, 130	poliuretanske disperzije	55, 56
<i>linearni</i>	40	poliuretanski premazi	53, 54
<i>melamin</i>	15	<i>rumenenje</i>	55
<i>nasičeni</i>	52	polivinilacetat	47
<i>nenasičeni</i>	52	polivinilklorid	34, 36, 45-47, 48, 107
<i>ojačan s steklenimi vlakni</i>	18, 52	<i>mehki</i>	46
<i>zamreženi</i>	41, 52	<i>pena</i>	16, 130
poliestrska vlakna	52, 130	polnilni materiali	121, 130
poliestrski laki	52	polnilo	16, 53, 54, 57
poliestrsko-uretanski kopolimeri	52	polprevodniki, električni	60-61
polieter	55	pomožni materiali	121, 131
polietilen	34, 40, 42-44, 48, 107	porcelan	81, 84
<i>nizke gostote, LDPE</i>	43	pore v keramiki	84
<i>nizkotlačni</i>	43	porfir	95
<i>sinteza</i>	38	porušitev	25
<i>specifična električna upornost</i>	61	posip	
<i>uporaba v lesarstvu</i>	44	<i>delno odprt</i>	100
<i>visoke gostote, HDPE</i>	43	<i>gost</i>	99
<i>visokotlačni</i>	43	<i>odprt</i>	100
polietilen tereftalat	52	postopek izdelave usnja	128
polietri, linearni	56	povezava med notranjo zgradbo in lastnostmi	16, 17, 18, 19, 24, 41, 43, 51, 58, 81-82, 106
polizocianati	53	površinska energija	83
polikarbonat	40, 52, 56	površinska napetost	85
polikondenzacija	34, 49, 50, 52	površinski razteznostni koeficient	76
polikondenzacijska lepila	34, 50	pozamerterija	132
polikondenzacijski laki	41, 49	praznine	65
polikristalinična snov	18, 23, 62, 66, 83, 86, 93	predivo	121
polimeri	21, 32-60, 33	predornine	94
<i>amorfni</i>	41	prehod toplote	79
<i>anorganski</i>	60	preja	121, 127
<i>delno kristalinični</i>	37, 39, 40	premazi	
<i>kondenzacijski</i>	34	<i>nano</i>	111, 116
<i>kristaliničnost in amorfnost</i>	36-37	<i>oljno-alkidni</i>	53
<i>lamele</i>	36	<i>nitrocelulozni</i>	57
<i>linearni</i>	36, 40	<i>poliuretanski</i>	53, 54
<i>mehanske lastnosti</i>	32-33	<i>samočistilni</i>	17, 18, 113, 114
<i>naravni</i>	34	<i>silikonski</i>	60
<i>plastično preoblikovanje, plastična</i>		prestop toplote	78
<i>deformacija</i>	40	prevajanje toplote	76
<i>razvejani</i>	36, 40	prevodniki, električni	60-61
<i>recikliranje</i>	42	prevodnost, toplotna	76-78
<i>semikristalinični</i>	37, 39, 40	primarna vez	18, 38
<i>sintetični</i>	34	pripravki	133
<i>temperatura tališča</i>	39	promet s kemikalijami	133
<i>vinilni</i>	48	promet z nevarnimi snovmi	137
<i>zamreženi</i>	36, 41	prosta brusilna sredstva	97
polimerizacija		prostorska mreža	21, 22
<i>adicijska</i>	33	prostorske napake	65
<i>stopenjska</i>	34	proteini	34, 50
polimerizacija, stopnja	38	proteinska vlakna	122
polimerna folija, med steklenima		prožna deformacija	25, 58
ploščama	91		
polimerna mreža	37		

prožnostni modul	26		
pyrex steklo	88		
<i>linearni temperaturni razteznostni koeficient</i>	75		
R			
R stavki	137		
radioaktivne snovi	136		
rakotvorne kemikalije	134		
rakotvorne snovi	133		
ramija	122, 124, 130		
razpored gradnikov	21, 22		
razsteklitev	93		
raztezek	26		
razteznost	31		
razvejani polimeri	36, 40		
realna zgradba	63		
recikliranje polimerov	42		
recipročna gostota	39		
red dolgega dosega	21		
red kratkega dosega	22		
redčila	57		
relativni linearni raztezek	26, 75		
rese	131		
reverzibilna deformacija	25, 58		
rezoli	49		
ribonukleinska kislina	34		
robna dislokacija	65		
Rockwellova trdota	28		
rumenenje poliuretanskih premazov	55		
S			
S stavki	137		
sadra	95		
saje, ogljikove	113		
samočistilna stekla	113, 116		
samočistilni premaz	17, 18, 113, 114		
sanitarna keramika	81		
sečnina	50		
sečninske smole	49, 50		
sedežno pohištvo	52		
sedimentne kamnine	95-96		
sekundarna vez	18		
semenska vlakna	122		
semikristalinični polimeri	37, 39		
semianilinsko usnje	129		
semiš	129		
sestava upogibnega brusilnega sredstva	97		
sfalerit	23		
siderit	67		
sienit	95		
sig	95		
silicij	69, 111, 112		
<i>specifična električna upornost</i>	61		
silicijev dioksid	85, 86, 88, 99, 115		
silicijev karbid	82, 96, 99, 118		
<i>natezna trdnost</i>	27		
<i>Youngov modul</i>	26		
silicijev nitrid	82		
silikati	82, 85		
silikoni	60		
silikonski premazi	60		
siloksani	60		
sintetični polimeri	34		
sintranje	83-85		
sisal	122, 124, 130		
sive litine	68		
skaj	46		
slama	130		
smirek	98		
smrtna koncentracija	134		
smuč, zgradba	15		
snov			
<i>definicija</i>	16		
<i>amorfn</i>	21, 22, 39, 85, 93, 94		
<i>kristalinična mehanske lastnosti</i>	21, 22, 39		
<i>polikristalinična snovi</i>	23, 66		
<i>dražilne eksplozivne</i>	133		
<i>gabljive</i>	136		
<i>jedke</i>	133		
<i>kužne</i>	136		
<i>mutagene</i>	133		
<i>nevarne</i>	133-137		
<i>okolju nevarne</i>	133		
<i>oksidativne</i>	136		
<i>radioaktivne</i>	136		
<i>rakotvorne</i>	133		
<i>strupene</i>	133		
<i>vnetljive</i>	133		
<i>zdravju škodljive</i>	133		
sončna zaščitna stekla	92		
sorpcijske lastnosti tekstilnih vlaken	122		
specifična električna prevodnost	60		
specifična električna upornost	60		
specifična površina	83		
specifična prevodnost	60		
specifična upornost	60		
specifični upor	60		
specifični volumen	39		
sponke	132		
srebro	73, 117		
<i>specifična električna upornost</i>	61		
<i>toplotna prevodnost</i>	77		
srebrov jodid	113		
sredstva za brušenje	81, 96-101		
standardna obvestila S	137		
standardna opozorila R	137		
stavbno pohištvo, toplotna prehodnost	80		
stavki, R	137		
stavki, S	137		
stebelna vlakna	122		
stehiometrijske napake	63		
steklo, stekla	22, 25, 26, 85-93, 99, 106		
<i>absorpcijska</i>	92		
<i>alkalna silikatna</i>	86		
<i>barvna</i>	89		
<i>boratna</i>	86, 88		
<i>borosilikatna</i>	86, 88		
<i>Brinellova trdota</i>	29		
<i>brušena</i>	88		
<i>delno kaljena</i>	90-91		
<i>jedkana</i>	90		
<i>kaljena</i>	90-91		
<i>kremenova</i>	86		
<i>kristalizacija</i>	93		
<i>kristalna</i>	88		
<i>kvarčno</i>	86		
<i>laminirana</i>	91		
<i>lastnosti</i>	86		
<i>lepljena</i>	91		
<i>linearni temperaturni razteznostni koeficient</i>	75		
<i>motna</i>	89-90		
<i>natrijevo</i>	87		
<i>nizkoemisijjska</i>	92		
<i>peskano</i>	90		
<i>samočistilna</i>	92, 113, 116		
<i>sončna zaščitna</i>	92		
<i>svinčeva</i>	86, 88		
<i>termoabsorpcijska</i>	92		
<i>termoizolacijska</i>	92		
<i>toplotna prevodnost</i>	77		
<i>transparentnost</i>	86		
<i>varnostna</i>	91		
<i>večplastna</i>	91		
<i>vulkansko</i>	94		
<i>žično</i>	92		
steklena vlakna	106		
steklokeramika	93		
<i>linearni temperaturni razteznostni</i>			

<i>koeficient</i>	93	toge snovi	25
stilno pohištvo	16	togost	26
stiren	52	toksičnost, akutna	134
stirensko-butadienski kopolimeri	59	toluen diizocianat	55
stiropor	47, 78	tonalit	95
stopenjska polimerizacija	34	topila	57, 133, 135
stopnja		toplotna prehodnost	79-80
<i>polimerizacije</i>	38	<i>okna</i>	80
<i>zamreženja</i>	36-37	<i>stavbno pohištvo</i>	80
strižni modul	26	<i>termoizolacijska stekla</i>	92
strojenje	127	toplotna prestopna upornost	78
strojila	128	toplotna prestopnost	78
<i>kromova</i>	129	toplotna prevodnost	76-78
struktura		toplotna prevodnost kovin	63
<i>kamnine</i>	94	<i>vpliv temperature</i>	77
<i>kristalna</i>	21	toplotna razteznost	74
<i>plastovita</i>	19	toplotna upornost	76
strukturne napake	63	toplotne lastnosti snovi	74-80
strupene kemikalije	133	toplotni tok	76, 79
strupene snovi	133	toplotno izolativni materiali	47, 54, 78
submikroskopska zgradba snovi	18, 19	trakovi	131
substitucijska zlitina	67	<i>gumijasti</i>	131
sukanec	121	<i>platneni</i>	131
surovine		<i>trans-1,4 poliiizopren</i>	58
<i>za izdelavo keramike</i>	82	transparentnost stekla	86
<i>za izdelavo stekla</i>	85	trdna raztopina	62, 67, 102
surovo železo	67, 68	trdnost	23, 24, 27
svetleče diode	114	<i>tekstilnih vlaken</i>	121
svila	50, 122, 125, 130	trdota	15, 19, 23, 28-31
svinčev oksid	88	<i>Brinellova</i>	28
svinčeva stekla	86, 88	<i>določanje z nanoindentacijo</i>	118
<i>linearni temperaturni razteznostni</i>		<i>Mohsova lestvica</i>	31, 98
<i>koeficient</i>	87	<i>po Buchholzu</i>	29
<i>lomni količnik</i>	88	<i>po Königu</i>	29
<i>temperatura steklastega prehoda</i>	88	<i>Mohsu</i>	30, 98
svinec	23, 135	<i>Rockwellova</i>	28
<i>linearni temperaturni razteznostni</i>		<i>Vickersova</i>	28
<i>koeficient</i>	75	<i>z razenjem</i>	29
svinjsko usnje	129	trevira	126
škrob	34	tuneliranje	109
šlarafija	131	tunelski mikroskop	19, 109, 110
		tvoriva	16
T		U	
talne obloge	44, 48, 50, 56, 81, 95, 108	učinek lotosovega lista	17, 116
tangencialna napetost	25	umetno usnje	16, 46
tanini	128	upogibna brusilna sredstva	97-101
tekočina	22	<i>sestava</i>	97
tekstil	16, 51, 52, 121-127	urea	
<i>definicija</i>	121	ureaformaldehidna lepila	50
<i>oplemeniten z nanomateriali</i>	113	ureaformaldehidne smole	41, 50
tekstilna vlakna		uretanska vez	53
<i>dolžina</i>	121	<i>usedline</i>	95
<i>enakomernost</i>	121	<i>usnjatica</i>	127
<i>finost</i>	121	<i>usnje</i>	16, 127-130
<i>lastnosti</i>	121	<i>cepljenec</i>	130
<i>sorpcijske lastnosti</i>	122	<i>gladko</i>	130
<i>trdnost</i>	121	<i>lastnosti</i>	129
tekstilni materiali	121-127	<i>postopek izdelave</i>	128
tekstilno tehnološki postopki	126	<i>različne vrste</i>	129
tekstura kamnine	94	<i>umetno</i>	16, 46
telečje usnje	129		
TEM	19	V	
temperatura		van der Waalsova vez	18, 38, 40
<i>steklastega prehoda</i>	38-40, 41, 48, 86, 88, 105	varnostna stekla	90
<i>tališča</i>	39	varnostni list	137
<i>sintranja</i>	83	večfunkcijsko pohištvo	120
temperaturni razteznostni koeficient	74-75	večplastna stekla	91
teorija naključne mreže	86	velikost zrn	66, 83, 84
termoabsorpcijska stekla	92	velur	129
termoizolacijska stekla	92	vez	
termoplasti	40, 45, 47, 48, 52, 56	intramolekularna	38
tex	121	<i>ionska</i>	18, 81
titanov dioksid	92, 113, 114, 116	<i>kovalentna</i>	18, 19, 38, 41, 81
tkanina	127	<i>kovinska</i>	18, 60, 62-63
točkaste napake	65	<i>peptidna</i>	50
toga brusilna sredstva	96	<i>primarna</i>	18, 38

sekundarna	18, 38
uretanska	53
van der Waalsova	18, 38, 40
vodikova	18, 38, 40, 51
vezan les	102, 107, 131
vezivo	16, 52, 53, 56, 57
v brusilnih sredstvih	96, 97
v kompozitih	107
vezniki	131, 132
Vickersova trdota	28
vijaki	132
vinilni monomeri	48
vinilni polimeri	48
viskoelastična deformacija	58
viskoza	126
viskozna vlakna	122
viskozni tok	84
viskoznost	22
visokotlačni laminati	108
visokotlačni polietilen	43
vlakno, vlakna	15, 18, 52, 106, 121
vlakna, acetatna	122
vlakna, anorganska	122
vlakna, bakrova	122
vlakna, celulozna	101, 115
vlakna, grafitna	106
vlakna, gumena	59
iz sintetičnih polimerov	122, 126
kazeinska	122
kemična	122
keramična	115
kolagenska	102, 127, 128
kovinska	115
listna	122
ogljikova	106
plodovna	122
poliakrilatna	130
poliamidna	51
poliestrska	52, 130
proteinska	122
rastlinskega izvora	122
semenska	122
stebelna	122
steklena	106
tekstilna, lastnosti	121
viskozna	122
živalskega izvora	122
vlaknene plošče	102, 107
vlaknovina	97, 121, 126, 127
vložki, vzmetni	131
vnetljive snovi	133
voda, toplotna prevodnost	77
vodik	63
vodikova vez	18, 38, 40, 51
volframov karbid	82, 96
volna	16, 50, 122, 125
ovčja	130
toplotna prevodnost	77
volumski temperaturni razteznostni koeficient	74-75
vrat med zrnoma	83,84
vrata	46
vrhnjica	127
vrste stekla	86-93
vrste usnje	129
vrstični elektronski mikroskop	23, 109
vrtno pohištvo	44
vulkanizacija	
vulkansko steklo	94
vzmetenje	130
vzmeti	16, 61, 130
žepaste	131
vzmetna jedra	131
vzmetne košare	131
vzmetni materiali	121, 130
vzmetni svinčnik	29
vzmetni vložki	131
Youngov modul	26

Z

zakon o kemikalijah	133
zamreženi polimeri	36, 41, 48, 58
zdravje	133
zdravju škodljive kemikalije	133
zdravju škodljive snovi	133
zdrs	
polimernih verig	41
kristalni	63, 65
v keramičnih materialih	81
zelo lahko vnetljive kemikalije	136
zelo strupene kemikalije	133
zgostitev materiala med sintranjem	84
zgradba smuči	15
zgradba snovi	
makroskopska	18, 24
mikroskopska	18, 22, 23
submikroskopska	18
idealna	63
realna	63
zlato	112, 115
specifična električna upornost	61
zlitina, zlitine	15, 61-74, 132
aluminija	16, 69-70
intersticijske	67
substitucijske	67
električna prevodnost	67
kristalni zdrs	67
toplotna prevodnost	77
zlog kamnine	94
znaki, grafični, za nevarnost	137
znanost o materialih	17
zrak, toplotna prevodnost	77
zrna	
abrazivna	98, 100
velikost	66, 83, 84
zrnatost	100-101
zrnavost	100-101
zrno	18, 23, 83, 84
zveza med notranjo zgradbo in lastnostmi	16, 17, 18, 19, 24, 41, 43, 51, 58, 81-82, 106

Ž

železo	67-70, 73, 115
lito	65, 68
struktura	63
surovo	67, 68
toplotna prevodnost	77
žepaste vzmeti	131
žičniki	132
žično steklo	92
žilavost	23, 31-32
kompozitnih materialov	106
žilnine	94
žima	130
živalska koža	127, 128
živo srebro, linearni temperaturni razteznostni koeficient	75
žveplo	23, 58
žveplov dioksid, toplotna prevodnost	77





NARODNA IN UNIVERZITETNA KNJARNICA

GS

II 702 879



200817418

COBISS ©

