

STRUKTURNE LASTNOSTI VLAKEN IN PAPIRJA

STRUCTURAL PROPERTIES OF FIBRES AND PAPER

Marjeta ČERNIČ¹

IZVLEČEK

Papir je ploščat, porozen material, sestavljen iz naključno porazdeljenih in med seboj prepletenih vlaken rastlinskega izvora. Vlaknine v proizvodnji papirja razvrščamo po izvoru, kemični sestavi, lastnostih in namenu uporabe. Les je danes najpomembnejša surovina za proizvodnjo celulozних vlaken, pridobljenih s kemično, mehansko in termično obdelavo ali s kombinacijo le-teh. Morfologija celulozних vlaken se nanaša na obliko, strukturo, površinske značilnosti in prečni prerez. Glede na namen in značilnosti papirja so vlaknom dodani pigmenti, polnila, klejiva in druga kemična pomožna sredstva. Mehanske, fizikalne in kemične lastnosti papirja so določene s kemično sestavo, strukturo, morfologijo in tehnološkimi postopki pridobivanja vlaken. Naloga papirničarja je, da celulozna vlakna v postopku priprave in mletja obdelata tako, da so sposobna tvoriti vodikove in medvlakenske vezi, in da z mešanjem vlaken različnega izvora in morfoloških lastnosti izdelata papir zelene kakovosti. Izdelava papirja je kompleksen kemični in fizikalni proces. Lastnosti in uporabnost končnega izdelka – papirja je odvisna od uporabe osnovnih surovin in tehnološkega postopka izdelave in predelave.

Ključne besede: morfološke lastnosti vlaken in papirja, molekulska in nadmolekulska struktura vlaken in papirja, kemične vezi, fizikalno-kemične lastnosti papirja, merilne tehnike

ABSTRACT

Paper can be defined as a flat porous material composed of random stochastic networks of plant fibres. Cellulose fibres for paper production differ in raw material, chemical structure, properties and end use. Nowadays, wood is the most important raw material for the production of cellulose fibres, which are produced by chemical, mechanical and thermo-mechanical processes, or a combination of those processes. The fibre morphology includes shape, structure, surface characteristics and cross-section properties. Various agents are added to paper stock to enhance or to modify the bonding and coherence between fibres. The mechanical, physical and chemical properties of paper are determined by its chemical and physical structure, the morphology of fibres and the technological process of pulping. Paper production is a very complex chemical and physical process. By choosing a good cellulose pulp, papermaker can produce paper products of desired quality. Today, a wide range of products can be made from paper, which are used for very different purposes: communication, culture, education, art, health and safety, as well as storage and transport of all kinds of goods. In this way, it is almost impossible to imagine a life without paper. The properties and usefulness depend on basic raw materials, and technological conditions of production and converting.

Keywords: morphology of fibres and paper, molecular and supramolecular structure of fibres and paper, chemical bonds, physical and chemical properties of paper, measurement techniques

1 UVOD

Papir je ploščat, porozen material, sestavljen iz naključno porazdeljenih in med seboj prepletenih vlaken rastlinskega izvora. Je splet bolj ali manj čistih celulozних vlaken, pridobljenih iz vlaken lesa ali enoletnih rastlin. Z razvojem kemijske in celulozne industrije so se za pridobivanje celulozних vlaken razvijale vedno nove tehnologije. Danes je les najpomembnejša surovina za proizvodnjo celulozних vlaken, pridobljenih s kemično, mehansko in termično obdelavo ali s kombinacijo le-teh. Glede na namen in značilnosti papirja so vlaknom dodani pigmenti, polnila, klejiva in druga kemična pomožna sredstva. V papirju so vlakna med seboj povezana s kemičnimi vezmi. Naloga papirničarja je, da vlakna v postopku priprave in mletja obdelata tako, da so sposobna tvoriti vodikove in medvlakenske vezi, in da z mešanjem vlaken različnega izvora in morfoloških lastnosti izdelata papir zelene kakovosti. Izdelava papirja je kompleksen kemični in fizikalni proces. Lastnosti in uporabnost končnega izdelka – papirja je odvisna od

uporabe osnovnih surovin in tehnološkega postopka izdelave in predelave [1]. Kakovost lesnih vlaken je odvisna od vrste in kakovosti lesa. Zaradi ustrezne sestave in dolžine celulozних vlaken je najboljši les iglavcev, vendar se zaradi pomanjkanja in cene le-teh uporablja tudi les listavcev in vlakna enoletnih rastlin. Vedno bolj pomembna je tudi uporaba recikliranih vlaken različnega izvora. Znano je, da vsebuje list papirja velikosti formata A4 z maso 5 g povprečno 16×10^6 vlaken, ki so med seboj povezana s približno 16×10^7 vezmi [1, 2, 3].

Glede na surovinsko sestavo, proizvodni postopek in dodelavo ima papir zelo različne lastnosti. Osnovne značilnosti vseh papirjev so *higroskopnost*, *anizotropija* in *viskoelastičnost*, *nehomogenost* in *dvostranost*. Papir je *higroskopičen* material, njegove lastnosti se spreminjajo s spremembo klimatskih razmer v okolju. Papir je *nehomogen material*, sestavljen iz homogenih sestavin, kot so vlaknine, polnila in z zrakom napolnjene pore. Papir je *dvostran material*, in sicer predvsem zaradi

tehnološkega postopka izdelave. Papir je lahko *elastičen* kot trdna snov ali *plastičen* kot zelo viskozna tekočina, zato ima *viskoelastične lastnosti*. Ker ima v različnih smereh različne fizikalne lastnosti, je *anizotropen*, kar je posledica anizotropije posameznih vlaken in vzdolžne naravnosti vlaken v papirnem traku pri izdelavi na papirnem stroju [1, 2, 3, 4].

2 MORFOLOŠKA STRUKTURA VLAKEN IN PAPIRJA

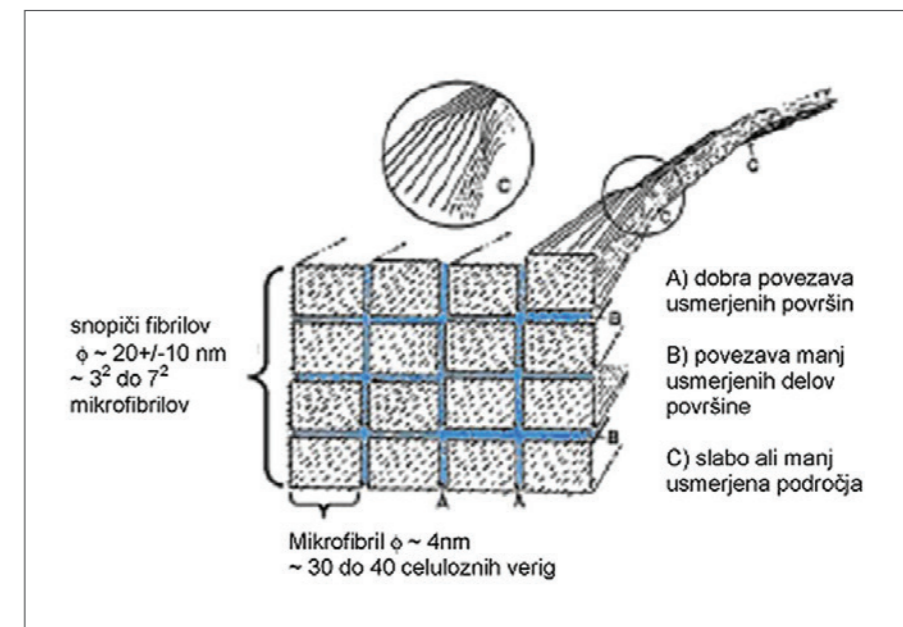
Papir je izjemno občutljiv in zapleten sistem zamreženja, ki ga opredeljujejo surovine za pripravo papirne snovi (vlakna, delci vlaken in polnil) in postopek izdelave na papirnem stroju. Najpomembnejša surovina so vlaknine, ki jih razvrščamo po izvoru, kemični sestavi, lastnostih in namenu uporabe. Morfologija vlaken se nanaša na obliko, strukturo in površinske značilnosti. Mehanske, fizikalne in kemične lastnosti papirja so določene s kemično sestavo, strukturo, morfologijo in tehnološkimi postopki pridobivanja vlaken [1, 3, 4, 5].

Rastlinska vlakna lesa in enoletnih rastlin nastanejo v naravi pri procesu fotosinteze. Celuloza, ki je v naravi najbolj razširjena organska spojina, predstavlja v rastlinah skeletno substanco, ki je sestavljena iz monosaharida β -D-glukoze, v katerega pri hidrolizi tudi razpade. Je naravni linearni polimer (polisaharid), sestavljen iz D-glukoznih enot. Iz β -glukoze nastane škrob, medtem ko iz β -glukoze nastane celuloza. Ta se v lesu in enoletnih rastlinah ne nahaja v čistem stanju, ampak jo spremljajo predvsem lignin in strukturno podobne hemiceluloze, ki jih moramo v postopku pridobivanja celulozних vlaken odstraniti [1-4].

Naravna in kemična vlakna so po zgradbi polimeri, sestavljeni iz majhnih ponavljajočih se enot, monomerov. Primarna struktura polimerov je določena z vrsto in vrstnim redom monomerov. Polimeri v celulozних vlakenih so organskega izvora, zato se kot osnovna atoma pojavljata ogljik in vodik, lahko pa se pojavljajo še kisik, dušik, žveplo in nekateri halogeni elementi. V molekuli organskih spojin so atomi povezani z močnimi kovalentnimi vezmi, ki so primarne; med molekulami atome ali atomske skupine povezujejo šibke medmolekulske vezi, ki so sekundarne. Vezi se tvorijo med atomi ali atomskimi skupinami v isti molekuli (intramolekulske sekundarne vezi) ali med različnimi molekulami (intermolekulske sekundarne vezi). Medmolekulske reakcije vključujejo privlačno in odbojno delovanje znotraj makromolekule in med molekulami, ki so Van der Waalove, vodikove, ionske in kovalentne vezi. Vrsta in jakost medmolekulske reakcije je odvisna od kemične narave ponavljajoče se enote, kot prikazano v preglednici 1 [5, 6].

celuloze z dvema vrstama kemičnih vezi. Osnovna močna vez je *kovalentna vez*, ki povezuje molekule glukoze v celulozno verigo, medtem ko slabšo ponazarja *vodikova vez*, ki je pomembna pri povezovanju celulozних verig pri oblikovanju papirnega lista. V mehanizmu vezave so vključene tudi Van der Waalove sile, ker pa je privlačnost med molekulami majhna, učinkujejo le na kratkih razdaljah. Verigo celulozних molekul, ki sestoji iz 3000 do 5000 glukoznih enot in se oblikuje prek vodikovih vezi, pri povezovanju v plasti prek Van der Waalovih sil imenujemo *mikrofibrili*. Geometrija kratkih vezi C-H zmanjša razdaljo med plastmi,

prostorsko razporeditev in značaj sil medsebojnega učinkovanja strukturnih elementov, ki oblikujejo makroskopsko polimerno snov. Mehanske in druge fizikalne lastnosti polimerov so odvisne od molekulske strukture in se prenašajo na makroskopsko telo prek nadmolekulske organiziranosti. Že zgodnje raziskave orientiranih naravnih polimerov so pokazale predstavo o njihovi amorfno – kristalini sestavi, ki vsebuje urejena (kristalinitna) in neurejena (amorfna) področja. Elektronsko-mikroskopske raziskave naravne celuloze so odkrile njihovo mikrofibrilno naravo in omogočile pojasnitev nadmolekulske strukture celuloze [8, 1].



Slika 1: Shema polikristalne strukture celuloznega vlakna [7, Wathen, 2006].
Figure 1: Scheme of the polycrystalline structure of cellulose fibres

Preglednica 1: Razlika v energiji in velikosti kovalentne in medmolekulske vezi
Table 1: Differences in energy and dimensions between covalent and intermolecular bonding

Vrsta vezi	Energija (KJmol ⁻¹)	Dolžina (nm)
kovalentna	300 - 500	0,15 (C - C, C - N, C - O) 0,11 (C - H) 0,135 (C = C)
vodikova	10 - 50	0,34
dipol - dipol	>10	0,4
Van der Waals	10	0,4

Van der Waalove sile nastajajo med segmenti makromolekul in so prostorsko neusmerjene; delujejo na razdaljah do 0,4 nm, jakost je obratno sorazmerna z razdaljo. *Vodikove vezi* nastanejo med makromolekulami, ki vsebujejo skupine -OH, =NH, -NH₂, -C≡N, učinkujejo na razdalji, ki ni večja od 0,34 nm, in imajo vedno določeno smer. *Kovalentne in ionske vezi* so primarne kemične vezi, ki povezujejo atome v makromolekule in vplivajo na zamreženje makromolekulskih snovi [3-6].

Atomi ogljika, vodika in kisika pri povezovanju oblikujejo enote β -D-glukoze, ki se povezujejo v dolge neskončne verige molekule

zato se jakost Van der Waalovih sil močno poveča in je obratno sorazmerna 6-kratni jakosti medmolekulske razdalje. Mikrofibrili imajo dobro povezavo med seboj in med plastmi, vsaka nenatančnost v stopnji vezave oziroma kristalinitnosti (slika 1) vpliva na slabšo sposobnost povezovanja pri oblikovanju lista papirja [1, 4, 6, 7].

Nadmolekulska – mikrofibrilna struktura celulozних vlaken

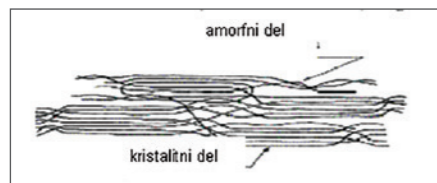
Nadmolekulska struktura papirniških vlaken je tesno povezana s predstavo o fibrilni sestavi naravnih celulozних materialov. Opisuje notranjo strukturo, medsebojno

Za razumevanje lastnosti celulozних vlaken in njihovega odziva pri različnih vplivih moramo poznati strukturo na različnih ravneh. Strukturo na molekularni ravni pojmuje kot kemično sestavo makromolekule ali nanometerske strukture z dimenzijami, ki so manjše od 1 nm, o mikrofibrilni ali nadmolekularni strukturi govorimo pri dimenzijah okrog 10 nm, v območju okrog 100 nm pa se nadmolekulska struktura zliva z mikrotopografijo vlakna pri dimenzijah okoli 1000 nm (optični mikroskop). Pojem strukture obsega mikrotopografijo površine in videz vlakna (reže, brazde, pore) in jo imenujemo makromorfologija ali makromorfološka struktura vlakna (videz, površina, prerez). Neodvisno od tehnike merjenja je najmanjši vlaknu podoben del, mikrofibril. [8].

Mikrofibrili se združujejo v snopičaste morfološke strukture. Združevanje poteka s silami privlaka med ploskvami sosednjih fibrilov, predvsem z vodikovimi vezmi, ki uredijo kristalite sosednjih fibrilov podobno kot okolica. Pojav združevanja je odvisen od mehanizma sočasnega nastajanja mikrofibrilov pri rasti celulozних vlaken. V preseku mikrofibrila je več sto makromolekul in prav

tako makrofibril sestavlja več sto mikrofibrilov. Mikrofibril je osnovni morfološki gradnik nadmolekulske strukture celuloznih vlaknotvornih polimerov s tremi osnovnimi značilnostmi, ki ponazarjajo geometrijo, dvofaznost in anizotropijo.

Rast celuloznega vlakna je povezana s počasnim, vendar neprekinjenim sestavljanjem gradnikov na nadmolekulski ravni. V naravnih celuloznih vlaknih obstaja neprekinjen prehod med skrajnima oblikama, urejeno in neurejeno strukturo. Združeni mikrofibrili tvorijo fibrilno strukturo nizke entropije, ker se združujejo, ko so še urejeni in preden dosežejo visoko entropijo, ki se kaže v večji ali manjši neurejenosti. Urejenost molekul označujemo s pojmom kristalinitet, ki ponazarja delež kristalinitetne oblike glede na celotno vlakno [slika 2].



Slika 2: Shematični prikaz dvofazne molekulske urejenosti znotraj mikrofibrila celuloze
Figure 2: Schematic presentation of two-phase molecular orientations within the cellulose microfibril

Poenostavitev se uporablja v strukturalnih modelih, ki so prikaz kvantitativnih rezultatov strukturalnih preiskav. Za opazovanje so primerne raznolike fizikalne metode, kot so TEM, SEM ali presečna rastrska elektronska mikroskopija (TSEM). Popolnejša opredelitev kristalinitetne oblike snovi je mogoča predvsem z rentgenskimi metodami. S širokokotnim rentgenskim sipanjem (WAXS) so možne raziskave nanometrijske strukture, z ozkokotnim rentgenskim sipanjem (SAXS, SALS) pa raziskave mikrofibrilne in nadmolekulske strukture. Amorfno obliko polimerov karakterizirajo širokopasovna jedrska magnetna resonanca (JMR), polarizirana fluorescenca in dinamična mehanska spektroskopija [8, 1].

3 STRUKTURNE LASTNOSTI PAPIRJA

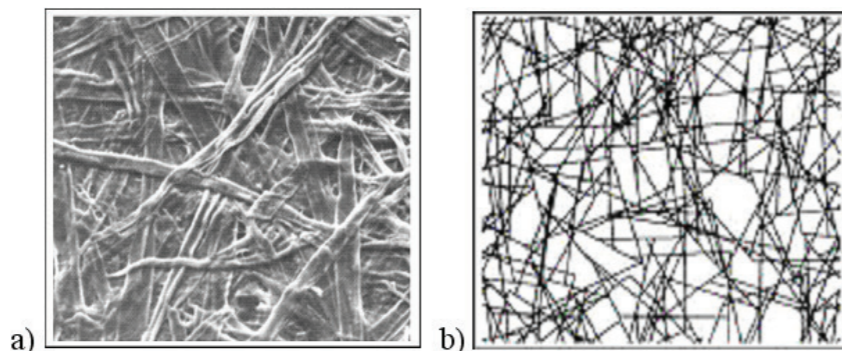
Papir je izjemno občutljiv in zapleten sistem zamreženja, ki ga opredeljuje surovine za pripravo papirne snovi (vlakna, delci vlaken in polnil) in postopek izdelave na papirnem stroju. Vlakninske surovine, ki se v največji meri uporabljajo v proizvodnji papirja, kartona in lepenke, imenujemo primarne vlaknine. Vse vrste odpadnega papirja, ki se večkrat ponovno vračajo v postopek izdelave papirja, kartona in lepenke, tudi postopek recikliranja, imenujemo sekundarne vlaknine. Papirna industrija danes uporablja vlakna, ki jih pridobiva iz lesa in enoletnih rastlin. Les je naraven kompozitni material in fizi-

kalno-kemični kompleks celuloze, lignina, hemiceluloze in ekstraktivnih snovi. Vlakna v rastlinah in lesu niso homogena, ločijo se po strukturi in funkciji. S predelavo lesa in enoletnih rastlin po mehanskem, termomehanskem in kemičnem postopku dobimo različne vrste celuloznih vlaken, ki se uporabljajo za izdelavo različnih vrst papirja. Lesna vlakna vsebujejo okrog 40 do 50 % celuloze, 20 do 30 % lignina, 25 do 35 % hemiceluloze in 2 do 8 % ekstraktivnih snovi [4, 5].

Morfološke lastnosti celuloznih vlaken so zelo pomembne. Cilj papirničarja je, da pripravi vlaknine tako, da tvorijo čim večjo vezno površino med vlakni. Za medvlakensko povezavo je potrebna minimalna dolžina vlaken, ki je sorazmerna z utržno jakostjo papirja. Debelejša vlakna so primerna za voluminozen, absorptiven papir z nizko razpočno in natezno trdnostjo, vendar visoko raztržno odpornostjo. Zaradi fibrilne strukture celuloza slabo nabreka z vodo, zato je povezanost med vlakni slaba. Hemiceluloze zaradi nizke SP dobro navzemajo vodo in nabrekajo in so zato pomemben dejavnik pri oblikovanju vezi med vlakni. Jakost medvlakenskih vezi je odvisna od površinske kemije vlakna, vendar le na ravni nadmolekulske in mikroskopske strukture. Lastnosti mehanskih povezav med vlakni in delci vlaken (fine snovi) so odvisne od tehnološkega postopku izdelave papirja [1, 9, 10, 11].

Papir je naključna mrežna povezava celuloznih vlaken, kot je prikazano na sliki 3. Če je dolžina vlaken bistveno večja od debeline papirnega lista, poteka zamreženje v ravnini dvodimenzionalno, zato je dvodimenzionalna struktura značilna za vse lastnosti papirja in je pomembna tudi za tridimenzionalno porozno strukturo [10, 11].

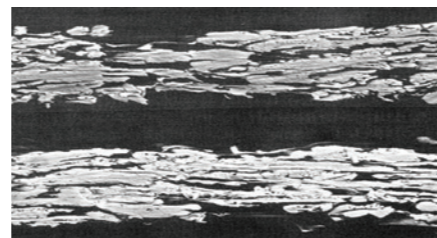
V enostavni dvodimenzionalni strukturi so vlakna linearna in konstantne dolžine, medtem ko je tridimenzionalna porozna struktura odvisna od debeline in sposobnosti preoblikovanja vlaken. V dvodimenzionalni strukturi so pore izključene, kar vpliva na neprosojnost (opaciteto) papirja, voluminoznost in togo strukturo,



Slika 3: a) mikroskopski posnetek površja papirja velikosti 1 mm², b) dvodimenzionalna mreža prepletenih celuloznih vlaken, ki izključuje proste konce vlaken
Figure 3: a) microscopic image of 1 mm² of paper surface, b) two-dimensional random cellulose fibre network approximation excluding free fibre ends

porazdelitev por pa opredeljuje pretok tekočine skozi list papirja [10, 11].

Uporaben koncept za vrednotenje naključnega dvodimenzionalnega sistema je nastanek plasti celuloznih vlaken, ki določa lastnosti dvodimenzionalne mreže, če so lastnosti vlaken nespremenljive, medtem ko število vlakninskih plasti izmerimo v prečnem prerezu papirnega lista. Povezana površina vlaken v plasti glede na celotno površino vlaken je relativna povezana površina (RPP). V tridimenzionalnem sistemu zamreženja je povečanje RPP pri naraščajoči osnovni masi omejeno s številom por. Pore neposredno opredeljujejo gostoto papirja in optične lastnosti, posredno prek RPP pa mehanske lastnosti in dimenzionalno stabilnost. Na stopnjo povezave vplivata organizacija mrežne povezave in sposobnost upogibanja vlaken, ki skupaj določata lastnosti papirja v Z-smeri. Na sliki 4 je prikazan primer porazdelitve por v papirnem listu v Z-smeri [9-11].



Slika 4: Prečni prerez papirnega lista gramature 60 g/m² – vsebuje mesta z višjo in nižjo gramaturo na zgornji in spodnji strani papirja
Figure 4: Cross-section of a 60-g/m²-hand-sheet comparing regions of low and high basis weight (top and bottom)

Še danes z razpoložljivimi tehnikami merjenja ne moremo natančno določiti tridimenzionalne strukture (3D) papirja [9, 10, 11]. Med boljšimi je tehnika določanja 3D-strukture papirja z mikrotomografijo faznega kontrasta rentgenskih žarkov s slikovno analizo v kombinaciji z metodami modeliranja strukture papirja. Za karakterizacijo se uporabljajo številne mikroskopske metode, kot so: SEM (scanning electron microscopy),

EDS (energy disperse x-ray spectroscopy), BSE (back scattering electron), SE (secondary electron image) in CLMS (confocal laser scanning microscopy) [8, 9-11].

4 ZAKLJUČEK – PAPIR IN PRIHODNOST

Papir ima veliko konkurenco v drugih materialih, predvsem na področju izdelave embalaže, ravno tako v računalniški opremi in zlasti v medijih, vendar ima pred njimi tudi prednosti. Papir je izdelan iz obnovljivih surovin in ga je mogoče po uporabi reciklirati. Postopki recikliranja različnih vrst papirja so dobro razviti, saj se danes v evropskem prostoru uporablja za proizvodnjo novih vrst papirja že več kot 70 odstotkov recikliranih vlaken. V razvitih deželah se zavedajo pomena tradicionalne industrije izdelave vlaken in papirja, zato vlagajo velika sredstva za raziskave in razvoj na področju papirništva in interdisciplinarnih področij. V prihodnosti bo konkurenca med proizvodi potekala predvsem na osnovi kakovosti, izboljšanju ekoloških vplivov in znižanju porabe energije [1].

Na vsak proizvod iz papirja je treba gledati celostno, to je stalno zasledovati kakovost surovin, tehnološke razmere izdelave in vpliv končnega izdelka na okolje. »Eco-label« je evropski znak za kakovost okolja in je namenjen izdelkom splošne uporabnosti, med katere so vključeni tudi izdelki iz tissue-papirja za

higienske namene, časopisni, grafični in kopirni papirji [1, 12]. Uporaba EU ekološkega znaka pomeni nove možnosti za zaščito potrošnika v skupnem evropskem prostoru.

5 LITERATURA IN VIRI

- [1] ČERNIČ, M. Morfološke lastnosti vlaken in papirja, V: HUMAR, Miha (ur.), KRAIGHER, Hojka (ur.). Trajnostna raba lesa v kontekstu sonaravnega gospodarjenja z gozdovi, Gozdarski inštitut Slovenije, Silva Slovenica. 2009, str. 149–164.
- [2] KIVIRANTA, A., 2000. Paperboard grades. Chapter 2. (ed. H. Paulapuro), Book 18 in Papermaking Science and Technology, Fapet Oy, Jyväskylä, Finland, 54–72.
- [3] RETULAINEN, E., NISKANEN, K. in NILSEN, N., 1998. Fiber and bonds. Chapter 2 (ed. Niskanen, K.), Book 16 in Papermaking Science and Technology, Fapet Oy, Jyväskylä, Finland, 54–87.
- [4] HAKKILA, P., 1998. Structure and properties of woody biomass. Chapter 4 (ed. Kellomäki, S.), Book 2 in Papermaking Science and Technology, Fapet Oy, Jyväskylä, Finland, 116–185.
- [5] CASEY, J. P., 1988. Pulp and Paper; Chemistry and Chemical Technology, Volume 1: Chapter 1-3. Cellulose and Hemicellulose, Lignin, New York, 1–152.
- [6] ALÉN, R., 2000. Structure and chemical composition of wood. Book 3 in Papermaking Science and Technology (ed. Stenius, P.), Fapet oy, Jyväskylä, Finland, 11–57.
- [7] WATHEN, R., 2006. Studies on fiber strength and its effect on paper properties. Dissertation. Helsinki University of Technology (Finland), KCL Communication, 97 str.

[8] BUKOŠEK, V., 1998. Mikrofibrilna narava vlaken-osnovne zakonitosti mikrofibrilne morfologije, Tekstilec 41, 7-8, 207-215; Pomen strukturalnega modela v morfologiji vlaken, Tekstilec, 41, 5-6, 127–133.

[9] Handbook of Physical Testing of Paper, 2002, Chapter 14 (ed. Mark, R.E., Habeger, C.C. Jr., Borch, J., Lyne, M.B.), 2nd Ed., Revised and expanded, Marcel Dekker, NY, Vol. 1, 792 str.

[10] HOLMSTAD, R., ANTOINE, R. C., NYGARD, P., HELLE, T., 1999-2001. Quantification of the three-dimensional paper structure – methods and potential, COST E 11, 12 str.

[11] PAAVILAINEN, L., MARK, R. E., UESAKA, T., RETULAINEN, E., KELLER, D. S., NAITO, T., 2002. Part 3. Structural Parameters – Fibers, Bonds and Paper in: Handbook of Physical Testing of paper, Volume 1 (Ed. by Mark, R.E., Habeger, C.C., Borch, Jr., J., Lyne, M.B.), Marcel Dekker, Inc., New York-Base, 699–901.

[12] Europa. European Commission. Environment. Eco-label. Products group. Paper Product. 2017. Dostopno: <http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/products-groups-and-criteria.html>.

¹ dr. Marjeta Černič, univ. dipl. ing., DITP Ljubljana
e-pošta: meta.cernic@gmail.com

TINEX

Tinex je vodilno trgovsko podjetje na področju ležajne, linearne, tesnilne in pogonske tehnike na trgih JV Evrope.

Odlikujejo nas strokovnost, kakovost, natančnost, inovativnost, predanost, celovitost ter prilagodljivost.

TINEX, d.o.o. | Poslovna cona B 20, 4208 Šenčur | SLO
T: +386 (0)4 279 22 22 | E: info@tinex.si | www.tinex.si