

BOJANA A. KLAŠNJA<sup>1</sup>  
ŠPIRO Đ. KOPITVIĆ<sup>2</sup>  
STANISLAV S. HERAK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Poljoprivredni fakultet,  
Institut za topolarstvo,  
Novi Sad  
<sup>2</sup> Aggio – Projektni biro,  
Novi Sad

STRUČNI RAD

677.14:676.026

## CTMP VLAKNA VISOKOG PRINOSA KAO MOGUĆNOST EFIKASNIJEG KORIŠĆENJA DRVNE SIROVINE

*Evidentan nedostatak drveta kao sirovine postaje limitirajući faktor razvoja celulozno-papirne industrije koja je najveći potrošač drveta u Evropi. Situacija u našoj zemlji je slična. U proteklih nekoliko godina proizvedeno je 220.000 m<sup>3</sup> prostornog drveta topola i vrba godišnje, što je nedovoljno za predviđeni porast proizvodnje sulfatne celuloze (175.000 tona do 2005. godine). U radu se razmatraju aspekti efikasnijeg iskorišćenja drvne sirovine primenom hemo-termomehaničkog postupka proizvodnje vlakana (CTMP vlakna) visokog prinosa, kao i uticaja ovoga postupka na okolinu. Takođe, razmotreni su uslovi proizvodnje i kvalitet dobijenih vlakana kao mogućnost zamene hemijske celuloze i sekundarnih vlakana pri proizvodnji papira različitog kvaliteta.*

Kvalitet različitih vlakana proizvedenih od drveta je u direktnoj vezi sa odnosom količine i oblika energije koja se koristi u procesu razvlaknjivanja, a naravno zavisi i od vrste drvne sirovine. Pošto se u procesu razvlaknjivanja uglavnom koriste mehanička i hemijska energija, u kombinaciji sa toplotnom, onda se i postupci proizvodnje vlakana dele na: mehaničke, termomehaničke, hemo-termomehaničke i hemijske. Većina ovih postupaka, bilo da se radi o savremenim, ili klasičnim, ima za cilj proizvodnju vlakana sa pogodnim svojstvima za proizvodnju papira. Ogromna raznovrsnost primene papira, prvenstveno u oblasti štamparskih papira, papira za održavanje higijene, papira za izradu ambalaže, kao i papira za specijalne namene, doprinosi stalnom porastu potražnje i potrošnje papira u svetu.

Četinarska drvo je veoma pogodna sirovina za proizvodnju različitih vrsta papira za štampu, na prvom mestu, zbog dužine vlakana. Međutim, dostupnost četinarske sirovine je ograničena u mnogim oblastima, što je doprinelo uvođenju liščarskog drveta u proizvodnju vlakana. Zbog opšte deficitarnosti drvne sirovine, u novije vreme postoji trend u svetu, da se u što većoj meri primenjuju postupci proizvodnje vlakana visokog prinosa, kojima se drvna sirovina maksimalno iskorišćava (prinosi od 65 do 98% u odnosu na polaznu sirovinu).

Visoki prinosi i relativno mali uticaj koji te tehnologije imaju na okolinu, doprineli su da one postanu značajne za proizvodnju skoro svih vrsta papira. Osnovni nedostatak mehaničkih postupaka je visoki utrošak energije za razvlaknjivanje, ali se to može ublažiti savremenim postupcima regeneracije energije [1].

Obim svetske proizvodnje svih vrsta vlakana u 1997. godini je iznosio 186 miliona tona [2], od čega je 132 miliona tona bilo hemijskih vlakana i 28 miliona tona vlakana visokog prinosa (tabela 1).

Tabela 1. Obim proizvodnje vlakana u svetu  
Table 1. World fibre production

Vrsta vlakana	Godišnji obim, milioni tona				Prosečni godišnji porast, %		
	1987.	1992.	1997.	2002.	87/92	92/97	97/02
Ukupno, na bazi drveta	156	175	186	198	2,3	1	3
Hemijska	107	120	132	142	2,4	1,9	1,5
Mehanička	25	21	18	18	-3,3	-3,2	0,0
Poluceluloza	9	9	8	8	0,2	-3,9	0,6
<b>Vlakna visokog prinosa</b>	<b>14</b>	<b>23</b>	<b>28</b>	<b>30</b>	<b>10,5</b>	<b>4,5</b>	<b>1,3</b>

Godišnji porast obima proizvodnje vlakana visokog prinosa, prema istom izvoru, je u periodu 1992/1987 iznosio 10,5%, u periodu 1997/1992 je bio 4,5%, sa tendencijom opadanja na nivo rasta ukupnog obima proizvodnje vlakana na bazi drveta od 1,3%. To pokazuje da su tehnologije mehaničkog razvlaknjivanja drveta doživle veoma intenzivan razvoj tokom poslednjih 15 godina.

### Koji su razlozi porasta primene visokoprinosa vlakana u kvalitetnijim papirima?

Mnogi proizvođači papira su u poslednje vreme svoje strategije razvoja usmerili u pravcu visoko vrednih proizvoda. U SAD je kvalitet na primer, tissue papira povećan do te mere da daje povećanje kvaliteta kupac više ne može osetiti. Isti je slučaj i sa štamparskim papirima u Zapadnoj Evropi [3]. Zbog toga su neki proizvođači papira više zainteresovani za održavanje kvaliteta uz smanjenje troškova, nego za njegovo unapređenje. Zbog toga se industrija papira i kartona može podeliti na dve grupe proizvođača u zavisnosti od pristupa rešavanju problema kvaliteta gotovog proizvoda:

– prva grupa proizvođača proizvodi kvalitetne proizvode i nastoji da održi kvalitet uz smanjenjem troškova;

– druga grupa teži da poboljša kvalitet kroz tehnološki napredak. Ova strategija je povoljna za proizvođa-

Adresa autora: B. Klačnja, Poljoprivredni fakultet, Institut za topolarstvo, 21000 Novi Sad, Antona Čehova 13, tel. 021/540-382, E-mail: bojana@polj.ns.ac.yu  
Rad primljen: April 25, 2004  
Rad prihvaćen: Maj 22, 2004

če papira nižeg kvaliteta, a uzima u obzir povećanje troškova proizvodnje radi prodora na tržište visoko vrednih papira.

Da bi proizvođači visoko kvalitetnih papira ostali konkurentni i održali svoje pozicije na tržištu moraju smanjiti proizvodne troškove bez posledica po kvalitet proizvoda. To se može postići povećanjem efikasnosti proizvodnje ili smanjenjem ulaznih troškova, pre svega sirovine. Smanjenje troškova sirovine se postiže smanjenjem zapremine težine ili upotrebom jeftinijih sirovina. To znači prelaz sa dugovlaknaste na kratkovlaknastu (lišćarsku) celulozu, povećanje upotrebe sekundarnih vlakana, pigmenta i punila. Razvoj beljene CTMP i PGW je omogućio proizvođačima visoko kvalitetnih higijenskih papira, kartona i štamparskih papira, da smanje svoje troškove sirovina, jer su ova vlakna kvalitetnija u odnosu na sekundarna vlakna, i konkurentna su u pogledu cene.

Povećanje udela visokoprinosa vlakana u smislu boljeg iskorišćenja raspoloživih resursa drveta u svetu je evidentno: u zemljama Evropske Unije udeo je 0,5, u SAD i Kanadi 0,25, dok je u Aziji niži od 0,20 [4]. Jedna od većih poteškoća prilikom zamene skupe hemijske celuloze sa visokoprinosa vlaknima je i niska stabilnost beline zbog značajnog udela lignina u njima. Visokoprinosa vlakna bogata ligninom, kao i papiri sa velikim udelom ovih vlakana žute pod dejstvom svetlosti. Povećanje stabilnosti beline i inhibicija žućenja je bio predmet izučavanja u mnogim evropskim institucijama u okviru projekata koji su finansirani sa ciljem očuvanja evropskog šumskog fonda, odnosno zalih industrijskog drveta. Međutim, treba imati u vidu procenu da samo oko 10% ukupno proizvedenih papira u svetu biva dovoljno dugo izloženo UV zračenju da bi se uočili neželjeni efekti.

#### **Deficit drvene sirovine u zemlji – jedan od osnovnih razloga za uvođenje CTMP**

Danas je evidentno da nedostatak drveta kao sirovine postaje limitirajući faktor razvoja celuložno-papirne industrije. Potrošnja drveta u Evropi u 2000. godini je iznosila 620 miliona  $m^3$ , što u odnosu na proizvodnju od 422 miliona  $m^3$  predstavlja manjak od 198 miliona  $m^3$ , odnosno neophodost uvoza drveta od 32%. Najveći potrošač drveta u Evropi je industrija celuloze i papira.

Analizom stanja šuma, proizvodnje i potrošnje drveta u našoj zemlji je konstatovano da je za realizaciju planirane godišnje proizvodnje od 175 000 tona celuloze od drveta u Jugoslaviji do 2005. godine potrebno je obezbediti 70 000  $m^3$  jele/smrče, 105 000  $m^3$  bukve i 414 000  $m^3$  topole i vrbe bez kore [5]. Celululozno drvo bukve realno se može obezbediti u redovnoj proizvodnji na domaćem tržištu. Sadašnja i moguća buduća proizvodnja drveta jele i smrče (godišnje oko 50 000  $m^3$ ) u celini ne obezbeđuje iskazane potrebe, nego se može računati na oko 20 000  $m^3$  celuloznog drveta iz domaćih izvora i delimično na moguću supstituciju korišćenjem

drveta topola i recikliranih vlakana iz starog papira, a preostali deo na uvoz iz drugih zemalja. U periodu 1996. do 1999. godine proizvedeno je 220 000  $m^3$  prostornog drveta topola i vrba godišnje [6], čime je obezbeđeno samo nešto više od 50% planirane količine od 414 000  $m^3$  godišnje.

Prednosti proizvodnje CTMP vlakana u odnosu na klasičnu hemijsku celulozu u svetlu nedostatka topolovog drveta kao sirovine u Jugoslaviji se ogledaju pre svega u značajno većem prinosu CTMP vlakana.

Prosečna potrošnja drveta topole za proizvodnju jedne tone apsolutno suve nebeljene sulfatne celuloze (50% prinos) iznosi 6,25  $m^3$ , a za proizvodnju CTMP vlakana 3,25  $m^3$ . S obzirom da je odnos topolovog drveta i drveta bukve prilikom kuvanja 70:30, proizilazi da je ušteda oko 1,2  $m^3$  drveta topole po toni proizvedenih apsolutno suvih vlakana. Prevedeno na godišnji nivo, u zavisnosti od postignutog obima proizvodnje, to nisu zanemarljive količine drveta koje bi se uštedele. Posmatrano na drugi način, pošto je i drvo topole kao sirovina u deficitu, proizilazi da bi njenim efikasnijim korišćenjem tj preradom u CTMP proizveli znatno više vlakana. Konkretno, od postojećih 220 000  $m^3$  drveta topola i vrba sa datim normativima se može proizvesti oko 36 500 t sulfatne celuloze, odnosno 67 700  $m^3$  CTMP vlakana, što je za oko 85% veća količina vlakana.

Pored visokog prinosa, drugi osnovni razlog naglog povećanja obima proizvodnje CTMP vlakana u svetu je svakako značajno smanjenje negativnog uticaja na okolinu. Pošto je upotreba hemikalija u CTMP pogonima znatno manja u poređenju sa proizvodnjom sulfatne i sulfatne celuloze, to se i problem otpadnih voda daleko lakše rešava. U ovom kontekstu je i znatno veći prinos (bolje iskorišćenje drvene sirovine), pa je BPK opterećenje CTMP pogona jedna desetina od onog u proizvodnji sulfatne celuloze. Sa tog aspekta je vrlo prihvatljivo rešenje da CTMP pogon bude u blizini pogona sulfatne celuloze. Na taj način je moguće prikladno rešenje zajedničkog tretiranja otpadnih voda, a u celosti se umanjuju ukupna investiciona ulaganja do 30%.

#### **Koji su uslovi za proizvodnju CTMP?**

Hemo-termomehanički postupak proizvodnje vlakana je nastao modifikacijom termomehaničkog postupka, uvođenjem i hemijskog tretmana sirovina, da bi se uštedelo na energiji rafinacije (razvlaknjivanja) i snizila temperatura rafinacije, uz mogućnost proširenja sirovinске osnove i na lišćarske vrste drveta. Hemijski tretman se može obavljati sa  $Na_2SO_3$ ,  $NaHSO_3$ , smešom  $Na_2SO_3$  i  $NaOH$  itd. Na lignin se može delovati na različite načine sa ciljem da se postigne njegova hidrofilnost i bubrenje. Kod lišćara je koncentracija lignina u srednjoj lameli viša, a u ćelijskom zidu niža u odnosu na četinare, pa je rastvor alkalija efikasniji. Zajedničko dejstvo alkalija sa sulfatom omogućava samo delimičnu sulfonaciju lignina zbog preniske temperature i prekratkog vremena reakcije.

Osnovne faze CTMP postupka su: tretiranje sečke vodenom parom, impregnacija, zagrevanje, rafinacija, beljenje i ugušćivanje.

**Faza tretiranja vodenom parom** se obično izvodi na temperaturi do 110°C u trajanju do 10 minuta, a obuhvata i pranje da bi se odstranile nečistoće koje nisu poželjne u disk rafineru.

**Faza impregnacije** se izvodi za lišćarsko drvo najčešće smešom Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> i NaOH (do 3% Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> i 1–7% NaOH), u trajanju do 30 minuta. Alkalni uslovi moraju da se obezbede da bi se umanjilo sulfonovanje lignina, koji tako postaje hidrofilniji, što za posledicu ima veće brenje vlakana. Dodatno, snižava se tačka staklastog prelaza lignina na 70–90°C, zavisno od stepena sulfonovanja. Da bi se izbeglo taloženje omekšalog i delimično rastvorenog lignina na površinu vlakana potrebno je temperaturu rafinacije držati ispod tačke staklastog prelaza lignina. Kada se kao sirovina koristi drvo tvrdih lišćara (veće zapreminske mase), mora se postići viši stepen sulfonovanja lignina da bi CTMP vlakna imala dobre mehaničke osobine.

**Faza zagrevanja** traje do 5 minuta, na temperaturi 110–120°C za lišćarsko drvo.

**Faza rafinacije** se obavlja pod pritiskom, na 110°C, u nekoliko stupnjeva (do tri), zbog smanjenja utroška energije do potrebnog stepena mlevenja, zavisno od namene proizvedene CTMP mase. Nakon faze rafinacije obavezno sledi ispiranje proizvedene CTMP mase u cilju postizanja neophodne vrlo visoke čistoće. Pranje se najčešće obavlja u nekoliko stupnjeva, u pužnim presama ili na filterima za pranje. Takva CTMP masa ima nizak sadržaj ekstraktivnih materija, silikata i drugih rastvorljivih sastojaka.

Potrošnja vodonikperoksida u fazi beljenja iznosi do 30 kg/t. Naime, prethodno tretiranje sečke sa Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> je već povećalo belinu, tako da se sa H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> belina može povećati i do 80% (ISO).

Beljena vlakna se ugušćuju, transportuju u sabirni rezervoar i koriste za pripremu mase za formiranje trake papira na papir mašini. Ako pogon za proizvodnju papira nije u sklopu fabrike CTMP vlakana se suše do određenog sadržaja vlage, pakuju i transportuju do potrošača. Sušenje CTMP vlakana može da se obavlja

na istim uređajima koji se koriste i za sušenje celuloznih vlakana.

Para nakon defibracije u rafinerima pod pritiskom se vodi na regeneraciju, kako bi se proizvela čista para niskog pritiska i koristila za sušenje papira (ili CTMP mase). Deo proizvedene toplote može da se koristi za predgrevanje sečke i zagrevanje vode za pranje.

### Kakav je kvalitet proizvedenih vlakana?

Osobine CTMP vlakana visokog prinosa (za lišćarsko drvo prinos je od 88–95%) zavise od primenjene tehnologije i naravno, od vrste drveta koja je korišćena kao sirovina. Danas je četinarsko drvo osnovna sirovina za proizvodnju CTMP (smrča uglavnom, u SAD, Kanadi i eventualno bor, na Novom Zelandu, eukaliptus u Južnoj Americi). U tabeli 2 je dat pregled osobina proizvedenih vlakana od jasike (*Populus tremuloides*) koja je najčešća lišćarska sirovina (naročito u Kanadi, kao samostalna sirovina, ili u smeši sa drvetom breze), kao i nekoliko klonova topole koji su tretirani u raznim fazama ispitivanja u nekoliko evropskih centara, u sklopu projekata koje je finansirala Evropska Unija.

### Opravdanost korišćenja CTMP vlakana

Razlozi za proizvodnju i primenu CTMP vlakana pri proizvodnji papira su sledeći:

- smanjena potrošnja drveta zbog znatno većeg iskorišćenja u odnosu na klasičnu hemijsku sulfatnu celulozu od lišćarskog drveta;
- smanjeni uticaj na okolinu;
- mogućnost zamene celuloznih vlakana CTMP vlaknima u proizvodnji novinskih papira, higijenskih papira, ambalažnih papira, kartona, itd.;
- ublažavanje deficita starog papira;
- investiciona ulaganja su na nivou 30% za BCTMP u odnosu na isti kapacitet beljene lišćarske kraft celuloze;
- niže cene za BCTMP vlakna u odnosu na hemijsku celulozu.

Treba napomenuti da negde od 1995. godine postoje predlozi za eventualno uvođenje visokoprinodne CTMP tehnologije u našoj zemlji, u sklopu fabrike za preradu drveta mekih lišćara sulfatnim postupkom. Pri

Tabela 2. Pregled osobina visokoprinodnih vlakana  
Table 2. Properties of high yield fibres

	Jasika [7]		Jasika [7]		Jasika [8]	Jasika [9]	I-214 Š10]	I-214 Š11]
Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> , %	1,0		2,0		–	–	CMP	TMP
NaOH, %	2,0		4,0		1,2		beljena	beljena
Prinos, %	92,4		90,5		–	92		
Freenes, ml CSF	100	400	100	400	100	119	100	100
Indeks probijanja, kPam <sup>2</sup> /g	1,73	0,65	2,20	1,30	1,08	2,6	0,84	0,90
Indeks kidanja, Nm/g	37,7	18,0	45,7	30,0	25,9	58,8	29,4	24,6
Indeks cepanja, mNm <sup>2</sup> /g	3,6	2,4	4,8	4,7	2,5	7,2	1,95	2,10
Belina (ISO)	57,5		54,3		54,0	60,9	73,3	76,6

tome bi se zbog postojanja infrastrukture, energetskih postrojenja, saobraćajnica, dela pogona za otkoravanje i pripremu sečke, kao i povoljne kadrovske strukture, podizanje pogona moglo izvesti sa mnogo manjim ulaganjima od potrebnih za potpuno novi samostalni pogon.

#### LITERATURA

- [1] T. Stevanović Janežić. CTMP celulozna pulpa visokog prinosa budućnosti. *Glasnik Šumarskog fakulteta* 71/72 (1990): 325–331.
- [2] FAO. Pulp and paper capacities, survey 1997–2002. Food and Agriculture organization of United Nations, Rome 1998.
- [3] D.H. Breck and G.E. Styan. Explaining the increased use of mechanical pulps in high-value papres. *TAPPI Journ.* Vol. 68, No. 7, (1985): 40–44.
- [4] I. Forsskahl. Improvement of high-yield pulping processes and prevention of light-induced colour reversion of lignin-rich pulps and papers (Forest programme Contract MA2B-CT91-018) in: *Proceedings of the European Conference on Pulp and Paper Research*, European Commission, Stockholm (1996): 74–82.
- [5] Grupa autora. Studija razvoja celulozno-papirne, ambalažne i grafičke industrije u Jugoslaviji do 2005. godine. Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu i Centar celulozno-papirne, ambalažne i grafičke industrije, Beograd (1999): 188–205.
- [6] J. Marković, Š. Kopitović, B. Klačnja i S. Rončević. Domaće sirovine za proizvodnju celuloze i papira. VI Jugoslovenski simpozijum iz oblasti celuloze, papira, ambalaže i grafike, Zlatibor. *Zbornik radova* (2000): 19–40.
- [7] S. Mujezinović Huseinbašić, M. Bravar i B. Jakšić. Visokoprinodne celuloze iz liščara. II Jugoslovenski simpozijum o celulozi i papiru, Banja Luka, *Zbornik radova* (1985): 44–51.
- [8] G.C. Myers, R.A. Arola, R.A. Horn, and T.H. Wegner. Chemical and mechanical pulping of aspen chunkwood, mature wood, and juvenile wood. *TAPPI Journal* Vol. 79, No.12 (1996): 161–168.
- [9] B. Kokta. Steam explosion pulping of aspen. *Drevarsky vyskum* No. 127 (1990): 23–39.
- [10] M. Petit Conil and C.de Shodens. Use of a new technical enzyme and its biomimetic system to improve the properties of poplar high yield pulps. (AIR programme Contract AIR3-CT94-2065) in: *Proceedings of the European Conference on Pulp and Paper Research*, European Commission, Stockholm (1996): 385–394.
- [11] M. Petit Conil, C. de Shoudens and G. Chantre. Selection of poplar clones for thermomechanical pulping. 19th International Mechanical Pulping Conference, Ottawa, *Proceedings* (1995).

#### SUMMARY

##### HIGH YIELD CTMP FIBRES AS A POSSIBILITY OF THE MORE EFFICIENT YIELD OF WOOD RAW MATERIAL

(Professional paper)

Bojana Klačnja<sup>1</sup>, Špiro Kopitović<sup>1</sup>, Stanislav Herak<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Agriculture, Novi Sad

<sup>2</sup>Aggio – Design Bureau, Novi Sad

The evident shortage of wood as a raw material has become a limiting factor in the pulp and paper industry which is the greatest consumer of wood in Europe. The situation in our country is similar. During the few past years, the production of poplar and willow pulpwood was 220.000 m<sup>3</sup> per year, which is insufficient for the planned increase in the production of sulphate pulp (175.000 tons till 2005). This paper deals with the aspects of the more efficient yield of raw material, based on the significantly higher yield of CTMP fibres, as well as with the significance of the lower adverse effect on the environment. It also analyses the conditions of production and the quality of the obtained fibres, as a possible substitute for chemical pulp and secondary fibres in papers of different quality. The main reasons for the production and use of CTMP fibres in our country are reported.

Key words: Fibres • Production • Poplar • Aspen •  
Ključne reči: Vlakna • Proizvodnja • Topola •