

**X Naučno/stručni simpozij sa međunarodnim učešćem  
„METALNI I NEMETALNI MATERIJALI“ Bugojno, BiH, 24-25. april 2014.**

## **KORIŠTENJE DEGRADIRANOG DRVETA I DRVNIH OTPADAKA ZA PROIZVODNJU CELULOZE, PAPIRA I KARTONA**

### **THE USE OF DEGRADED WOOD AND WOOD WASTE FOR THE PRODUCTION OF PULP, PAPER AND PAPERBOARD**

**prof. dr. sc. Salim Ibrahimefendić  
Fakultet za tehničke studije  
Travnik**

**mr. sc. Amra Tuzović,  
Fakultet za tehničke studije  
Travnik**

**mr.sc. Marija Garić  
Fakultet za tehničke studije  
Travnik**

**Kategorizacija rada:** Pregledni rad

#### **SAŽETAK**

*Proizvodnja celuloze za izradu papira i kartona u svijetu ima ubrzani rast. Potreba za papirom i kartonom neprestano se povećava, no limitirajući faktor je nedostatak sirovina – biomase. Usljed toga došlo je do tehnološke preorijentacije na nove vrste sirovina, koje su uz modificirane tehnološke postupke prerade davale vlakna koja su se mogla uspješno koristiti za proizvodnju raznih vrsta pisaćih, štampaćih, ambalažnih i tehnoloških papira. Novi sirovinski resursi su, zapravo, dijelovi drveta koji su po klasičnom postupku sječe drveta ostajali u šumama kao što su grane, tanki komadi drveta, degradirano drvo i dijelovi drveta kod tehničke prerade drveta, piljevina u pilanama i dr. Na ovakav način moguće je povećati ukupnu biomasu za kemijsku preradu bez velikih investicionih ulaganja, a ekonomski efekti su značajni. Drugi pristup povećanja biomase je tehnologija korištenja čitavog drveta koja je usko vezana za sistem „ekologije“ uz visok stepen organizacije šumarstva i tehnička sredstva prerade drveta u sječku na mjestu sječe drveta. Značaj proizvodnje papira i kartona za svako društvo je velik, jer njihova potrošnja jedan od pokazatelja stepena ekonomskog i kulturnog razvoja društva. Većina država nastoji imati vlastitu proizvodnju celuloze pod uslovom da posjeduju biomasu, jer u protivnom proizvodnja papira i kartona se odvija na bazi uvoznih sirovina. Bosna i Hercegovina ima sve uslove vraćanja u radnu funkciju predratne proizvodne kapacitete celuloze, papira i kartona pod uslovom da se osiguraju odgovarajuća institucionalna sredstva, jer raspolaže sa zadovoljavajućom količinom biomase, a velike količine papira i kartona se uvoze iz okolnih zemalja.*

**Ključne riječi:** degradirano drvo, drveni otpaci, celuloza, papir, karton

#### **ABSTRACT**

*Manufacture of pulp for making paper and paperboard in the world has a rapid growth. The need for paper and cardboard is constantly increasing, but the limiting factor is the lack of raw materials - biomass. As a result, there has been a technological orientation to new types of raw materials, which, along with a modified chemical processing procedure provide fiber which could be successfully used for the production of various types of writing paper, printed paper, wrapping paper and technology*

*paper. New raw materials, in fact, are parts of the tree which are after processing harvesting of timber remained in the forest such as branches, thin pieces of wood, degraded wood and wood components in the technical processing of wood, sawdust in sawmills, etc. In this way it is possible to increase total biomass for chemical processing without large investments and economic effects are significant. To increase biomass is another approach technologies using the whole tree that is closely related to the system of " ecology " with a high degree of organization of Forestry and technical means of processing the wood. The importance of the production of paper and paperboard in any society is large, because their consumption is an indicator of the level of economic and cultural development of society. Most states are trying to have their own production of pulp, provided that they have biomass. Otherwise, manufacture Paper and cardboard is process based on imported raw materials. Bosnia and Herzegovina has all the conditions for returning to the work function of the prewar production capacity of pulp, paper and board provided to ensure adequate institutional means , since it has a satisfactory amount of biomass, and while currently large quantities of paper and cardboard imported from neighboring countries.*

**Keywords:** degraded wood, wood scrap, pulp, paper, cardboard

## **1. SUNČANA ENERGIJA**

Zemlja je zatvoreni ekosistem čiji je dosadašnji i daljnji opstanak uvjetovan raspoloživom energijom. Zalihe potrošnje energije moraju biti usklađene sa obnovom energije koju Zemlja isključivo dobiva od Sunca. Fotosintezom se stvara biomasa, gdje sunčeva energija veže organsku tvar ugljik iz atmosfere, vodik i kisik iz vode, a istovremeno obogaćuje atmosferu kisikom. Sunčana insolacija je milenijima dolazila na Zemlju i to čini i danas. Energija koja se zračenjem dobavlja je danas 30 000 puta veća od ukupne potrošnje energije. Za cijeli svijet, prosječno se računa da je proizvodnja 280 700 t/km<sup>2</sup> biomase drva u šumama. Prema procjeni FAO, danas ima u svijetu 1800 x 10<sup>6</sup> tona poljoprivrednih otpadaka koji mogu biti izvor energije vlakana, hrane kao i niz drugih mogućnosti upotrebe. U globalu, na Zemlji nema dovoljno hrane za sve stanovnike. Intenzivirajući poljoprivrednu proizvodnju, čovjek je narušio ekosistem i zahvata u taj sistem.

## **2. KORIŠTENJE BIOMASE**

Biomasu koristimo direktno kao izvor hrane, indirektno za izradu tvari i kao sirovinu za dobijanje energije. Najnovija istraživanja pokazuju da danas izgori otprilike ista količina drveta koliko i fosilnog goriva. Jedan od glavnih budućih zadataka je da se primjene tehničke, hemijske i biološke metode za što ekonomičnije korištenje biomase, umjesto drveta, koje je uglavnom, korišteno do sada za energiju. Otpaci biljaka i sporedni produkti će primjenom pirolitskih, bioloških i elektrohemijskih metoda biti novi izvori energije.

Pošto se u biosferi nalazi 40% ugljika u obliku celuloze, 26% u obliku polisaharida i 30% u obliku lignina, mora se ubuduće, naročito hemija polisaharida i lignina orjentirati na iskorištavanje biosfere za dobijanje energije, kao i za hemijsku sintezu niskomolekularnih spojeva. Pri tome glavnu ulogu imati mikrobiološka tehnologija, dok za izradu vlaknastih produkata, sada i ubuduće, koristiti će se prirodni spojevi.

Trebalo bi, što je više moguće, da drvena supstanca svojom strukturom posluži kao građevna materija, naravno uz pomoć modernih hemijskih metoda oplemenjivanja i u vezi s plastičnim masama. Apsorbovanje energije u biosferi je sasvim dovoljno da može zadovoljiti naše potrebe, problem nije samo u povećanju proizvodnje biomase, nego u poboljšanju korištenja postojeće, jer ipak povećano korištenje biomase osjetno narušava biološku ravnotežu, te mogu nastupiti velike teškoće. Tako je neophodno u mnogim oblastima poboljšanje proizvodnje biomase, ali se mogućnosti ne mogu iscrpljivati još dugo. Mora se misliti na korištenje novih biljaka, na upotrebu još nekorištenih šuma, na veće korištenje mehaničkih i hemijskih otpadaka, na povećanje površina kultura, na đubriva, navodnjavanja, kultiviranja i ostale postupke.

### 3. POTENCIJALNI IZVORI DRVNE MASE

U klasičnom pristupu eksploatacije šuma, veliki dio mase ostaje u šumi: cca 40% panjevi i korijeni, vršike i tanke grane, ostaci od rezanja i čišćenja kora. Kao poseban predmet istraživanja postavlja se proširenje obima drvne biomase kao sirovine za proizvodnju vlakna. Također, postoje mogućnosti u oblasti energije kao izvori energije koju imaju drveni otpaci, pa se u izvjesnom smislu postavlja pitanje opredjeljen ja između spaljivanja i procesa delignifikacije kuhanja.

Glavni izvor za dobijanje sječke za izradu celuloze su oblice. Sa porastom potražnje za drvetom za preradu, u celulozno-papirnoj industriji ogroman značaj ima upotreba degradiranog drveta. Kapacitet i smjerovi prerade, odnosno njegovo iskorištenje ovisi o tehničkim mogućnostima i nizu faktora (struktura potreba, troškovi proizvodnje, rashodi transporta, nivo cijena za uzajamno zamjenljive materijale).

Vrste izvora iskorištenja otpadaka od drveta su:

- potencijalni
- realni
- ekonomski dostupni izvori.

*Potencijalni izvori* uključuju u sebe sav kapacitet otpadaka od drveta i gubitaka, pri čemu se uzimaju u obzir i sastav godišnje količine sječke i sastav sirovine drveta i materijala koji se prerađuje. U ovakvim izvorima otpadaka od sječke šume u vidu vršika, grana i grančica na pojedine vrste drveta odnosi se sljedeći postoci zapremine:

- bor i cedar 11-18%
- jela i sjeverna jela 11-4%
- jasika i breza 9-12%

Otpaci od sječke šume variraju od 20-40% od kapaciteta sirovine, obrade drveta od 37-73% od kapaciteta sirovine u proizvodnji namještaja, 95% u proizvodnji kalema, 41-68% u proizvodnji šperploča, 30-40% u građevinarstvu.

*Realni izvori* se određuju kao potencijalni osim tehnoloških gubitaka u procesu pripreme drveta, njegove prerade, transporta i uskladištenja nekvalitetnog drveta i otpadaka od drveta, njegove prerade do finalnog proizvoda.

*Ekonomski dostupni izvori* koji se koriste kao tehnološka potreba, su onaj dio realnih fizičkih izvora, koji s obzirom na kriterij dostupnosti mogu biti predmet efikasnog savladavanja i prerade u finalne proizvode: celuloze, ploča i dr. čija rentabilnost nije manja od normativne. Tehnički mogući kapaciteti ekonomskih dostupnih izvora su samo jedan dio, koji se može savladati, s obzirom na stanje tehnike i tehnologije za određeni ispitani period. Tako se efikasnost ekonomskih dostupnih izvora može postići proizvodnjom sječke samo onda kada realizacija gotovih proizvoda, po stvarnim cijenama, bude nadoknađivala društveno neophodne gubitke (uključivši dobitak). Pojedini instituti obavili su ispitivanja, koja su usmjerena na određivanje izvora iskorištavanja otpadaka drveta i neiskorištenog drveta, s obzirom na primjenu u tim tvornicama, na realizaciju u mjestima i lokalnim objektima, i s obzirom na moguće pravce i efikasnost upotrebe u tehnološke svrhe. Pri ispitivanju bile su obuhvaćene tvornice za pripremanje drvene građe, pilane i tvornice za obradu drveta, u kojima se pravi oko 6-8 hiljada m<sup>3</sup>/god. otpadaka u komadima. Pri tome se određeni izvori i pravci upotrebe osnovnih vrsta otpadaka od drveta, i to posebno za svako mjesto njihovog stvaranja, ili koncentracije (god. količina sječke, donja naslaga, pilana i dr.). U red ispitivanih pilana i tvornica za obradu drveta, svrstane su i tvornice manjeg kapaciteta, ukoliko je njihova lokacija omogućavala koncentraciju iskorištenja otpadaka iz dva ili više preduzeća u jednom mjestu. Upotreba otpadaka u tehnološke svrhe u oblastima sa slabom koncentracijom otpadaka (do 10 hiljada m<sup>3</sup>), ekonomski nije efikasno jer se njihov veliki dio troši kao gorivo. Prerada otpadaka od sječke šuma ekonomski je najefikasnije samo ako se otpaci zajedno prerađuju sa drvenjačom ili sa otpacima, koji dolaze iz pilane pri izvozu drveta ili pri skupljanju pilanskih otpadaka.

### 3.1. Šumski resursi u svijetu

Prema podacima inventarizacije šuma u svijetu koju je proveo FAO, rasprostranjenost šuma u svijetu iznosi (Inventaire Forestier Mondial 1963, Rim, 1966.):

Sjeverna Amerika	710 miliona hektara
Europa	138 miliona hektara
Bivši SSSR	738 miliona hektara
Afrika	700 miliona hektara
Centralna i južna Amerika	901 milion hektara
Azija i daleki istok	500 miliona hektara
Oceanija	92 miliona hektara
<b>UKUPNO</b>	<b>3779 miliona hektara</b>

Od 149 miliona kvadratnih kilometara kopna zemlje na produktivno zernljište otpada oko 100 miliona kvadratnih kilometara (67%). 49 miliona kvadratnih kilometara su pustinje, polarna područja i hladna visoko planinska područja. Od produktivnog zemljišta, oko 2/3 otpada na šume. Od ukupne površine šuma danas se koristi oko dvije trećine, a na produktivne šume otpada svega oko 14 miliona kvadratnih kilometara, a na toj površini se koristi oko jedan kubni metar po hektaru godišnje, odnosno oko 1,5 milijardi kubnih metara drvene mase.

### 3.2. Generalni prikaz šumskih resursa na području BiH

Šume i šumska zemljišta u BiH zauzimaju oko 27100 km<sup>2</sup> površine (oko 53 % teritorija države) od čega su šume oko 22.000 km<sup>2</sup> (oko 43%), a goleti oko 5.000 (oko 10%). Na osnovu slobodne procjene zastupljenosti šuma BiH (43%), je peta u Europi iza Finske, Austrije i Slovenije. Ekonomskih šuma ima oko 13000 km<sup>2</sup> (oko 25% površine BiH) sa prosječnom drvnom zalihom 210 m<sup>3</sup>/ha i prosječni prirast drveta 5,4 m<sup>3</sup>/ha što je ispod mogućnosti potencijala staništa, ostale šume (41%), šumskog pokrivača, 16% teritorije površine BiH su niske i degradirane i imaju veoma mali prirast drveta (oko 1,1 m<sup>3</sup>/ha), međutim površina od 9.000 km<sup>2</sup> ovakvih niskih i degradiranih šuma se većim dijelom može prevesti u ekonomske šume sa investicionim ulaganjem u infrastrukturu, uzgojnim radovima, odabiranje kvalitetnog sadnog materijala, zaštitnim mjerama što bi u znatnoj mjeri ublažilo nedostatak drveta za sve vidove prerade. Što se tiče šumskih goleti oko 4.000 km<sup>2</sup> je pogodno za pošumljavanje dok je cca 1.000 km<sup>2</sup> tlo devastirano i nemoguća je rekultivacija. Prije rata u BiH se sjeklo oko 8.000 000 m<sup>3</sup> drveta, što je za duži vremenski period nemoguće dostići iz slijedećih razloga: smanjene su površine pod šumama zbog gole sječe, eksploatacija minerala, požari, hidroakumulacija, ostaci mina i drugih ubojnih sredstava. Šume u BiH imaju mali pronos drveta i obaveza je države da kroz dugoročni program razvoja šumarstva i druge stimulatívne mjere izmjeni ovo stanje po modelu drugih država; Slovenija, Turska, zemlje Skandinavije.

## 4. KORIŠTENJE BIOMASE KAO GORVA

Drvena masa je bila glavni izvor topline za cjelokupno čovječanstvo od časa kada je čovjek zagospodario vatrom. Iako u industriji drvo gubi značenje kao gorivo, otvaranjem rudnika uglja, a kasnije korištenjem nafte i gasa, za domaćinstvo i nerazvijene zemlje, drvo je i danas jedan od glavnih izvora energije. Naučnici za 21. vijek predviđaju krizu pitke vode i drvene mase. Šumske površine se ne mogu povećati bez smanjenja poljoprivrednih površina, a njih nema dosta. Iz tih razloga je izlaz u korištenju biomase biljaka koje služe za proizvodnju hrane i vlakana i u gajenju posebnih biljaka koje brzo rastu i imaju veliki energetski i vlaknasti potencijal.

## 5. EKSPERIMENTALNI DIO

Od nasječenih komada drveta pripremili smo potrebnu količinu ručne sječke za pojedina kuhanja u 15 litarskom kuhaču. Sječka je bila pripremljena od neotkorenog drveta. Prosječna veličina sječke bila je cca 40x5x4 mm. Probna kuhanja izvršena su (172°C - 90+60') sa količinom aktivnih alkalija 20%, odnosno 21,5% Na<sub>2</sub>O rač. na a.s. drvo. Sulfiditet bijelog luga iznosio je 27% i hidromodul 1:4,0. Metode određivanja bile su jednake kao u ranijim ispitivanjima. Rezultati probnih kuhanja, zajedno sa analizom crnog luga i frakcija na Bauer Mc Nettu, prikazani su u tabeli 1, a vrijednosti za mehaničke osobine u tabeli 2.

Tabela 1: Rezultati kuhanja u 15 litarskom kuhaču

Broj uzoraka	1	2	3	4	5
Schema kuhanja:	20%	20%	21,5%	20%	20%
	Na <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
Iscrpak celuloze, %	35,8	32,0	33,9	42,2	43,0
Kvrge, %	1,8	3,5	1,8	1,8	3,0
Ukupan iscrpak, %	37,6	35,5	35,7	44,0	46,0
Kappa broj	40,7	49,9	40,5	39,9	47,5
Crni lug:					
pH (20°C)	13,25	-	13,25	13,35	13,40
Aktivne alkalije, g/l kao NaOH	17,60		18,40	18,40	19,20
Na <sub>2</sub> S, g/l	8,98		11,36	8,26	9,89
NaOH, g/l	8,40		6,76	9,94	10,13
Utrošak A.A. , % NaOH na a.s. drvo	18,76		20,38	18,44	18,12
Frakcije na Bauer McNettu:			Ostalo na sitima u %		
sito 14	65,8	-	82,6	74,7	69,2
30	23,9		7,2	12,9	12,3
50	4,2		2,8	3,8	4,0
100	1,4		1,0	1,5	1,4
ostalo na sitima, %	95,1		93,6	92,5	86,9
ostalo na sitima, %	4,9		6,4	7,1	13,1

Tabela 2: Mehaničke osobine sulfatne celuloze od uzoraka degradiranog drveta (30 i 50 °SR)

Uzorak	1	2	3	4	5
Vrijeme mljevenja, min	30	57	37	53	23
Stepen mljevenja, °SR	30	50	30	50	30
Kidanje - indeks, Nm/g	88,75	98,60	70,95	77,50	81,05
Rastezanje, %	3,9	4,1	4,0	4,1	4,2
Prskanje - indeks, kPa m <sup>2</sup> /g	5,70	6,80	5,80	6,55	6,15
Cijepanje - indeks, mN m <sup>2</sup> /g	12,90	11,90	14,30	13,75	13,95
Zapreminska težina, kg/m <sup>3</sup>	739	807	768	791	725
Apsorpcija vode (Klemm), mm	26	20	14	7	0
Porozitet (Gurley), s	739	807	103	114	117,4
				127,4	178,0
				190,8	54,7
					54,9

Na osnovu dobivenih rezultata probnih kuhanja može se zaključiti, da je za izradu celuloze iz degradiranog drveta potrebna veća količina aktivnih alkalija (uzorak br. 2 , 4, 5), u odno su na normalnu sječku. Iscrpak celuloze je znatno niži od rezultata za normalnu sječku koji iznosi 46,5% . I u pogledu mehaničkih osobina, naročito u pogledu dužine kidanja sve celuloze iz degradiranog drveta pokazuje u niže vrijednosti od onih za celulozu iz normalne sječke. Poređenje rezultata frakcione analize vlakana sa vrijednostima za mehaničke osobine pokazalo je , da je kod celuloza sa visokim sadržajem dugih vlakana (ostatak na situ br. 14) postignuta visoka vrijednost za cijepanje-indeks, kao jedne od bitnih karakteristika celuloze za izradu natron papira za vreće (uzorak br. 2 i 3 ), dok je za visoku vrijednost za kidanje-

indeks potreban i veći sadržaj frakcija na situ br . 30 (uzorak br. 1). Prosječne dužine vlakana Bauer Mc Nettovih frakcija su slijedeće :

sito 14	2,754 mm
sito 30	1,873 mm
sito 50	1,212 mm
sito 100	0,685 mm

Dobiveni rezultati pokazuju različit stepen degradacije vlakana, koji se ispoljava tako na iscrpku celuloze kao i na njenim osobinama.

## 6. ZAKLJUČAK

Trend razvoja proizvodnje celuloze i papira u svijetu ima veoma dinamičan tok i predstavlja sintezu privrednog i kulturnog razvoja čovječanstva i država.

Ukoliko BiH želi biti članica EU, pored ostalih uslova morat će dinamizirati vlastitu industriju celuloze i papira, a time i potrošnju čime se aktuelizira istraživanje uz primjenu tehnološkog i ekonomskog korištenja biomase drvnih dijelova koji se danas ne koriste, a predstavljaju izvor veoma kvalitetnih vlakana.

Sigurno je da bez dodatnih investicionih ulaganja u nabavku opreme za eksploataciju i pripremu sječke iz biomase drvnih dijelova kao i modifikaciju dijela postrojenja za kemijski tretman, nije moguće aplicirati planirani koncept.

## 7. LITERATURA:

- [1] Karlsson, I: *Fibre guide, Fibre analysis and pocess application in the Pulp and paper industry*, AB Lorentzen-Wettre, Sweden, 2006.
- [2] \*\*\**Izvyještaj o rezultatima istraživanja proizvodnje vlakana iz degradiranog drveta*, Institut za celulozo in papir, Ljubljanja- Slovenija.
- [3] Bublitz, W.J.: *Regional differences in United States wood procurement for the paper industry*, Tappi-Journal of the technical association of the pupl and paper industry, november/Volume 61/1978.