Biblid: 0350-2953 (2014) 40(4): 199-210
UDK: 662.767.2

Originalni naučni rad
Original scientific paper

SEČKA OD DRVETA KAO BIOGORIVO

WOOD CHIPS AS BIOFUEL

Janić T, Tica N, Zekić, V

Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Trg Dositeja Obradovića 8, Novi Sad
e-pošta: jtdor@polj.uns.ac.rs

REZIME

U svetu je opšti trend korišćenja drvne biomase u svrhu dobijanja energije. U težnji da se drvna biomasa pripremi u formi pogodnoj za automatski rad termoenergetskih postrojenja razvijena je tehnologija pripremanja drvne biomase u formi sečke.

Cilj ovog rada je da se analiziraju fizičko-hemijske karakteristike sečke od drveta, tehnologija njene proizvodnje, transporta, skladištenja i korišćenja (lanac snabdevanja), kao i da se prikaže kalkulacija njene tržišne vrednosti.

U postojećoj tehnologiji u pripremi sečke od drveta postoje adekvatna rešenja za sve činioce u tkz. gorivom lancu (seče, pripreme, transporta, sušenja, skladištenja i doziranja).

Ukupna cena sečke od sečke sa svim logističkim troškovima iznosi 10,81 din/kg, što sa usvojenom vrednošću evra od 123 din/evru iznosi 87,89 evra/t. Sa obzirom da se radi o drvnom materijalu niske vlažnosti, zadovoljavajuće toplotne moći i forme pogodne za mehanizovan, tj. automatski rad termoenergetskog postrojenja navedena cena sečke je sa tržišnog aspekta konkurentna i isplativa za korišćenje u svrhu dobijanja energije.

Ključne reči: drvna biomasa, sečka, energija, cena

1. UVOD

Usled relativno brzog iscrpljivanja fosilnih izvora energije, negativnih uticaja na okolinu i klimatskih promena, globalna pažnja se usmerava ka potrebi efikasnijeg korišćenja energenata, pronalaženju novih i korišćenja obnovljivih izvora energije. Zbog toga, razvijaju se novi pristupi generisanju i korišćenju energije. Bez obzira što se biomasa koristi od samog postanka čoveka kao svesnog bića, obnovljivost u njenom nastajanju čini ovaj energetski izvor veoma aktuelnim i u današnjem vremenu. Iako se pod biomasom podrazumeva različita organska razgradljiva materija u pogledu energetskog korišćenja sagorevanjem, drvo predstavlja njen najkvalitetniji oblik (Janić i sar., 2010).

Energija na bazi drveta je dominantan izvor energije za preko dve milijarde ljudi u svetu, posebno za domaćinstva u zemljama u razvoju. Biogoriva, posebno ogrevno drvo i drveni ugalj (ćumur) trenutno učestvuju sa više od 14% u ukupnoj svetskoj proizvodnji primarne energije sa trendom da se udeo drveta u zadovoljavanju energetskih potreba poveća, pre svega iz plantažnih, tj. energetskih zasada (Nyboer i Bennett, 2013).

Na potencijale energetskog iskorišćavanja drveta delom se projektuje i razvoj ekonomski snažnih zemalja i to uglavnom za grejanje većih centralizovanih sistema i proizvodnju električne energije u kogenerativnim postrojenjima. Posebno se u tim razvijenijim zemljama očekuje rast korišćenja drveta u energetske svrhe sa povećanjem svesti o globalnim ekološkim problemima na našoj planeti (klimatske promene i dr.).

U razvijenim zemljama se u odnosu na ukupno korišćenje drveta u energetske svrhe drvo koristi sa udelom od ispod 40%, dok se u zemljama u razvoju taj procenat kreće i preko 80%.

Kod malih termoenergetskih jedinica drvo se za sagorevanje koristi u formi cepanica, dok se sa razvojem velikih postrojenja za sagorevanje drveta sa automatskim upravljanjem sve više u praksu uvode nove forme drveta za sagorevanje, kao što su sečka, pelet i briket.

Cilj ovog rada je da se analiziraju fizičko-hemijske karakteristike sečke od drveta, tehnologija njene proizvodnje, transporta, skladištenja i korišćenja (lanac snabdevanja), kao i da se prikaže kalkulacija njene tržišne vrednosti.

2. MATERIJAL I METOD RADA

Drvo predstavlja višegodišnju biomasu koja je lignocelulozni materijal, donekle promenljivog elementarnog sastava. Organska supstanca drveta je složene strukture koja se sastoji od istih elemenata kao i druga prirodna čvrsta goriva. Tu se podrazumevaju: ugljenik (c), vodonik (h), kiseonik (o), azot (n), sumpor (s), mineralne materije (a) i vlaga (w) (Brkić i Janić, 2011).

Ugljenik, vodonik i kiseonik se nalaze u okviru ugljovodoničnih jedinjenja. Osnovne komponente koje čine strukturu drveta su celuloza, hemiceluloza, i lignin. Procentualno učešće pomenutih komponenata u drvnoj supstanci menja se od vrste do vrste, ali i od dela stabla koje se analizira. U suvom drvetu lišćara, celuloza prosečno učestvuje sa 43-45%, lignin sa 19-26%, heksozan 3-6% i pentoza sa 21-26 %. Kod četinarica celuloze ima između 53-54%, lignina 26-29 %, heksozana 13% i pentoza 10-12%. Drvo sadrži i male količine ekstraktiva, ali oni mogu imati velikog uticaja na toplotnu moć drveta (Klas, 2004).

Sastav drveta utiče i na njegovu tvrdoću, tako se različite vrste drveta mogu podeliti na: meko i suvo drvo. U meka drva spadaju: lipa, vrba, svi četinari, topola, jasen, jova i dr., dok tvrdo drvo čine: hrast, bukva, grab, brest i dr (Danon, 2010).

Komparativni prikaz važnijih elemenata u hemijskoj analizi nekih vrsta drveta, svedeno na suhu materiju, prikazan je u tab. 1. Udeo sumpora kao gorivog elementa je u tabeli 1 zanemaren, pošto je udeo sumpora kod drveta najčešće samo u tragovima i iznosi 0 - 0,1%.

Tab. 1. Hemijski sastav nekih domaćih vrsta drveća (Danon, 2010).

Tab. 1. Chemical composition of some domestic type of wood

Vrsta drveta Wood species	Prosečna donja toplotna moć Average lower calorific value (kJ/kg)	Elementarni hemijski sastav Elementary chemical composition (%)			Prosečne gustine drveta Average wood density (kg/m ³)
		C	H	O	
Bukva - Beech	18.820	48,5	6,3	45,2	720
Hrast - Oak	18.360	49,4	6,1	44,5	690
Crna topola – Black poplar	17.260	49,7	6,3	44,0	450
Smrča - Spruce	19.660	49,6	6,4	44,0	470
Jela - Fir	19.460	50,0	6,4	43,6	450
Bor - Pine	21.210	49,9	6,3	43,8	520

Po poprečnom preseku stabla drveta, razlikuje se više slojeva u njegovoj strukturi i to: spoljna kora, lika, kambijum, drvena masa - ksilem i srž. U odnosu na sloj u građi drveta razlikuje se i elementarni sastav tog dela drveta. Tako kora drveta sadrži više pepela, čiji ukupni udeo varira i zavisi od mesta rasta drveta. To je pre svega izraženo zbog minerala (zemlja, pesak i dr.) koji se lepe za površinu kore drveta. Takođe, u zavisnosti od vrste drveta i sloja koji je izražen po njegovom poprečnom preseku zavise i njegove tehničke karakteristike koje se manifestuju u procesima njegovog sagorevanja. Zbog toga četinari koji imaju u svom hemijskom sastavu u odnosu na lišćare više lignina, a manje celuloze imaju i veću toplotnu moć i duže im je vreme sagorevanja.

Na tehničke karakteristike (toplotnu moć i kinetiku – brzinu sagorevanja) drveta utiče i njegova gustina. Sa povećanjem gustine drveta povećava se njegova toplotna moć, dok se brzina sagorevanja smanjuje. Na gustinu drveta utiče: vrsta i starost drveta, deo drveta (stablo, grane, koren, lišće...) i vreme seče (period vegetacije, zima ili leto). Gustina drveta se kreće u granicama od 550 do 900 kg/m³, što se može videti u tab. 1.

Od važnijih karakteristika drveta kao energenta koje značajnije utiču na proces njegovog sagorevanja može se navesti sledeće:

- u poređenju sa konvencionalnim energentima (tečna goriva, prirodni gas i ugalj) drvo je jeftinije gorivo i pored toga što ima manju raspoloživu energiju po jedinici zapremine,
- mala raspoloživa energija po jedinici zapremine drveta utiče na njegove veće transportne troškove, što je podstaklo korišćenja sečke od drveta,
- drvo ima manji sadržaj korisnih gorivih elemenata ugljenika i vodonika u odnosu na fosilna goriva,
- drvo ima veliki sadržaj kiseonika čime se smanjuje njegova toplotna moć, što je naročito izraženo kod maladih delova drveta (list, lastari...),
- u drvojoj masi udeo azota i sumpora (kojeg ima samo u tragovima) je mali, što drvo kao biogorivo u velikoj meri čini ekološkim, jer njegovo sagorevanje ne dovodi do pojave kiselih kiša, a postrojenja u kojima drvo sagoreva imaju duži vek eksploatacije,
- drvo ima mali udeo mineralnih materija (<1%), ali se i pored toga prilikom sagorevanja drveta na pepeo mora obratiti pažnja zbog niže temperature njegove topljivosti, koje su više izražene ako se u ložištima sagoreva veća količina kore,

- pored ostalih komponenti drvo sadrži i određenu količinu vlage, čiji maseni udeo u drvetu može varirati u velikom rasponu. Prema sadržaju vlage u drvetu postoji podela na: suvo drvo sa 10-20% vlažnosti, polusuvo drvo sa 20-35% vlažnosti i sirovo ili vlažno drvo sa vlažnošću od preko 35%. Tokom sagorevanja drveta za isparavanje vlage i njeno pregrevanje na temperaturu dimnih gasova troši se značajan deo toplote oslobođene sagorevanjem usled čega se smanjuje toplotna moć drveta, smanjuje energetska efikasnost postrojenja za sagorevanje drveta i povećava emisija štetnih gasova u atmosferu usled nepotpunog sagorevanja. Promenljivi udeo vlage u drvetu se u ložištu može manifestovati kao da sagorevaju dva potpuno različita goriva,

- gorive isparljive materije (volatili) u drvetu čine preko 80% njegove ukupne mase (sl. 1). Tokom sagorevanja drveta volatili u procesu suve destilacije prvi sagorevaju kao gasovito gorivo u kratkom vremenskom periodu i osnovni su izvor aerozagađenja u slučaju da je sagorevanje nepotpuno.

- jedna od najznačajnijih tehničkih karakteristika pojedinih materija kod ocenjivanja da li se mogu koristiti kao goriva je toplotna moć. Uopšteno posmatrajući toplotna moć drveta je manja u odnosu na kvalitetnija konvencionalna goriva, što se može videti na sl. 1. Prosečne donje toplotne moći za neke vrste drveta su prikazane u tab. 1. Uopšteno posmatrajući toplotne moći u odnosu na suhu osnovu drveta iznose od 18.000 do 22.000 kJ/kg. Sa povećanjem vlažnosti smanjuje se toplotna moć drveta. Toplotna moć raste kada se posmatraju slojevi preseka od periferije stabla prema njegovom središtu.

Sl. 1 Fizičko – hemijske karakteristike čvrstih biogoriva (Alakangas, 2008)

Fig. 1. Physical - chemical vharacteristic of solid biofuels

Kao što je navedeno drvo kao gorivo ima niz povoljnosti, ali i nedostataka. Od dobrih osobina drveta kao goriva može se istaći da je relativno lako dostupan, obnovljiv, tehnički i ekološki prihvatljiv izvor energije. Međutim, i pored mnogih povoljnosti korišćenje drveta kao energenta ono ima i određene nedostatke, od kojih bi se kao važniji mogli navesti: duži period rasta, razućenost u prostoru, otežano i skupo sakupljanje, transport i skladištenje, što je pre svega uslovljeno malom zapreminskom masom (gustinom), nepovoljnim oblikom i visokim sadržajem vlage u periodu seće (Wolfsmayr i Rauch, 2013).

Navedeni problemi se u mnogome mogu smanjiti ako se drvo za transport, skladištenje i energetske valorizaciju priprema u formi sećke, peleta ili briketa. Istina, za te procese se troši dodatna energija za transport, manipulaciju, usitnjavanje i po potrebi sušenje, ali se na taj način dobija biogorivo koje je mnogo pogodnije i jeftinije za korišćenje.

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

Sećka od drveta se najčešće dobija mehanizovanim usitnjavanjem drveta lošije klase iz šumarstva (ogrevnog drveta, tanjih i krivih stabala, grana, kore, panjeva i drugih ostataka drveta), ostataka iz drvo-preraćivaćke industrije i komunalnih delatnosti. Na taj način se dobijaju komadići drvene biomase raznih dimenzija i oblika. Dužina komadića sećke iznosi od 1-10 cm, a razlikujemo tri kategorije: fina sećka do 3 cm, srednja sećka do 5 cm i krupna sećka do 10 cm.

U pogledu energetske efikasnosti pri proizvodnji sećke, može se istaći da se za njenu pripremu koristi mala kolićina energije u odnosu na ukupno raspoloživu energiju. Kod direktnog usitnjavanja i korišćenja utroši se svega 0,5% energije od one koja se može dobiti njenim sagorevanjem, dok taj procenat za materijal koji se prethodno mora sušiti i sa njim dodatno manipulirati iznosi preko 20%.

Tehnologija rada pripreme sećke od drveta kao biogoriva

Da bi se bolje organizovalo prikupljanje biomase za sećku i njene karakteristike kao biogoriva održavale na što približnijem nivou neophodno je tokim usitnjavanja materijala mešati sirovine od razlićitih delova drveta. To je zbog toga što lišće, grane, stabla i koren imaju razlićite fizićko-hemijske karakteristike. Na primer, pri usitnjavanju stabala, biogorivo će biti sa niskim sadržajem pepela, a ako se usitnjava celo drvo sa korom i iglicama u sećki će se povećati sadržaj pepela.

Prilikom organizacije prikupljanja biomase mora se imati u vidu da ona nastaje na razlićitim lokacijama, u razlićitom obliku i sa razlićitim dimenzijama i fizićkim osobinama (vlažnost i dr.) zbog čega se u prikupljanju moraju uvaćavati pojedine specifićnosti (Wolfsmayr i Rauch, 2013).

Kao najveći problem u prikupljanju otpadne biomase može se navesti njeno prikupljanje nakon seće šuma. Problemi se manifestuju usled nepristupaćnosti lokacijama gde se seća realizuje (nedostatak adekvatne putne infrastrukture, znaćajni nagibi, slaba prohodnost, raskvašenost terena (zavisi od godišnjeg doba) i dr.), razbacanost ostataka seće, nepravilnog oblika i velikog volumena drveta za usitnjavanje. Naćin i dinamika prikupljanja i usitnjavanja drvene biomase iz šumarstva zavisi od mnogo ćinilaca, kao što su: naćin gazdovanja šumama, karakteristike terena, opremljenost i obućenost radnika, trţišni

zahtevi i dr. Težnja je da se prikupljanje biomase u što većoj meri mehanizuje. U praksi se primenjuje nekoliko načina pripreme sečke: seča drveta i usitnjavanje na licu mesta, izvlačenje drveta do lokacije u blizini transportnih puteva, gde se odmah usitnjava ili se od prikupljenog drveta prave bale koje se transportuju do stacioniranih sitnilica (koje se najčešće nalaze na lokacijama gde se sečka koristi). Takođe postoji mogućnost da se na navedenim lokacijama drveni materijal skladišti da bi se prirodno sušio i da bi sa njega otpalo lišće i kao takav po potrebi usitnjavao na toj lokaciji ili u balama odnosno do stacioniranih sitnilica većeg kapaciteta i sa jeftinijim pogonom na električnu energiju.

Ukupan lanac snabdevanja usitnjenom drvnom biomasom (sečkom) termoenergetskog postrojenja može da se prikaže u nekoliko različitih tehnoloških procesa i to: seča drveta, transport, sušenje, sitnjenje i sagorevanje u termoenergetskim postrojenjima.

Seča: U odnosu na očekivani sortiment drveća bira se i način seče, kao i izbor mehanizacije.

Transport: Transportovanje biomase podrazumeva transport drvene biomase do drumskih vozila i drumski transport. Ova tehnološka operacija ima veliki udeo na ukupnu cenu drvene biomase, kao biogoriva, zbog čega se posebno mora voditi računa na njihovu optimizaciju. Najveći efekti se postižu povećanjem gustine transportovane biomase i pravilnim izborom transportnog sredstva. Za transport usitnjene biomase bi trebalo koristiti zatvorena transportna sredstva zapremene veće od 90 m³, što zbog prohodnosti i čvrstine podloge u Srbiji često nije izvodljivo, pa se transport vrši kamionskim agregatima sa dve prikolice sa ukupnom zapreminom tovarnog prostora od oko 60 m³.

Prilikom organizovanja transporta mora se imati u vidu da duži transport biomase u formi šumskog drvnog ostatka nije finansijski isplativ zbog male nasipne gustine. Transport baliranih šumskih ostataka može da bude i do 50% jeftiniji nego transport osnovnog materijala u rinfuznom stanju i oko 10% jeftiniji nego što je transport sečke od drveta.

Sušenje: Najbolje je cikluse seče i korišćenja biomase kao goriva organizovati tako da drvo stigne prirodno da se osuši. To neće biti potrebno ako se koristi osušeno drvo ili drvo iz drvno-prerađivačke industrije.

Kod uskladištenog drveta veće vlažnosti usled aktivnosti bakterija dolazi do gubitka mase drveta od 7-8%, zbog čega je opravdano drvo veštački sušiti do vlažnosti od oko 20%, jer se tada dobro sagoreva u konvencionalnim termoenergetskim postrojenjima. Veštačko sušenje usitnjene drvene biomase se najčešće vrši u podnim skladištima sa prođuvanjem okolnim ili zagrejanim vazduhom (sl. 2, levo) ili u dobošastim sušarama (češće za pelet) (sl. 2, desno), kod kojih se najčešće kao energent, takođe, koristi biomasa.

Sl. 2. Oprema za sušenje usitnjene drvene biomase, podnom ventilacijom (levo), rotacionom sušarom (desno)

Fig 2. Equipment for drying of chipped biomass by means of floor ventilation (left) or rotating drier (right)

Sečka vlažnosti do 29,9% smatra se dobro suvom, od 30 – 34,9% suvom, od 35 – 39,9% je vlažna, a preko 40% vlažnosti sečka je jako vlažna (kao kod sveže posečenog drveta). Dobro je u skladištu za pripremu materijala za hranjenje termoenergetskog postrojenja imati nekoliko odvojenih prostorija za smeštaj biomase različitih vlažnosti i strukture da bi se na dozirnem transporteru neposredno pre hranjenja termoenergetskog postrojenja moglo izvršiti mešanje materijala i na taj način izbeći ili skratiti proces sušenja dela biomase.

Smanjivanjem vlažnosti u drvetu za sagorevanje povećava se i njegova toplotna moć u zavisnosti koja je za prirodno dosušivanje drveta prikazana na sl. 3.

Sl. 3. Zavisnost toplotne moći od smanjenja vlažnosti drvene biomase
Fig 3. Dependancy between calorific value and biomass moisture content

Sitnjenje: Usitnjavanje drvene biomase se najčešće izvodi pomoću sitnilice sa diskom, dobošem ili spiralnim pužnim nožem, koja se retko koristi. Sečke sa diskom (sl.

45, levo) se sastoje od rotirajućeg diska i noževa pomoću kojih se može dobiti sečka različitih veličina zavisno od postavljanja noževa i kontranoževa. Iz sečke sa diskom dobija se sečka jednake veličine bez obzira na debljinu drveta. Sečke sa dobošem (sl. 45, desno) se sastoje od rotirajućeg doboša (prečnika 500 do 1.000 mm) sa noževima postavljenim u žljebove na zakrivljenoj površini. Sečka dobijena ovim načinom sitnjenja ima nejednake komade. Mašine za sitnjenje drvene biomase mogu biti pogonjene integrisanim elektro pogonom, dizel agregatom ili traktorom iz kog razloga mogu biti stacionirane mašine sa temeljima, postavljene samostalnu ili u okviru proizvodnog sistema, a često se izrađuju i kao mobilne, tj. nošene mašine (kada su manjih kapaciteta). Doziranje materijala u mašine manjih kapaciteta je najčešće ručno, dok se kod velikih mašina doziranje vrši kranom ili uređajem za doziranje.

Tehnološki proces sitnjenja ima veliki uticaj na krajnju cenu biomase kao biogoriva. Od presudnog je značaja kupiti opremu optimalnih kapaciteta, pošto je opreme skupa i svako predimenzionisanje će opteretiti cenu biogoriva velikom amortizacijom. U radu sitnilica, nije isplativo biomasu sitniti do nepotrebno malih dimenzija, jer se povećava trošak energije, smanjuje učinak mašina i zahteva nabavku još mašina za sitnjenje.

Specifični trošak energije za sitnjenje može se u zavisnosti od vrste i karakteristika drvene biomase i korišćene mehanizacije kretati u širokim granicama, od 5 kWh/t do 100 kWh/t. Izgled i osnovne karakteristike mašina za sitnjenje je prikazano u tab. 2.

Tab. 2. Izgled i osnovne karakteristike mašina za sitnjenje drvenaste biomase

Tab. 2. Layout and basic characteristics of chippers of woody biomass

Sitnilica bez sopstvenog pogona - noseća traktorska Chipser without its own drive - tractor carrier	Sitnilica sa sopstvenim pogonom – vučena Chipser with its own drive - towed	Sitnilica sa sopstvenim pogonom velikog kapaciteta Self-power chipser - with high capacity
Deklarisani kapacitet - Declared capacity		
Sitnije sitnijih komada biomase 60 m ³ /h Small pieces of biomass 60 m ³ /h	Baštenski otpad: 80 m ³ /h Garden waste: 80 m ³ /h Kora: 140 m ³ /h Bark: 140 m ³ /h Trupci drveta: 50 m ³ /h Logs of wood: 50 m ³ /h	Baštenski otpad: 230 m ³ /h Garden waste: 230 m ³ /h Kora: 300 m ³ /h Bark: 300 m ³ /h Trupci drveta: 150 m ³ /h Logs of wood: 150 m ³ /h
Max. snaga motora za pogon sitnilice - Max. engine power for chippers drive		
180 kW	360 kW	480 kW

Skladištenje: Iako je drvena biomasa manje podložna biološkom propadanju od ostalih vrsta i ona je napadnuta truležnim gljivicama koje po pravilu prvo konzumiraju celulozu i hemicelulozu, a na kraju i sam lignin (opada toplotna moć). Sadržaj vlage, veličine čestica i temperatura okoline su tri glavna faktora koji određuju stopu razvoja tih mikroorganizama.

Tokom skladištenja, sveža lignocelulozna biomasa postaje toplija zbog procesa respiracije parenhimskih stanica koje su još uvijek žive. Ti procesi prestaju kad temperatura biomase pređe granicu od 40°C. Daljnji rast temperature drvene biomase može se pripisati metabolizmu gljiva i bakterija. Dok gljive mogu preživjeti do temperature od oko 60°C, aktivnost termofilnih bakterija tek počinje na 75 do 80°C. Pod posebnim uslovima, zagrevanje biomase može dostići i temperaturu od oko 100°C.

Iako sa operativnog aspekta (transport i dr.) ostatke šumske biomase treba što ranije usitniti, sa aspekta skladištenja biomasu ne treba usitnjavati do pred samu energetske valorizaciju. To je zbog činjenice da su stabla i grane skoro u celosti zaštićeni korom od napada mikroorganizama, dok su po usitnjavanju veoma podložni biološkom delovanju.

Usitnjenu biomasu ne treba čuvati na duži vremenski period, pogotovo ako je povećane vlažnosti. U suštini drvenu biomasu vlažnosti 40-60% se ne bi ni trebali usitnjavati (ne mogu da se koriste u termoenergetskim postrojenjima) već bi trebalo sačekati da se drvo prosuši, pa tek onda ga usitniti. Izuzetak čini drvna biomasa koja će se veštački dosušivati.

U vezi izbora objekta za skladištenje drvene biomase treba se pridržavati principa da se suvi ili prosušeni drveni ostatak sa vlagom do 25%, skladišti u zatvorenim prostorijama, a ako je vlažnost sečke iznad 25% skladišti se u poluzatvorenim nadstešnicama. I sečka vlažnosti do 35% se može čuvati u zatvorenom skladištu, koje ima mogućnost podnog provetravanja (po mogućstvu zagrejanim okolnim vazduhom).

Visina biomase u skladištu je takođe važna i sa njenim porastom rastu i gubici mase sečke. Prema raznim preporukama u našim uslovima maksimalna visina skladištene sečke od mešanih ostataka (najopasniji po pitanju samozapaljenja) ne bi trebala da bude viša od 4 m, sa najdužim periodom čuvanja od 3 meseca.

Ukoliko se biomasa čuva na otvorenom najprimerenije bi bilo zaštititi je pokrivačem (makar samo odozgo), pošto se na taj način u velikoj meri olakšavaju sve naknadne operacije, pa i samo sagorevanje biomase.

Po pravilu, različiti sortiment biomase treba čuvati odvojeno. Suvu i mokru koru treba čuvati odvojeno. To isto važi i za suva (<35% vlage) i mokra (>35% vlage) stabla ili drugih ostataka od drveta. Sa neodgovarajućim planiranjem skladištenja biomase, npr. mešanje frakcija međusobno, gubici usled samozapaljivosti biomase mogu biti veći od 5% mesečno, dok pravilno planiranje i upravljanje skladištenjem drvene biomase navedeni gubici mogu biti niži od 2%, čak oko 1%/mesečno.

Troškovi pripremanja biomase za sagorevanje

Najzahtevniji procesi u pogledu tehnologije proizvodnje i logistike snabdevanja drvnom biomasom se odnose na obezbeđenje sečke od drveta šumskih ostataka, pa se osnovna cena sečke može formirati u odnosu na tu formu.

Za obračun i naplatu isporučenih količina drvene sečke termoenergetskim postrojenjima koriste se različiti metodi i to prema: isporučenoj zapremini sečke, isporučenoj masi sečke - uz obračun njene vlažnosti i dobijenoj količini toplotne energije (Glavonjić i sar, 2009).

Tržišna vrednost za veće količine drveta za isporuku na duži vremenski period iznosi za upotrebljivi ostatak drveta od seče šume 20 evra/t, a ogrevnog drveta druge klase 30 - 35 evra/t (na kamionskom šumskom putu) (Srbija šume, 2014). Na osnovu tih

podataka usvojena je cena ostataka šumske drvene biomase i ogrevnog drveta II klase od 3,3 din/kg.

Pored navedenog, da bi se odredila ukupna cena ostataka šumske drvene biomase pre izvođenja kalkulacija pojedinih troškova morale su se usvojiti adekvatne vrednosti mnogih varijabilnih i fiksnih troškova, kao što su: cena mašina koje učestvuju u procesu pripreme biomase, potencijalni godišnji učinak mašina, (ha ili m³), ekonomski vek korišćenja mašina (amortizacija), pogonski troškovi, troškovi održavanja, opremljenost i način organizovanja rada transportnih sistema, cena plata radnicima, troškovi osiguranja, kamata, i dr.

Rezultati realizovanih kalkulacija za pojedine kategorije troškova u pripremanju ostataka od seče šumske drvene biomase i ogrevnog drveta druge klase za sagorevanje u formi sečke su prikazani u tab. 3. U navedenoj kalkulaciji je predviđeno da se biomasa prirodno "dosušuje" do njene vlažnosti od ispod 25%, pošto se kao takva bez većih problema može koristiti u termoeenergetskim postrojenjima. Na taj način su se značajno redukovali troškovi u pripremanju drvene biomase kao energenta, jer realizacijom procesa veštačkog sušenja cena biogoriva može da se poveća i za jednu trećinu.

Tab. 3. Cena sečke od šumske drvene biomase (ogrevnog drveta II klase)

Tab. 3. Price of woodchips from forest biomass (firewood II class)

Vrsta troška – Type of cost	Cena troška- Cost price
	(din/kg)
Drveni materijal - Wood material	3,30
Transport do međuskladišta i privremeno skladištenje - Transport to the temporary store place and temporary storage	1,15
Usitnjavanje drvnog materijala - Chipping of wood material	2,43
Dosušivanje materijala produvavanjem - Additional drying of material by means of ventilation	1,88
Skladištenje - Storage	1,64
Transport do ložišta - Transport to the furnace	0,75
Ukupna cena sečke - Total chips price:	10,81

Na osnovu podataka iz tabele 3 može se konstatovati da ukupna cena sečke sa svim logističkim troškovima iznosi 10,81 din/kg, što u odnosu od 123 din/evro iznosi 87,89 evra/t. Sa obzirom da se radi o drvnom materijalu niske vlažnosti, zadovoljavajuće toplotne moći i forme pogodne za automatski rad termoeenergetskih postrojenja navedena cena sečke je sa tržišnog aspekta konkurentna i isplativa za korišćenje u svrhu dobijanja energije.

4. ZAKLJUČCI

U svetu je opšti trend korišćenja drvene biomase u svrhu dobijanja energije. U težnji da se drvna biomasa pripremi u formi pogodnoj za automatski rad termoeenergetskih postrojenja razvijena je tehnologija pripremanja drvene biomase u formi sečke.

Ukupna cena sečke od šumskog drveta sa svim logističkim troškovima iznosi 10,81 din/kg, što sa usvojenom vrednošću evra od 123 din/evru iznosi 87,89 evra/t. Sa obzirom da se radi o drvnom materijalu niske vlažnosti, zadovoljavajuće toplotne moći i forme pogodne za mehanizovan, tj. automatski rad termoeenergetskog postrojenja navedena

cena sečke je sa tržišnog aspekta konkurentna i isplativa za korišćenje u svrhu dobijanja energije.

5. LITERATURA

- [1] Alakangas E. 2008. Properties of solid biofuels and comparison to fossil fuels, VTT, Helsinki, p. 46
- [2] Brkić M., Tešić M., Furman T., Martinov M., Janić T. 2007. Potencijali i mogućnosti briketiranja i peletiranja otpadne biomase na teritoriji pokrajine Vojvodine, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, s 227
- [3] Brkić M., Janić T. 2011. Potencijalne količine biomase za proizvodnju energije u Srbiji, *Savremena poljoprivredna tehnika*, 37(4): 225-234
- [4] Danon G. 2011. Energetika u drvnoj industriji, Šumarski fakultet, Beograd, s. 35
- [5] Glavolljić B., Petrović Slavica, Savić R., Radović Stana, Jović D., Sretenović P., Pajović Ljiljana. 2009. Potencijali i mogućnosti komercijalnog korišćenja drvne biomase za proizvodnju energije i ekonomski razvoj opština Nova Varoš, Priboj i Prijepolje, Šumarski fakultet, Beograd, s. 60
- [6] Janić T, Brkić M, Igić S, Dedović N. 2010. Biomasa – energetski resurs za budućnost, *Savremena poljoprivredna tehnika* 36(2): 167-177,
- [7] Klass D. 2004. Biomass for Renewable Energy and Fuels, *Encyclopedia of Energy*, 1(1): 193-212
- [8] Nyboer, J., Bennett M. 2013. Canadian Wood Products Industry 1990 to 2011, Simon Fraser University, Burnaby, p. 77
- [9] Srbija šume, cenovnik ogrevnog drveta za 2014. godinu, 2014
- [10] Wolfsmayr U., Rauch P. 2013. The primary forest fuel supply chain, *Biomass and bioenergy* 66(4): 203-221,

WOOD CHIPS AS BIOFUEL

Janić T, Tica N, Zekić V

University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Trg Dositeja Obradovića 8, Novi Sad, Serbia

e-mail: jtodor@polj.uns.ac.rs

SUMMARY

General trend in the world is using woody biomass for the purpose of generating energy. In an effort to prepare biomass in a form suitable for automatic operation of thermal power plant technology was developed preparing biomass in the form of wood chips.

The aim of this paper is to analyze the physical and chemical characteristics of the wood chip production technology of its production, transport, storage and use (supply chain), as well as to show the calculation of its market value.

In the existing technology in the preparation of wood chips are adequate solutions for all stakeholders in the so-called fuel chain (harvesting, preparation, transportation, drying, storage and dosing).

The total price of wood chips with all the logistics cost is 10.81 RSD/kg, which adopted the euro value of 123 RSD/EUR exchange rate amounts to 87.89 EUR/t. With regard to the case of wood materials of low humidity, calorific value and satisfactory form suitable for automatic operation of thermal power plants listed price of woodchips is the competitive aspect of the market and cost-effective to use for the purpose of generating energy.

Keywords: wood biomass, chips, energy, price.

NAPOMENA: Rad predstavlja deo istraživanja na projektu III 46006 „Održiva poljoprivreda i ruralni razvoj u funkciji ostvarivanja strateških ciljeva Republike Srbije u okviru dunavskog regiona, koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Srbije

Primljeno: 08. 11. 2014. god.

Prihvaćeno: 26. 11. 2014. god.