

KURILNOST RAZKROJENEGA LESA

Caloric value of decayed wood

*Povzetek: Les je eden izmed najpomembnejših energentov. V industrijskih energetskih napravah uporabljamo les v obliki sekancev, briketov ali peletov. Sekanci so pogosto skladiščeni na prostem, kjer relativno hitro pride tudi do glivnega razkroja. Pri tem se postavlja vprašanje, kakšna je kurilnost razkrojenega lesa v odvisnosti od časa izpostavljenosti. Eksperimentalni podatki kažejo, da gliva rjave trohnobe *Gloeophyllum trabeum* ni vplivala na kurilnost smrekovine, gliva bele trohnobe *Trametes versicolor* pa je v 10-ih tednih zmanjšala kurilnost bukovine za približno 2,5 %.*

Ključne besede: les, kurilnost, glive razkrojevalke

*Abstract: Wood is one of the most important sources of energy. The industrial energy plants mostly use wood in the form of chips or pellets. Chips are often stored outdoors. They are exposed to the fungal decay in such conditions. However, there are no data on the caloric value of decayed wood. Experimental data showed that the brown rot fungus *Gloeophyllum trabeum* did not affect the calorific value of spruce wood. On the other hand, white rot fungus *Trametes versicolor*, decreased the calorific value of decayed beechwood by approximately 2,5%.*

Keywords: wood, calorific value, wood decay fungi

UVOD

Les je ena najpomembnejših surovin v Sloveniji, saj letno posekamo skoraj 4 milijone m³ lesa. Večino lesa predelamo, veliko pa se ga porabi v energetske namene. Piškur in Krajnc (2009) poročata, da je približno 31 % letnega poseka namenjenega za energetske namene. Poleg tega se v energetske namene porabi veliko lesnih ostankov in odsluženega lesa. V veliki večini industrijskih energetskih obratov uporabljajo les v obliki sekancev, briketov ali peletov (slika 1).

Lesni sekanci na prostem so podvrženi hitremu glivnemu razkroju (Piškur, 2009). Intenziven razkroj se kaže v veliki izgubi mase. Predlagana ocena, poimenovana »pravo palca«, pravi, da je mesečna izguba suhe mase lesa v kupih sekancev, shranjenih na prostem, 1 % (Krajnc in sod., 2009). Z izgubo mase izgublamo tudi kurilnost lesa (Krajnc in Kopše, 2005). Poleg tega pa se na tem mestu tudi postavlja vprašanje, kakšna je kurilnost razkrojenega lesa?

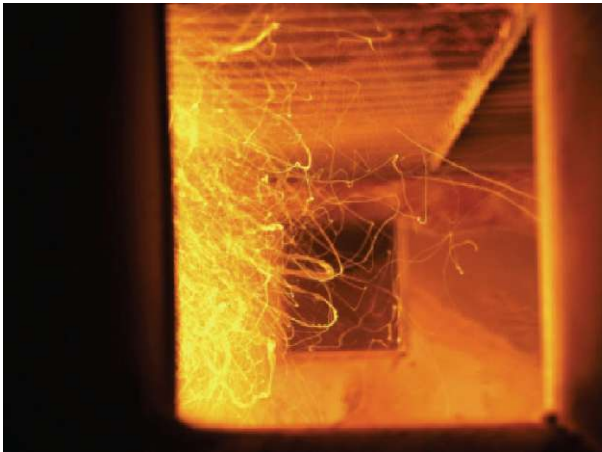


Slika 1. Kup lesnih sekancev na skladišču industrijskega energetskega obrata

Kurilnost posameznih gradnikov lesa ni enaka. Lignin ima na primer višjo kurilnost od celuloze, zato je kurilnost iglavcev, ki imajo večji delež lignina, pri enaki masni enoti, višja kot pri listavcih (Fengel in Wegener, 1989). Kurilnost lesa je količina toplote, ki nastane pri popolnem zgorevanju enote goriva, pri čemer se produkti zgorevanja ne ohladijo pod temperaturo rosišča vodne pare (slika 2). Na

* Termoelektrarna Toplarna Ljubljana, Laboratorij za goriva, Toplarniška 19, Ljubljana, e-pošta: ziva.krelj@te-tol.si

[†] doc. dr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana, e-pošta: miha.humar@bf.uni-lj.si



Slika 2. Zgorevanje lesnih sekancev

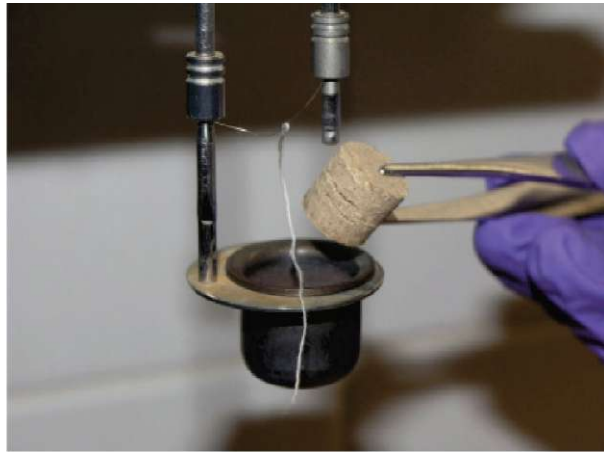
kurilnost lesa vplivajo vsebnost vode, vrsta lesa, gostota ter kemijska in anatomska zgradba. Zgorevalna toplota je določena pri konstantnem volumnu. Ko vzorec lesa v kalorimetrijski bombi zgore, se sprosti energija. Zaradi konstantnega volumna kalorimetrijske bombe voda, ki jo vsebuje les, kondenzira, pri tem pa se sprošča dodatna toplota. Zaradi tega je ta vrednost višja. Kurilnost je določena pri konstantnem tlaku, kakršno je stanje v kotlovskih sistemih. Uparjena vlaga se ne kondenzira, pač pa zapusti kurišče skozi dimnik. V analitiki se kurilna vrednost preračuna s pomočjo standardnih enačb iz zgornje kurilne vrednosti, določene na analitskem vzorcu.

V tem prispevku smo želeli osvetliti vpliv glivnega razkroja na kurilnost smrekovine in bukovine. Smrekovina in bukovina sta najpomembnejši lesni vrsti v Sloveniji in se zato tudi najpogosteje uporabljata v kotlovskih sistemih.

MATERIALI IN METODE

Iz beljave smrekovega (*Picea abies*) in bukovega (*Fagussilvatica*) lesa smo izdelali vzorce dimenzij 0,5 cm x 1,0 cm x 2,5 cm. Smrekove vzorce smo izpostavili navadni tramovki (*Gloeophyllum trabeum*) (ZIM L018), bukove pa pisani ploskocevki (*Trametes versicolor*) (ZIM L057) (Raspor s sod., 1995) za 2, 4, 8 ali 10 tednov v skladu z mini blok metodo (Pohleven, 2000). Po izpostavitvi smo vzorcem gravimetrično določili izgubo mase in jih zmleli s finim mlinom Fritsch Pulverisette 9.

Kurilno vrednost smo določali z adiabatnim kalorimetrom (IKA C-4000) po standardni metodi SIST-TS CEN/TS 14918 (2005) (slika 3). Zatehtan vzorec smo zaprli v kalorimetrijsko bombo, kjer je bil povezan z vžigno vrvico. Popolno zgorevanje smo dosegli s prebitkom kisika. Bombo smo namestili v posodo z vodo, v kateri je bil potopljen termometer. Ko se je vzorec vžgal, se je toplota gorenja iz bombe prenesla v vodo, kar je povzročilo porast tempe-



Slika 3. Določanje kurilne vrednosti lesnih sekancev

rature kalorimetrijskega sistema. Toplota med bombo in okolico vode se je v notranji posodi izenačila. Izmerjena temperaturna razlika pred in po zažigu nam je služila za izračun toplotne vrednosti vzorca H_o .

Za izračun spodnje kurilne vrednosti na suho stanje smo potrebovali še vrednosti za vsebnost ogljika, vodika, dušika, žvepla, analitske vlage in pepela. Na elementnem analizatorju (LECO CHN-1000) smo v laboratorijskih vzorcih lesa določali vsebnost ogljika, vodika in dušika v skladu s standardno metodo SIST-TS CEN/TS 15104 (2005), vsebnost žvepla pa v skladu s standardno metodo ASTM D 4239 (2008), delež kisika je bil določen računsko. Vsebnost pepela in analitske vlage smo določali na termogravimetričnem analizatorju (LECO TGA-702) v skladu s standardnima metodama SIST-TS CEN/TS 14774-3 (2004) in SIST-TS CEN/TS 14775 (2004). V rezultatih smo podali le spodnjo kurilno vrednost, ki označuje tisto sproščeno količino toplote, ki jo dobimo z zgorevanjem suhega goriva pri konstantnem tlaku.

REZULTATI IN RAZPRAVA

Smrekovi vzorci, izpostavljeni delovanju glive tramovke, so v povprečju v 10 tednih izgubili 13,2 % mase. Izguba mase je enakomerno naraščala ves čas izpostavitve, kar je razvidno iz preglednice 1. Izguba mase smrekovine, v primerjavi z literaturnimi podatki (npr. Humar in Lesar, 2009), ni pretirano visoka, vendar nakazuje na aktivnost glive *G. trabeum*. Izgube mase bukovih vzorcev, izpostavljenih pisani ploskocevki, so bile višje. V 10 tednih je gliva *T. versicolor* razkrojila 28,6 % mase bukovih vzorcev.

V preglednicah 1 in 2 je prikazana le spodnja kurilna vrednost lesa v suhem stanju. Po predvidevanjih je bila kurilna vrednost nerazkrojenega lesa višja pri smrekovini (18707 kJ/kg), kot pri bukovini (18272 kJ/kg). Razlog za to se skriva v dejstvu, da ima les iglavcev večji delež lignina

Preglednica 1: Spodnja kurilna vrednost, analitska vlaga, delež pepela in elementna sestava smrekovine v odvisnosti od časa izpostavitve glivi *Gloeophyllum trabeum*

Čas izpostavitve (tedni)	% izgube mase	kurilnost (kJ/kg) (suho stanje)	vlažnost (%)	delež pepela (%) (suho stanje)	elementna sestava (suho stanje)				
					C (%)	H (%)	N (%)	O (%)	S (%)
0	0	18707	7,74	0,27	50,70	6,35	0,20	42,44	0,05
2	0,8	18612	6,58	0,35	50,78	6,33	0,22	42,27	0,05
4	3,4	18745	6,53	0,40	51,20	6,30	0,23	41,82	0,05
8	6,8	18622	6,69	0,36	50,92	6,31	0,24	42,12	0,05
10	13,2	18737	6,76	0,27	51,20	6,30	0,24	41,94	0,05

Preglednica 2: Spodnja kurilna vrednost, analitska vlaga, delež pepela in elementna sestava bukovine v odvisnosti od časa izpostavitve glivi *Trametes versicolor*

Čas izpostavitve (tedni)	% izgube mase	kurilnost (kJ/kg) (suho stanje)	vlažnost (%)	delež pepela (%) (suho stanje)	elementna sestava (suho stanje)				
					C (%)	H (%)	N (%)	O (%)	S (%)
0	0	18272	6,42	0,53	50,32	6,12	0,17	42,82	0,05
2	5,3	18202	5,84	0,62	50,24	6,09	0,22	40,29	0,05
4	13,2	18125	6,19	0,60	49,87	6,03	0,23	43,22	0,05
8	24,6	17997	6,18	0,45	49,92	6,07	0,25	43,26	0,05
10	28,6	17837	6,41	0,47	49,57	6,06	0,27	43,59	0,05

v primerjavi z lesom listavcev. Ker je kurilna vrednost lignina višja od celuloze, je posledično tudi kurilna vrednost smrekovine večja od kurilne vrednosti bukovine (Fengel in Wegener, 1989).

Elementna sestava razkrojenega lesa se je le malo spremenila. Za 0,04 odstotne točke se je verjetno na račun hif povečal delež dušika, za približno toliko se je zmanjšal delež vodika, medtem ko je delež žvepla ostal konstanten (0,05 %). Poleg tega smo opazili tudi nekoliko večji delež ogljika v razkrojenem lesu. Upoštevati je potrebno, da so razlike majhne in verjetno statistično neznailne. Podobno kot pri elementni analizi, tudi pri kurilni vrednosti smrekovih vzorcev, izpostavljenih tramovki, nismo opazili nekega bistvenega vpliva delovanja gliv na spodnjo kurilno vrednost. Spodnja kurilna vrednost pri nerazkrojeni smrekovini je bila 18707 kJ/kg, po 10 tednih izpostavitve pa smo določili povsem primerljivo vrednost (18737 kJ/kg) (preglednica 1). Pri posameznih meritvah smo opazili manjša nihanja v kurilni vrednosti, ki jih pripisujemo predvsem variabilnosti smrekovega lesa. Kakorkoli, upoštevati je potrebno, da je bila izguba mase smrekovine tudi po 10 tednih izpostavitve relativno nizka (največ 13,2 %). Kljub temu da je kurilna vrednost razkrojenega lesa primerljiva s kurilno vrednostjo običajne smrekovine, je potrebno

vzeti v zakup dejstvo, da smo v eksperimentalnih pogojih kljub vsemu zaradi razkroja izgubili več kot desetino lesne mase in s tem povezane kurilnosti. Kakorkoli, dinamika izgube mase v praksi se lahko močno razlikuje od dinamike izgub mase v laboratorijskih pogojih. Razkrojen les pa ima kurilno vrednost primerljivo s kurilno vrednostjo nerazkrojenega lesa.

Večje razlike v kurilnosti in elementni sestavi zaradi delovanja gliv smo opazili pri bukovem lesu, izpostavljenem pisani ploskocevki. Pri tem je potrebno upoštevati, da je bila izguba mase bukovih vzorcev zaradi delovanja gliv bistveno večja kot izguba mase smrekovih vzorcev (preglednici 1 in 2). V razkrojenem lesu se je zmanjšal delež ogljika in vodika, medtem ko je narasel delež dušika. V nerazkrojeni bukovini smo določili 0,17 % dušika, po desetih tednih pa je ta vrednost narasla na 0,27 %. Glavni razlog za to razliko je visoka koncentracija dušika v hifah gliv, ki so kolonizirale les. Zanimivo je, da kljub znatni izgubi mase ni narasel delež pepela. To nakazuje, da so glive translokirale del anorganskih sestavin lesa. Za razliko od razkrojenega smrekovega lesa smo pri bukovem lesu opazili zmanjšanje spodnje kurilne vrednosti razkrojenega lesa zaradi delovanja glive pisane ploskocevka. Spodnja kurilna vrednost se je zmanjšala iz začetne vrednosti 18272 kJ/kg na

končnih 17837 kJ/kg (preglednica 2). Glavni razlog za to razliko se po vsej verjetnosti skriva v dejstvu, da je pisana ploskocevka kot tipična predstavnic gliv bele trohnobe razkrojila predvsem lignin, ki ima višjo kurilno vrednost kot celuloza, kar se kaže v nižji kurilni vrednosti razkrojenega lesa.

SKLEPI

Glive razkrojvalke lahko v relativno kratkem času zmanjšajo maso lesa. Predvsem pri bukovini, ki jo je razkrojila gliva pisana ploskocevka, smo zaznali 2,5 % padec spodnje kurilne vrednosti razkrojenega lesa v primerjavi z nerazkrojenim lesom. Po drugi strani pa pri smrekovem lesu, izpostavljenem delovanju tramovke, nismo opazili sprememb v kurilni vrednosti razkrojenega lesa.

ZAHVALA

Javni agenciji za raziskovalno dejavnost RS se zahvaljujemo za sofinanciranje raziskav v okviru projektov P4-0015 in V4-0491.

LITERATURA

1. **ASTM D 4239-08** Standard Test Methods for Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke Using High Temperature Tube Furnace Combustion Methods
2. **Eaton R.A., Hale M.D.C. (1993)** Wood - decay, pests and protection. London, Chapman and Hall, 250
3. **Fengel D., Wegener G. (1989)** Wood, Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Walter de Gruyter, Berlin - New York, 613
4. **Garstang J., Weekes A., Poulter R., Bartlett D. (2002)** Identification and characterization of factors affecting losses in the large-scale, non-ventilated bulk storage of wood chips and development of best storage practices. Dept. of Trade and Industry, First Renewables Ltd., UK
5. **Humar M., Lesar B. (2009)** Fungicidne lastnosti posameznih sestavin komercialnih baker-etanolaminskih pripravkov za zaščito lesa. V: Humar M. (ur.), Kraigher H (ur.). Trajnostna raba lesa v kontekstu sonaravnega gospodarjenja z gozdovi, (Studia forestalia Slovenica, 135). Ljubljana, Silva Slovenica: 107-114
6. **Krajnc N., Kopše I. (2005)** Les - domač, obnovljiv in okolju prijazen vir energije, Zavod za gozdove Slovenije, Gozdarski inštitut Slovenije
7. **Krajnc N., Piškur M., Klun J., Premrl T., Piškur B., Robek R., Mihelič M., Sinjur I. (2009)** Lesna goriva : drva in lesni sekanci : proizvodnja, standardi kakovosti in trgovanje. Ljubljana: Gozdarski inštitut Slovenije, Založba Silva Slovenica, 81 str.
8. **Piškur B. (2009)** Sukcesivni procesi razgradnje lesnega substrata inokuliranega z glivo *Pleurotus ostreatus* na degradiranih območjih. oktorska disertacija, Ljubljana, 132
9. **Piškur M., in Krajnc N. (2009)** Struktura rabe okroglega lesa v Sloveniji V: V: Humar M. (ur.), Kraigher H (ur.). Trajnostna raba lesa v kontekstu sonaravnega gospodarjenja z gozdovi, (Studia forestalia Slovenica, 135). Ljubljana, Silva Slovenica: 99-106
10. **Pohleven F., Petrič M., Zupin J. (2000)** Effect of mini-block test conditions on activity of *Coniophora puteana*. The International Research Group on Wood Preservation. Document IRG/WP 00-20184, 9.
11. **Raspor P., Smole-Možina S., Podjavoršek J., Pohleven F., Gogala N., Nekrep F.V., Hacin J. (1995)** ZIM: zbirka industrijskih mi-

kroorganizmov. Katalog biokultur. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Katedra za biotehnologijo: 98 str.

12. **SIST-TS CEN/TS 14774-3: 2004** Trdna biogoriva - Metoda določevanja vlage - Metoda sušenja v peči - 3. del: Vlaga v osnovnem vzorcu, Solid biofuels - Methods for the determination of moisture content - Oven dry method - Part 3: Moisture in general analysis sample.
13. **SIST-TS CEN/TS 14775: 2005** Trdna biogoriva - Metoda določevanja pepela, Solid biofuels - Method for the determination of ash content
14. **SIST-TS CEN/TS 14918: 2005** Trdna biogoriva - Metoda za določanje kalorične vrednosti, Solid biofuels - Method for determination of calorific value
15. **SIST-TS CEN/TS 14961: 2005** Trdna biogoriva - Specifikacije goriv in razredi, Solid biofuels - Fuel specifications and classes
16. **SIST-TS CEN/TS 15104: 2005** Trdna biogoriva - Določevanje celotnega ogljika, vodika in dušika - Instrumentalne metode, Solid biofuels - Determination of total content of carbon, hydrogen and nitrogen - Instrumental methods

O AVTORICI PRISPEVKA

ŽIVA KRELJ

Živa Krelj (rojena leta 1980) se je po končani osnovni šoli vpisala na Gimnazijo Škofja Loka in jo leta 1999 zaključila z maturo. Nato se je vpisala na Oddelek za biologijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, kjer je leta 2006 z zagovorom diplome na Katedri za ekologijo in varstvo okolja pod mentorstvom prof. dr. Mihaela J. Tomana uspešno zaključila univerzitetni študij biologije. Leta 2005 se je zaposlila v Termoelektrarni toplarni Ljubljana (TE-TOL) v Laboratoriju za goriva sprva kot analitik, nato pa kot tehnolog za goriva. Trenutno opravlja podiplomski študij na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, kjer pod mentorstvom dr. Primoža Ovna raziskuje kurilno vrednost trdnih biogoriv.