

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN OBNOVLJIVE GOZDNE
VIRE

Janez ROSC

**VPLIV NAČINA SHRANJEVANJA GOZDNIH
LESNIH SEKANCEV NA NJIHOVO VLAŽNOST**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2012

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN OBNOVLJIVE GOZDNE VIRE

Janez ROSC

**VPLIV NAČINA SHRANJEVANJA GOZDNIH LESNIH SEKANCEV
NA NJIHOVO VLAŽNOST**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**INFLUENCE OF STORING FOREST WOOD CHIPS ON THEIR
HUMIDITY**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2012

Rosc J. Vpliv načina shranjevanja gozdnih lesnih sekancev na njihovo vlažnost.

Dipl. delo. Ljubljana, Univerza v Lj., Biotehniška fak., Odd. za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 2012

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega študija gozdarstva. Opravljeno je bilo na Univerzi v Ljubljani, Oddelku za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete. Meritve so bile opravljene v Lučah.

Komisija za študijska in študentska vprašanja Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire je za mentorja imenovala prof. dr. Boštjana Koširja ter somentorico dr. Nike Krajnc. Za recenzenta je bil imenovan dr. Jurij Marenče.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Diplomsko delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Janez Rosc

KLJUČNA INFORMACIJSKA DOKUMENTACIJA

ŠD	Dn
DK	GDK 839.3(043.2)=163.6
KG	lesna biomasa/lesni sekanci/sušenje sekancev/sušenje okroglega lesa/vremenske razmere
KK	
AV	ROSC, Janez
SA	KOŠIR, Boštjan (mentor)/KRAJNC, Nike (somentorica)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire
LI	2012
IN	VPLIV NAČINA SHRANJEVANJA GOZDNIH LESNIH SEKANCEV NA NJIHOVO VLAŽNOST
TD	Diplomsko delo (Visokošolski strokovni študij)
OP	IX, 45 str., 10 pregl., 26 sl., 3 pril., 23 vir.
IJ	sl
Jl	sl/en
AI	

Uporaba ter poraba lesne biomase se v zadnjih desetletjih povečuje. S tem se pojavlja potreba po izboljšanju trga lesne biomase – od pridobivanja do sušenja in skladiščenja. Raziskava v pričujoči nalogi temelji na področju sušenja lesnih sekancev. Za poskus je bil uporabljen svež okrogel les bukve, od katerega je bil del zmlet v lesne sekance (4 zaboji), preostanek pa zložen na skladišču, kjer je bila merjena njegova vlažnost. Trije zaboji so bili postavljeni zunaj; prvi nepokrit, drug pokrit s paroprepustno folijo, tretji s PVC folijo, četrti, spet nepokrit, pa je bil lociran v zaprtem zračnem prostoru. Okrogel les so na koncu približno štirimesečnega sušenja zmleti, da so lahko primerjali vlažnost sekancev. Med trajanjem poskusa je bila temperatura v zalogovnikih merjena z merilcem temperature iButton DS1923, vlaga sekancev z napravo za merjenje vlage FMG 3000, vlaga okroglega lesa pa z nabijalno sondo Testo hygrotest 6500. Rezultati kažejo, da so bili najbolj suhi sekanci v zaprtem prostoru, najbolj vlažni pa nepokriti na prostem. Okrogel les je bil le v dveh primerjavah s sekanci v zalogovnikih bolj suh. Po predvidevanjih je glavni razlog za tak rezultat dejstvo, da skladovnica okroglega lesa ni bila pokrita, in da je bilo v času izvajanja poskusa izrazito veliko padavin.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn

DC FDC 839.3(043.2)=163.6

CX biomass/wood chips/wood chips drying/drying of roundwood/weather conditions

CC

AU ROSC, Janez

AA KOŠIR, Boštjan (supervisor)/KRAJNC, Nike (co-supervisor)

PP SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83

PB University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Department of forestry and renewable forest resources

PY 2012

TI INFLUENCE OF STORING FOREST WOOD CHIPS ON THEIR HUMIDITY

DT Graduation Thesis (Higher professional studies)

NO IX, 45 p., 10 tab., 26 fig., 3 ann., 23 ref.

LA sl

AL sl/en

AB

In recent decades the use and consumption of wood biomass is increasing. Thus there is a need to improve the market of biomass - from extraction to drying and storage. A study in the present thesis is based on the drying of wood chips. Fresh logs were used in the experiment, from which a part was ground into wood chips (4 boxes). The remaining logs were stacked in the warehouse, where we measured their moisture. Three boxes of wooden chips were placed outside; the first uncovered, the second covered with same time diffusion opened foil, the third with PVC foil, and the fourth, again uncovered, was located in an enclosed air space. The experiment lasted for about 4 months. After that time the logs were also ground so the comparison of the dryness of wood chips could be done. During the experiment the temperatures in the boxes were measured with DS1923 iButton temperature gauge, humidity of chips with a device for measuring moisture FMG 3000 and the moisture in roundwood with the probe Testo hygrotest 6500. The results show that the wood chips in a confined space had the lowest range of humidity, and those outside and uncovered had the highest. Chips, made out of roundwood, were dryer only in two cases, compared to chips in other four boxes. According assumptions there were two reasons for this result: the first was the fact that the stack of roundwood was not covered, and the second was lots of rain during the experiment.

KAZALO

KLJUČNA INFORMACIJSKA DOKUMENTACIJA.....	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO.....	V
KAZALO PREGLEDNIC.....	VII
KAZALO SLIK.....	VIII
KAZALO PRILOG	IX
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	2
1.2 CILJ RAZISKOVANJA.....	2
1.3 DELOVNE HIPOTEZE	3
2 LES IN BIOMASA V SLOVENIJI	4
2.1 LES KOT GORIVO	5
2.1.1 Primerjava kurilnosti lesnih goriv z nekaterimi fosilnimi gorivi.....	6
2.2 BIOMASA IN NJENI VIRI.....	7
2.3 LESNI SEKANCI	9
2.3.1 Voda v lesu in vlažnost lesa	10
2.3.2 Kemijska sestava lesa.....	12
2.3.3 Gostota lesa	12
2.3.4 Zdravstveno stanje lesa.....	14
2.4 VRSTE SEKALNIKOV.....	14
3 MATERIALI IN METODE	16
3.1 OPIS POSKUSA	16
3.2 MATERIALI.....	16
3.2.1 Paroprepustna folija Tyvek® Supro Grid	16
3.2.2 RHTemp110 vremenska postaja.....	17
3.2.3 Testo hygrotest 6500 nabijalna sonda za merjenje vlage v lesu.....	17
3.2.4 Merilnik vsebnosti vode FMG 3000.....	18
3.2.5 iButton® DS1922L/T in DS1923	18
3.3 METODE DELA.....	19
3.3.1 Predpriprava.....	20

3.3.2	Sečnja in spravilo.....	20
3.3.3	Spremljanje sušenja lesnih sekancev in okroglega lesa	20
3.4	MERITVE	21
3.4.1	Začetne meritve	21
3.4.2	Periodične meritve.....	24
3.4.3	Zadnja meritev	26
4	REZULTATI MERITEV	27
4.1	VREMENSKI POGOJI.....	27
4.2	SPREMLJANJE TEMPERATURE IN ZRAČNE VLAŽNOSTI V ZABOJIH...	27
4.3	PRVA MERITEV: VLAŽNOST SVEŽEGA LESA	30
4.4	PERIODIČNE MERITVE	31
4.4.1	Meritve vlažnosti sekancev v zabojnikih.....	32
4.4.2	Spremljanje vlažnosti okroglega lesa	33
4.5	ZADNJA MERITEV – KONTROLNA MERITEV	35
5	RAZPRAVA IN SKLEPI.....	40
6	POVZETEK	42
7	VIRI.....	43
	ZAHVALA	
	PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Primerjava kurilnosti lesnih goriv z nekaterimi fosilnimi gorivi (Krajnc in sod., 2009)	10
Preglednica 2: Razmerje med vsebnostjo vode in vlažnostjo lesa	11
Preglednica 3: Kemijska sestava lesa [SIST-TS CEN/TS 14961:2005] (Krajnc in sod., 2009).....	12
Preglednica 4: Temperatura v zabojnikih dne 21. 4. 2007	29
Preglednica 5: Začetna vlažnost okroglega lesa	30
Preglednica 6: Ugotovljena vlažnost svežega lesa	31
Preglednica 7: Vsebnost vode v sekancih po zabojnikih.....	32
Preglednica 8: Vlažnost lesa v sekancih po zabojnikih.....	33
Preglednica 9: Vlažnost drobnega okroglega lesa bukve	34
Preglednica 10: Vlažnost sekancev na različnih mestih v zalogovnikih.....	38

KAZALO SLIK

Slika 1: Osnovna shema tehnologije priprave lesnega kuriva (Krajnc, 2003)	6
Slika 2: Naravno kroženje ogljika v naravi (Katere prednosti ..., 2005)	8
Slika 3: Primerjava energijskih vrednosti drevesnih vrst na osnovi mase v % (osnova je energijska vrednost bora) (Lesna biomasa, 2005)	13
Slika 4: Primerjava energijskih vednosti drevesnih vrst na osnovi prostornine v % (osnova je energijska vrednost robinije) (Lesna biomasa, 2005)	13
Slika 5: Vremenska postaja RHTemp110 (foto: N. Krajnc)	17
Slika 6: Nabijalna sonda Testo hygrotest 6500 (Hygrotest 6500 ..., 2012)	18
Slika 7: Merilnik vlage FMG 3000	18
Slika 8: iButton DS1923 (iButton, 2011)	19
Slika 9: Nameščen čitalec (foto: N. Krajnc)	19
Slika 10: Zabojujnik št. 1 (foto: N. Krajnc)	21
Slika 11: Zabojujnik št. 2 (foto: N. Krajnc)	21
Slika 12: Zabojujnik št. 3 (foto: N. Krajnc)	21
Slika 13: Zabojujnik št. 4 (foto: N. Krajnc)	21
Slika 14: Skladišče okroglega lesa št. 5	21
Slika 15: Označen okrogel les	21
Slika 16: Mletje svežega lesa z velikim sekalnikom (foto: N. Krajnc)	23
Slika 17: Mrežasti valj med odvzemanjem sekancev	25
Slika 18: Temperatura in zračna vlažnost v času izvajanja poskusa	27
Slika 19: Temperatura zraka in sekancev v zalogovnikih ter zračna vlažnost prvi dan meritve (21. 4. 2007)	28
Slika 20: Vlažnost sekancev po zabojih	33
Slika 21: Povprečna vlažnost in temperatura zraka s povprečno vlažnostjo okroglega lesa	35
Slika 22: Zabojuj št. 1	36
Slika 23: Zabojuj št. 2	37
Slika 24: Zabojuj št. 3	37
Slika 25: Zabojuj št. 4	38
Slika 26: Končna vlažnost sekancev na različnih mestih v zalogovnikih	39

KAZALO PRILOG

Priloga A: Povprečne dnevne meritve senzorjev

Priloga B: Prikaz dnevnih meritev

Priloga C: Opis vremenskih razmer in ura meritev goli in zabojnikov

1 UVOD

Biomasa je biološki material, pridobljen iz živih ali nedavno živih organizmov. V okviru biomase za proizvodnjo energije največkrat bazira na rastlinski osnovi. Je vir z nizkimi emisijami ogljika, zato njena proizvodnja in uporaba prinašata dodatne okoljske in družbene koristi. Če je upravljana in uporabljena pravilno, je lahko biomasa trajnostno gorivo, ki prinaša znatno zmanjšanje neto emisij ogljika v primerjavi s fosilnimi gorivi. Izmed surovin za proizvodnjo biomase je les najbolj očiten in razširjen vir.

Les je izdatno in lahko dostopno gorivo. Je relativno čist in prihaja iz obnovljivega vira – gozda. Močno draženje ostalih vrst fosilnih goriv je pripomoglo k večji porabi lesa kot goriva, kjer nastopa kot obnovljiv, domač in poceni vir toplotne energije. Zato se je pojavila potreba ne samo po lesu kot hlodovini, ampak tudi po lesnih ostankih. Tako se je trg lesne biomase začel povečevati. Povpraševanje na trgu je privedlo do izboljšanja kakovosti lesnih goriv in do razvoja tehnologije izdelave lesne biomase.

S pomočjo subvencioniranja iz strani države postajajo kotli na lesno biomaso in stroji za predelavo lesne biomase dostopni tudi gospodinjstvom in lesnim obratom, ki lahko lesne ostanke predelajo za rabo lastnega ogrevanja, prodajo toplote ali neposredno prodajo kot energent.

Moderni sistemi ogrevanja z lesno biomaso uporabniku omogočajo večje udobje. Glavne prednosti sodobnih kotlov predstavljajo manjši ostanki pepela, spremljanje in nastavljanje peči s pomočjo termostata, predvsem pa izredno visoki izkoristki. Z uporabo lastne surovine, najema stroja ali usluge lahko v kratkem času pridemo do kurilnega materiala.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Lesni sekanci se v Sloveniji uveljavljajo v zadnjih desetih letih. Tehnologija predelave lesa v gozdne lesne sekance je naredila velik korak naprej, vendar je problem sušenja in možnosti skladiščenja še vedno sorazmerno velik.

Poraba obnovljivih virov iz lesa in druge trde biomase se je od leta 2002 pa do 2009 povečala iz 16578 TJ na 22152 TJ (Poraba obnovljivih ..., 2011). Zaradi vse večjega števila gospodinjstev, ki se ogrevajo z lesom, sklepamo, da se raba lesne biomase v gospodinjstvih med leti povečuje. K temu je veliko pripomogla država s sistemom sofinanciranja v kotle za centralno ogrevanje in začetnimi investicijami v sodobne stroje za izdelavo lesnih goriv. Z višanjem cen nekaterih drugih energentov (fosilna goriva) je les kot obnovljiv domač vir ponovno pridobil na pomenu. Gospodinjstva so v letih 2009 in 2010 v energetske namene porabila okrog 1.500.000 m³ okroglega lesa (s skorjo). Okrog 80 % okroglega lesa izvira iz gozdov, preostanek pa predstavlja druga drevnina, kot so posek na zunaj gozdnih površinah (površine v zaraščanju, drevje ob vodotokih, sadovnjaki itd.), sečni ostanki, neetatna lesna masa in odslužen les (Piškur in sod., 2011).

Tradicionalna oblika lesnih goriv v Sloveniji so drva, v zadnjih letih pa se vse bolj uveljavljajo tudi lesni sekanci in peleti. S povečanim povpraševanjem po lesnih gorivih postaja vse pomembnejše zagotavljanje kakovosti. Na kakovost lesnih goriv lahko vplivamo z ustrezno tehnologijo pridobivanja, predelave in skladiščenja. Kakovost sekancev opredeljujejo vsebnost vode, drevesna vrsta, kakovost lesa, morebitno trohnenje, porazdelitev in velikost delcev ter delež različnih nečistoč oziroma primesi. Ti dejavniki vplivajo na kurilno vrednost, gostoto nasutja in delež pepela (Čebul in Krajnc, 2011).

1.2 CILJ RAZISKOVANJA

Cilj naloge je bil spremljanje sušenja svežih lesnih sekancev in okroglega lesa v skladovnici v različnih razmerah. S poskusom smo želeli preveriti, ali je bolj smiselno narediti sekance iz svežega lesa in jih ustrezno skladiščiti, da se posušijo, ali pa je boljše

pustiti okrogli les v skladovnici, da se suši na prostem, in nato po štirih mesecih izdelati lesne sekance.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Mesto in način sušenja svežih gozdnih lesnih sekancev (*vsebujejo več kot 40 % vode*) bosta vplivala na vsebnost vode v njih.

- Sekanci v zaprtem prostoru bodo bolj suhi kot sekanci na odprtem.
- Okrogel les na skladišču se bo sušil bolje kot izdelani sekanci.

2 LES IN BIOMASA V SLOVENIJI

Površina gozdov se v Sloveniji povečuje že od leta 1875, ko je bila zabeležena komaj 36 % gozdnatost ozemlja današnje Slovenije. Tudi v zadnjih letih so se odmaknjena in za kmetijsko proizvodnjo manj primerna zemljišča še naprej zaraščala. Danes spada Slovenija med najbolj gozdnate države v Evropi. 1.186.104 hektarjev gozdov pokriva več kot polovico površine države (gozdnatost je 58,5 %). Pretežni del slovenskih gozdov je v območju bukovih, jelovo-bukovih in bukovo-hrastovih gozdov (70 %), ki imajo razmeroma veliko proizvodno sposobnost (Splošni podatki ..., 2010).

Lastništvo gozdov se je v zadnjih letih spreminjalo, predvsem zaradi denacionalizacijskih postopkov. Tako se je od 1. 1996 površina državnih gozdov zmanjšala za 89.479 ha, površina zasebnih gozdov pa povečala za 157.908 ha. Razmerje površin državnih in zasebnih gozdov se je spremenilo iz 33,9 : 66,1 leta 1996 na 24,2 : 75,8 leta 2009. Z upoštevanjem podatkov gozdnogospodarskih načrtov gozdnogospodarskih enot (GGE), izdelanih v letu 2009, se je lesna zaloga slovenskih gozdov v absolutnem povečala za 1,58 %, povprečna lesna zaloga na hektar (upoštevajoč na novo zarasle površine) pa za 1,57 % in je ob koncu leta 2009 znašala 327.458.525 m³ oz. 276,08 m³/ha (Poročilo Zavoda ..., 2010).

Posek še naprej zaostaja za možnim posekom po gozdnogospodarskih načrtih. V letu 2009 je dosegel 66 % možnega poseka. Približni izračuni zadnjih let kažejo, da se posek v državnih gozdovih realizira blizu količine načrtovanega (možnega) poseka, posek v zasebnih gozdovih pa znatno nižje. Vzrok za nerealizirane sečnje v zasebnih gozdovih je več. Najpogostejši razlog, predvsem pri sestojih s tanjšim drevjem, je premajhna ekonomičnost pridobivanja lesa. Lastnih gozda se lahko v tem pogledu zelo selektivno, od drevesa do drevesa odloča, kaj bo posekal in kaj ne (Poročilo Zavoda ..., 2010).

Lesna zaloga se v slovenskih gozdovih sicer kopiči, vendar selektivno. Nerealiziran ostaja predvsem posek lesa slabše kakovosti, ki pa ga lahko s pridom izkoristimo v energetske namene doma ali pa v lokalnem okolju. Lesna biomasa, izhajajoča iz gozdov, je namreč

domač, okolju prijazen, lokalno dostopen, ekonomičen ter obnovljiv vir energije, koristno uporaben v energetske namene (Krajnc in Kopše, 2005).

Les ima tudi druge prednosti, zaradi katerih je spoštovan. Je edini energetski vir, ki ga je mogoče pridobiti v neposredni okolici. Dosegljiv je tudi v izrednih razmerah, kot so vojne in druge katastrofe. Za lastnike gozdov predstavlja dodaten vir zaslužka, še posebej na odročnih, hribovitih delih Slovenije. Poleg tega je njegova uporaba varna (dokler z njim ravnamo pazljivo) – možnost eksplozij in raznih razlitij je izključena (Katere prednosti ..., 2005).

2.1 LES KOT GORIVO

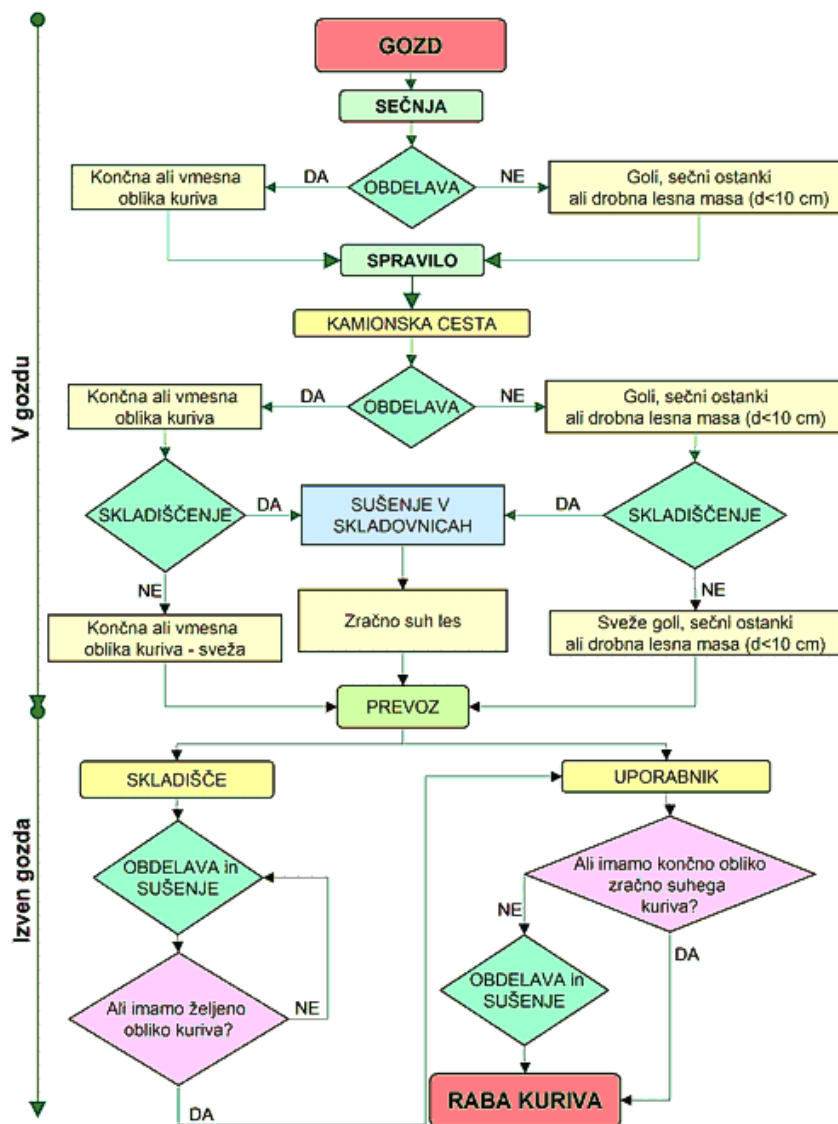
Goriva po nastanku razdelimo na obnovljiva in fosilna. Med obnovljiva prištevamo les, med fosilna pa tista, ki so nastala v zemlji iz primarnih goriv v daljšem časovnem obdobju in pod vplivom visokih temperatur; to sta npr. nafta in premog.

Zaradi omejenosti količine fosilnih goriv, pa tudi zaradi zavesti, da so emisije, ki pri gorenju teh goriv nastajajo, okolju precej neprijazne, se pojavlja porast uporabe obnovljivih goriv.

Osnovna lastnost goriv je kurilnost, ki predstavlja količino toplote, nastale pri popolnem zgorevanju enote goriva, pri čemer se produkti zgorevanja ne ohladijo pod temperaturo rosišča vodne pare. Izražamo jo v kWh (kilovatna ura) in MJ (mega joul).

Na kurilno vrednost lesa vplivajo vlažnost lesa, kemična zgradba, drevesna vrsta idr.. S povečevanjem vsebnosti vode se niža kurilna vrednost lesa, saj se del energije, ki se sprosti med procesom izgorevanja, porabi za izhlapevanje vode. Gostota lesa vpliva na sušenje, kurilno vrednost in proces izgorevanja (les z večjo gostoto zgoreva počasneje). Tudi ohranjenost lesa bistveno vpliva na kurilno vrednost, saj ima npr. trohneč les manjšo gostoto in s tem tudi nižjo kurilno vrednost. Kurilnost se razlikuje glede na posamezne sestavine v lesu, saj je kurilna vrednost pri iglavcih za 2 % višja kot pri listavcih. Razlog je

v višji vsebnosti lignina in delno tudi v višji vsebnosti smole, voska in olja, ki se pojavljajo pri iglavcih (Krajnc in Piškur, 2011). O kurilnosti bomo podrobneje pisali v poglavju 2.3.



Slika 1: Osnovna shema tehnologije priprave lesnega kuriva (Krajnc, 2003)

2.1.1 Primerjava kurilnosti lesnih goriv z nekaterimi fosilnimi gorivi

V praksi velikokrat potrebujemo enostavne primerjave med lesnimi in fosilnimi gorivi; zlasti takrat, ko se odločamo za spremembo načina ogrevanja (Turk, 2010).

Pred zamenjavo kotla ali pred postavitvijo novega so potrebne primerjave med lesnimi in fosilnimi gorivi. Na podlagi moči, izkoristka in vrste goriva se preko preračunane porabe lažje odločimo za nakup kotla. Preračunavanje nam je v veliko pomoč tudi pri zagotavljanju zadostne skladiščne kapacitete in pri načrtovanju predvidenih stroškov ogrevanja. Za približen izračun lahko uporabimo naslednje pretvornike, pri katerih pa ni upoštevan dejanski izkoristek kotla (Krajnc in sod., 2009):

1 kg kurilnega olja \approx 3 kg lesa

1 l kurilnega olja \approx 2,5 kg lesa

1000 l kurilnega olja \approx 5-6 nasutih m³ polen listavcev

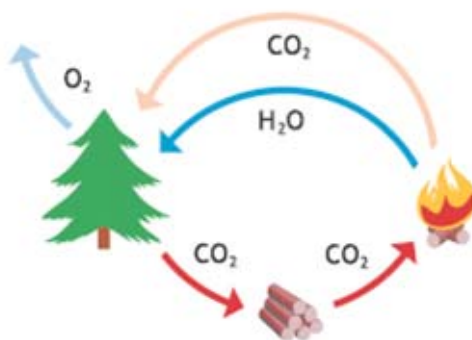
7-8 nasutih m³ polen iglavcev

10-15 nasutih m³ lesnih sekancev

2,1 t peletov

2.2 BIOMASA IN NJENI VIRI

Definicija biomase je zelo široka, saj pod pojem biomase lahko štejemo trave, kmetijske pridelke, organske odpadke, les itd. Energijsko gledano je biomasa uskladiščena sončna energija, ki jo lahko pretvorimo v druge oblike energije, npr. toplotno ali električno. Ključna lastnost biomase, ki jo ločuje npr. od fosilnih goriv, je njena obnovljivost in emisijska nevtralnost, ki izhaja iz dejstva, da se izpusti toplogredni plinov dogodijo v enaki meri, če biomaso energetsko izrabimo ali če jo prepustimo naravnim procesom razpada, dokler zagotovimo, da izraba ni pretirana. Ti plini so namreč del naravnega kroženja v naravi in ne povzročajo dodatne obremenitve okolja kot pri fosilnih gorivih, kjer se sproščajo plini, »uskladiščeni« v daljni preteklosti. Izraba lesne biomase pripomore k manjši rabi fosilnih goriv, kar pomeni, da nam pomaga znižati emisije ogljikovega dioksida. Čeprav se pri gorenju lesne biomase prav tako sprošča ogljikov dioksid, ki ima največ zaslug za spremembe podnebja, pa njena uporaba ne povzroča učinka tople grede. Toplogredni plini, ki nastajajo s sežigom ali gnitjem, so del naravnega kroženja ogljika v atmosferi in so v ravnovesju s sposobnostmi gozda, da jih preko fotosinteze razgradi v kisik in ogljik (glej sl. 2).



Slika 2: Naravno kroženje ogljika v naravi (Katere prednosti ..., 2005)

K lesni biomasi uvrščamo (Butala in Turk, 1998):

- **okrogli les slabše kakovosti in gozdni ostanki**, ki nastajajo kot posledica rednih sečenj, nege mladih gozdov ter plemen in sanitarnih površin. Mednje prištevamo vejevje, krošnjje, debela majhnih premerov in manj kakovosten les, ki ni primeren za nadaljnjo industrijsko predelavo;
- **ostanke pri industrijski predelavi lesa**, kot so ostanki primarne in sekundarne predelave (krajniki, žaganje, lubje, prah);
- **kemično neobdelan les**, ki je produkt kmetijskih dejavnosti v sadovnjakih in vinogradih ter že uporabljen les (palette, leseni zaboji).

Lesna goriva skladno s tehnično specifikacijo (SIST EN 14588: 2010):

- **Drva:** les, ki je razžagan in po potrebi cepljen z namenom energetske izrabe v napravah, kot so peči, kamini ali kotli za centralno ogrevanje individualnih hiš oziroma stanovanj. Drva imajo praviloma določeno dolžino od 150 do 1000 mm.
- **Polena:** energetski les, nasekan z ostrimi sekalnimi ali cepilnimi napravami, pri čemer ima večina gradiva dolžino od 150 do 500 mm.
- **Cepanice:** energetski les, razrezan in razcepljen večinoma na dolžino 500 mm in več.
- **Okroglice:** energijski les, razrezan večinoma na dolžino 500 mm in več.

- **Lesni sekanci:** nasekana lesna biomasa v obliki koščkov z določeno velikostjo delcev, ki se izdelujejo z mehansko obdelavo z ostrim orodjem, kot so noži. Lesni sekanci so nepravilne pravokotne oblike in značilne dolžine od 5 do 50 mm ter z majhno debelino v primerjavi z drugimi dimenzijami.
- **Grobi lesni sekanci:** les, nasekan z ostrimi sekalnimi napravami, pri čemer je dolžina večine delcev bistveno daljša kot pri lesnih sekancih, oblika pa je bolj robata. Značilna dolžina grobih lesnih sekancev znaša od 50 do 150 mm.
- **Grobi lesni drobir:** energetski les v obliki koščkov različnih velikosti in oblik, ki se proizvajajo z lomljenjem in drobljenjem s topim orodjem, kot so valji ali kladiva (Krajnc in sod., 2009).

2.3 LESNI SEKANCI

Lesne sekance pridobivamo iz različnih oblik lesne biomase (okrogli les slabše kakovosti in gozdni ostanki, ostanki pri industrijski obdelavi lesa, kemično neobdelan les). Kakovost lesnih sekancev je opredeljena z vsebnostjo vode, drevesno vrsto, kakovostjo lesa, morebitnim trohnenjem lesa, porazdelitvijo in velikostjo delcev ter deležem različnih nečistoč oziroma primesi.

Z ustreznimi postopki predelave lesa v gozdne lesne sekance se lahko izognemo številnim negativnim dejavnikom, ki vplivajo na kakovost in posredno na izrabo potencialne energije. Les, sekan pozimi, pokrite skladovnice in skladišča, izdelava sekancev v suhem vremenu, hramba sekancev v pokritem zračnem prostoru so pogoji, ki jih moramo zagotoviti, da čim bolj izkoristimo energijo, hranjeno v lesu. Ta potencial imenujemo kurilnost.

Kurilnost je najpomembnejši podatek pri rabi lesa kot goriva. Na kurilnost lesnih sekancev najbolj vplivajo:

- voda v lesu in vlažnost lesa,
- kemijska sestava lesa,

- gostota lesa,
- zdravstveno stanje lesa.

Preglednica 1: Primerjava kurilnosti lesnih goriv z nekaterimi fosilnimi gorivi (Krajnc in sod., 2009)

Goriva	Kurilnost (srednje vrednosti)	
	v MJ	v kWh
Ekstra lahko kurilno olje	36,17 MJ/l (42,5 MJ/kg)	10 kWh/l (11,80 kWh/kg)
Lahko kurilno olje	38,60 MJ/l (41,5 MJ/kg)	10,70 kWh/l (11,50 kWh/kg)
Naravni plin ⁶	36,00 MJ/m ³	10,00 kWh/m ³
LPG ⁷	24,55 MJ/l (46,30 MJ/kg)	6,82 kWh/l (12,87 kWh/kg)
Premog	27,60 MJ/kg	7,67 kWh/kg
Koks 40/60	29,50 MJ/kg	8,20 kWh/kg
Lignit (briketi)	20,20 MJ/kg	5,60 kWh/kg
1 kWh elektrike	3,60 MJ	1 kWh
1 kg lesa (w 20%)	14,40 MJ/kg	4,00 kWh/kg

2.3.1 Voda v lesu in vlažnost lesa

Voda v lesu je prosta (ni vezana na lesno snov) in vezana (v celičnih stenah). Les začne oddajati vodo takoj po poseku. Najprej izhlapeva prosta voda in s tem postaja les lažji. Ko izhlapi vsa prosta voda (v povprečju ima les takrat 30 % vlažnost), začne izhlapevati vezana voda. Pri tem postane les higroskopski in začne spreminjati volumen in dimenzijo (Lesna biomasa, 2005).

Vodo v lesu opredeljujemo z vlažnostjo in vsebnostjo vode. Vlažnost je izražena kot delež mase vode glede na maso lesa v absolutno suhem stanju (u), vsebnost vode pa kot delež mase vode glede na maso vlažnega lesa (w). Delež je pogosto izražen v odstotkih (preglednica 2) (Krajnc in Piškur, 2011).

Vedeti moramo, da je vsebnost vode močno spremenljiva fizikalna lastnost lesa, saj nanjo vpliva vrsta dejavnikov (Kopše in Krajnc, 2005):

- drevesna vrsta,
- rastišče,
- starost drevesa,
- letni čas poseka,
- vitalnost in zdravost drevesa,
- del drevesa (narašča proti krošnji in koreninam, pada od sredine proti obodu debla),
- različna je v jedrovini in beljavi ter v ranem in poznem lesu.

Preglednica 2: Razmerje med vsebnostjo vode in vlažnostjo lesa

Vsebnost vode (%)	Vlažnost lesa (%)
10	11,1
15	17,6
20	25
25	33,3
35	42,9
40	53,8
50	100
60	150

Glede na vsebnost vode v lesu ločimo (Kopše in Krajnc, 2005):

- **svež les** – les takoj po poseku, ki ima vlažnost nad 40 %,
- **gozdno suh les** – les približno pol leta po poseku v primeru zimske sečnje oziroma približno 4 mesece po poseku v primeru poletne sečnje, ko ima les vlažnost od 20 do 40 %,
- **zračno suh les** – les, ki se je sušil vsaj 6 mesecev na zračnem in pokritem mestu in ima vlažnost do 20 %,
- **tehnično suh les** – (umetno sušenje), kjer ima les vlažnost od 6 do 15 %.

2.3.2 Kemijska sestava lesa

Les (sekundarni ksilem) je glavno prevodno in mehansko tkivo drevesa. Nastaja z delitvijo celic na notranji strani kambija. Les sestavljajo naslednji elementi: ogljik (50 %), kisik (43 %), vodik (6 %) in dušik (1 %). Kemična sestava lesa pa je sledeča: celuloza (40 - 50 %), hemiceluloze (24 - 33 %), lignin (20 - 35 %) in spremljajoče snovi (škrob, sladkor, smola, čreslovina, barvila, strupi, 3 - 4 %). Kurilna vrednost posameznih sestavin ni enaka (na primer lignin ima višjo kurilno vrednost kot celuloza, zato je kurilna vrednost iglavcev, ki imajo več lignina, pri enaki masni enoti, višja kot pri listavcih) (Lesna biomasa, 2005).

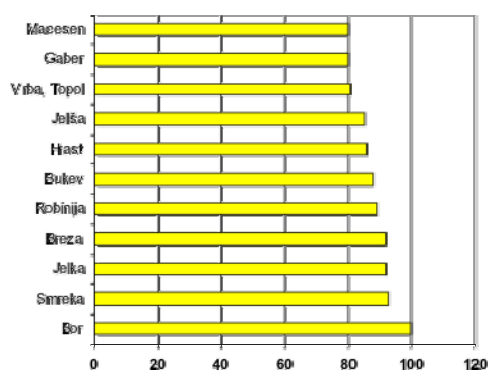
Preglednica 3: Kemijska sestava lesa [SIST-TS CEN/TS 14961:2005] (Krajnc in sod., 2009)

Parameter	Enota	Les iglavcev		Les listavcev	
		Značilna vrednost	Značilna variacija	Značilna vrednost	Značilna variacija
Ogljik, C	w-% d	51	47 do 54	49	48 do 52
Vodik, H	w-% d	6,3	5,6 do 7,0	6,2	5,9 do 6,5
Kisik, O	w-% d	42	40 do 44	44	41 do 45
Dušik, N	w-% d	0,1	< 0,1 do 0,5	0,1	<0,1 do 0,5
Žveplo, S	w-% d	0,02	< 0,01 do 0,05	0,02	< 0,01 do 0,05
Klor, Cl	w-% d	0,01	< 0,01 do 0,03	0,01	< 0,01 do 0,03
Fluor, F	w-% d	< 0,000 5	< 0,000 5	< 0,000 5	< 0,000 5

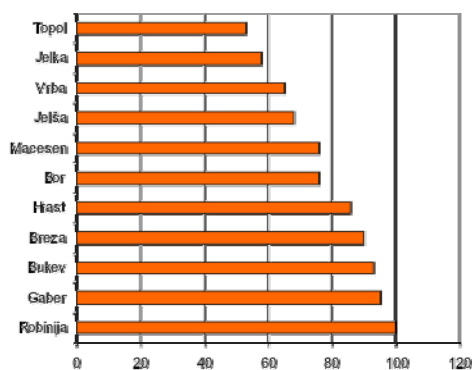
Opomba: w-% d – delež mase na suho osnovo

2.3.3 Gostota lesa

Gostota lesa je masa določenega volumna lesa (kg/m^3). Gostota je odvisna od drevesne vrste (listavci imajo večjo gostoto kot iglavci), časa sečnje (gostota narašča z vsebnostjo vode), dela drevesa (koreničnik, vejevina in jedrovina imajo višjo gostoto) in starosti lesa. Gostota lesa vpliva na sušenje, kurilno vrednost in proces zgorevanja (les z večjo gostoto zgoreva počasneje).



Slika 3: Primerjava energijskih vrednosti drevesnih vrst na osnovi mase v % (osnova je energijska vrednost bora) (Lesna biomasa, 2005)



Slika 4: Primerjava energijskih vednosti drevesnih vrst na osnovi prostornine v % (osnova je energijska vrednost robinije) (Lesna biomasa, 2005)

Primerjav grafikonov kaže na naslednje: če kupimo 1 m³ topolovega lesa, bomo dobili kar 39 % manj energije kot če bi kupili 1 m³ bukovega lesa.

Na osnovi prostornine (m³) se nam poleg bukve izplača kupovati še les hrasta, robinije in gabra. Razlike v energijski vrednosti so manjše, če kupujemo lesno biomaso po teži (t ali kg). V tem primeru bi pri nakupu 1 t topolovega lesa kupili le 1 % manj energije kot če bi kupili 1 t bukovega lesa. Pri kupovanju glede na težo pa moramo upoštevati tudi vsebnost vode (Lesna biomasa, 2005).

2.3.4 Zdravstveno stanje lesa

Ohranjenost lesa bistveno vpliva na kurilno vrednost. Trohneč les ima manjšo gostoto in s tem tudi nižjo kurilno vrednost, je bolj dovzeten za vlago in hitreje propada.

2.4 VRSTE SEKALNIKOV

Sekalnik je stroj, namenjen predelavi okroglega lesa neposredno v sekance. Poznamo stacionarne izvedbe ali vgrajene na prikolici, kamionu, ali pa je nošen na 3-točkovnem priklopu traktorja. Sekalnik je lahko opremljen z lastnim motorjem ali pa je gnan preko zunanjega agregata (traktorja).

Po *obliki* jih razdelimo na:

- *Kolutne sekalnike*, kjer se sekalna enota sestoji iz težkega vztrajnika, na katerem so radialno pričvrščeni 2 do 4 noži. Les pride v stik s kolutom pod kotom od 30 do 40 stopinj na ploskev koluta, in vrteči se noži, ki delujejo proti nakovalu, režejo zaporedne kose lesa, ki v tem postopku razpadejo na sekance. Velikost sekancev je navadno od 0,3 do 4,5 mm, vendar je to dimenzijo mogoče spreminjati z nastavljenim ležiščem noža. Velik problem je nehomogenost v velikosti sekancev, ki povzročajo zastoje pri delovanju ogrevalnih sistemov;
- *Bobenske sekalnike*, ki so večji in močnejši od kolutnih in z lahkoto obdelujejo tako okrogli les, kot lesne ostanke. Boben sekalnika se sestoji iz jeklenega valja z do 12 noži, nameščeni v tangencialnem položaju. Velikost sekancev je določena z mrežo (sitom), ki nam omogoča večjo homogenost izstopnih sekancev (do 6,5 cm);
- *Vijačne sekalnike*, ki s pomočjo dveh spiralnih nasproti vrtečih spiral z ostrimi robovi luščijo oziroma strižejo les. Ti stroji, ki niso močno razširjeni, lahko obdelujejo cela drevesa ali hlode in v primerjavi s kolutnim in bobenskim sekalnikom proizvedejo večje sekance (Krajnc in sod., 2009).

Glede na *moč* jih razdelimo v tri kategorije:

- *Lahki sekalniki*, ki so navadno nameščeni na 3-točkovnem priklopu traktorja in so preko njega tudi gnani. Za pogon zadošča 20 do 30 kW moči, vendar pa lahko obdelujejo le les manjših premerov. Njihova zmogljivost je 20 t/dan oziroma 5 nm³ (nasutih prostorninskih metrov) na uro;
- *Srednji sekalniki* so najpogosteje nameščeni na prikolici gnani preko lastnega motorja ali preko traktorja z močjo od 50 do 110 kW. Sekajo lahko les s premerom nad 30 cm oziroma so omejeni z velikostjo vstopne odprtine in možnostjo dviga rotorja. Les se na horizontalni trak nalaga s pomočjo hidravlično upravljane roke. Zmogljivost sekalnika ne presega 60 t/dan oziroma do 50 nm³/uro;
- *Veliki sekalniki* so nameščeni na prikolicah ali tovornjakih. Potrebna pogonska moč je nad 150 kW. Moč lahko ustvari agregat s katerim je omogočen tudi transport (tovornjak) ali pa ima nameščen samostojni motor. Sekalniki imajo zmogljivost večjo od 60 t/dan oziroma več kot 50 nm³ na uro (Krajnc in sod., 2009).

Dejansko zmogljivosti sekalnikov odstopajo od navedenih, saj je dejanski učinek stroja v veliki meri odvisen od pripravljene surovine in celotne logistike.

3 MATERIALI IN METODE

3.1 OPIS POSKUSA

Cilj poskusa je bil spremljanje sušenja zelenih sekancev v različnih pogojih in ugotavljanje, kako mesto in način sušenja vplivata na vsebnost vode v sekancih. Zanimala nas je tudi primerjava sušenja sekancev in okroglega lesa. V ta namen smo po sečnji in spravi tankega bukovega okroglega lesa izločili primerno količino lesa. Iz dela goli, debeline 8 do 13 centimetrov, so bili izdelani sekanci, del okroglega lesa smo zložili v skladovnico, ki se je sušila na zračni lokaciji. Sečnja lesa je bila opravljena 16. 4. 2007.

3.2 MATERIALI

Za izvedbo meritev smo si pomagali s številnimi tehničnimi pripomočki, ki so v veliki meri olajšali meritve. Enega od zabojev smo pokrili s paroprepustno folijo Tyvek® Supro Grid, za meritve pa smo uporabili:

- RHTemp110 vremensko postajo za merjenje zračne vlažnosti in temperature,
- Testo hygrotest 6500 nabijalno sondo za merjenje vlage v lesu,
- FMG 3000 merilnik vlage v sekancih,
- iButton® DS1922L/T in DS1923.

3.2.1 Paroprepustna folija Tyvek® Supro Grid

Tyvek® Supro Grid paroprepustna folija ščiti streho in steno pred vlaženjem z zunanje strani, hkrati pa omogoča izsušitev vgrajenih materialov (les, volna, ...). Izdelana je iz polietilena visoke gostote ter polipropilena, zaradi česar nudi varnost tudi v najzahtevnejših vremenskih pogojih. Ne vsebuje nikakršnih veziv, polnil ali strupenih dodatkov. Lahko jo recikliramo brez škodljivih ostankov (DuPont, 2012).

3.2.2 RHTemp110 vremenska postaja

Za merjenje vlage in temperature smo uporabili vremensko postajo RHTemp110 (glej sl. 5). RHTemp110 je majhna, baterijsko napajana naprava, ki meri zračno vlažnost in temperaturo. Majhen, a nadvse zmogljiv snemalnik lahko izmeri in shrani do 21.845 meritev. Spomin naprave je prirejen tako, da tudi ob izpraznjeni bateriji ne izgubimo podatkov. Merilnik lahko vklopimo in izklopimo neposredno s programom, ki ga predhodno namestimo na računalnik. S pomočjo programa lahko spreminjamo tudi časovne intervale meritev. Po končanih meritvah napravo enostavno priključimo v USB vhod, njena programska oprema pa omogoča enostaven prenos podatkov (RHTemp110, 2010).



Slika 5: Vremenska postaja RHTemp110 (foto: N. Krajnc)

3.2.3 Testo hygrotest 6500 nabijalna sonda za merjenje vlage v lesu

Aparat je prvenstveno namenjen določevanju vlage v lesu in gradbenih materialih (glej sl. 6). Pri vlagomeru merilni princip temelji na električni prevodnosti merjenca. Prevodnost je merilo vlage med dvema elektrodama. Les deluje kot nepravilni električni upor, ki je odvisen od vrste materiala, temperature in vsebnosti vode, prevodnost pa je odvisna od prevodnika – vode. Več je vode manjši je upor in obratno. Sonda se v večini uporablja za merjenje in

kontroliranje rezanega lesa na žagah, pred predelavo na poti iz sušilnice itd. (Testo hygrotest 6500, 1987).



Slika 6: Nabijalna sonda Testo hygrotest 6500 (Hygrotest 6500 ..., 2012)



Slika 7: Merilnik vlage FMG 3000 (Wood and Timber ..., 2012)

3.2.4 Merilnik vsebnosti vode FMG 3000

Vsebnost vode merimo z instrumenti, s katerimi ugotavljamo elektrostatični naboj. Merilnik vsebnosti vode FMG 3000 je namenjen prav za lesne sekance, žagovino, skobljence, skorjo in pelete (glej sl. 7). Pri meritvi stresemo v merilno posodo natančno določeno količino sekancev. V merilni posodi sekanci prečkajo šibko elektromagnetno polje, ki se spreminja pod vplivom vlažnosti zraka. Že v nekaj sekundah je mogoče na zaslonu instrumenta odčitati vsebnost vode v vzorcu. Pri merilniku vsebnosti vode FMG 3000 merimo vzorce do maksimalno 55 %. Pred prvo meritvijo merilnik kalibriramo in z meritvami lahko pričnemo (FMG 3000, 2011).

3.2.5 iButton® DS1922L/T in DS1923

Čitalca DS1923 in DS1922 L/T sta po izgledu in sestavi enaki napravi, le da slednja poleg vlage meri tudi temperaturo. Ker je narejen iz nerjavečega jekla, je odporen na zunanje

vplive, kot npr. prah, umazanija, tresljaji itd. iButton® je samozadosten sistem, ki meri temperaturo in/ali vlago ter rezultate beleži v zaščitenem delu spomina. V majhno napravo se lahko shrani skupaj 8192 8-bitnih ali 4096 16-bitnih meritev, odčitanih v enakomernih časovnih presledkih (od 1 sekunde do 273 ur). Napravo lahko programiramo tako, da začne z zbiranjem podatkov takoj po inštalaciji, lahko po določenem času, ki ga določimo sami, ali pa po določenem dosegu temperature. Dostop do pomnilnika in kontrolnih funkcij lahko zaščitimo z geslom. K zapisovalniku spada tudi čitalec in programska oprema, ki nam omogočata enostavno branje in obdelavo podatkov (iButton, 2011).



Slika 8: iButton DS1923 (iButton, 2011)



Slika 9: Nameščen čitalec (foto: N. Krajnc)

3.3 METODE DE LA

V štirih enakih lesenih zabojnikih smo skladiščili sekance ter spremljali njihovo sušenje. Zanimala nas je tudi primerjava sušenja okroglega lesa in sekancev ter primerjava različnih metod meritev vsebnosti vode ali vlažnosti v lesu. Primerjali smo (1) klasično sušilno metodo, (2) merjenje vlage s profesionalnim merilnikom FMG 3000 za sekance in (3) meritve vlage s senzorji za zračno vlago, ki so bili nameščeni v enem od zabojnikov. Zanimalo nas je tudi segrevanje sekancev, ki so se sušili v različnih pogojih.

3.3.1 Predpriprava

Predpriprava je bila sestavljena iz ključnih predmetov pri izvedbi diplomske naloge. Za izvedbo smo potrebovali:

- 4 zabojnike z volumnom nad 1 m³;
- 4 valje iz mreže, ki so zagotavljali enakomerno sušenje in omogočali odvzem sekancev za meritve;
- svež les, ki je bil posekan štiri dni pred izdelavo sekancev in polnjenjem zabojev;
- merilne naprave, senzorje in 2 vrsti folije – PVC in paroprepustno folijo.

3.3.2 Sečnja in spravilo

Sečnja (16. 4. 2007) je potekala v delu gozda pripravljenem za drugo redčenje. Posekali smo predrastke, ki so nam v kratkem času zagotovili zadosten del lesne biomase. Uporabili smo les bukve, ki je za ročno spravilo (do 30 metrov) do vlake v spomladanskih vremenskih razmerah najbolj primeren (les je že bil v soku). Za traktorsko spravilo smo izbrali metodo mnogokratnikov, saj so radiji krivin na vlaki majhni in tako s spravilom nismo poškodovali brežin.

3.3.3 Spremljanje sušenja lesnih sekancev in okroglega lesa

Za potrebe spremljanja sušenja lesnih sekancev v različnih pogojih smo pripravili 4 lesene zabojnike. Za testiranje naših hipotez smo tri zabojnike postavili na prosto in enega v pokrit prostor. Za poskus smo pripravili svež okrogli les bukve. Gre za tanjši okrogli les iz redčenj. Lesne sekance smo pripravili 20. 4. 2007. Za izdelavo sekancev smo uporabili sekalnik Holzmatic v lasti podjetja Biomasa.

Vse zabojnike smo ustrezno označili:



Slika 10: Zabojnik št. 1 (foto: N. Krajnc)

Zabojnik št.1 ni bil pokrit, poleg je stala vremenska postaja, v zabojniku je poleg sonde za temperaturo bila tudi sonda za spremljanje zračne vlage. Zaboj je simuliral nasut kup sekancev na odprtem.

Zabojnik št. 2 je bil na prostem, pokrit s paroprepustno folijo. V zabojniku je bila sonda za spremljanje temperature. Paroprepustna folija je omogočala oddajanje vlage sekancev in ni prepuščala padavinske vode.



Slika 11: Zabojnik št. 2 (foto: N. Krajnc)



Slika 12: Zabojnik št. 3 (foto: N. Krajnc)

Zabojnik št. 3 je bil prav tako postavljen na prostem ter pokrit z neprepustno PVC folijo. V zabojniku je bila sonda za spremljanje temperature.



Slika 13: Zabojnik št. 4 (foto: N. Krajnc)

Zabojnik št. 4 je stal v zaprtem, zračnem in suhem prostoru. V zabojniku je bila nameščena sonda za spremljanje temperature. Stavba je predstavljala pokrito skladišče sekancev.



Slika 14: Skladišče okroglega lesa št. 5



Slika 15: Označen okrogel les

Skladišče preostalega okroglega lesa je bilo na prostem ob zabojniku št. 1. Les je bil nepokrit. Ves les, na katerem smo spremljali vlažnost, je bil označen z zaporednimi številkami – številke so bile napisane na vidnem čelu okroglega lesa. Ker so se meritve izvajale na obeh straneh lesa, je bil debelejši del označen s končnico d, tanjši pa z končnico t (na primer 8d in 8t).

3.4 MERITVE

Za pridobivanje podatkov smo določili vrstni red meritev. Od začetka do konca meritev smo spremljali vlažnost in temperaturo zraka ter temperaturo v posameznih zabojih.

Začetna meritev je predstavljala postavitev snemalnega objekta in bila temelj nadaljnjim meritvam. Služila je kot baza, na katero so bile postavljene hipoteze.

Periodične meritve so prikazovale spremembe po določenem pretečenem času in nas vodile do zadnjih meritev. Slednje so glede na začetne meritve dale največ odgovorov.

3.4.1 Začetne meritve

Na začetku smo izmerili vlažnost posekanega svežega lesa. Vлага je bila izmerjena v okroglem lesu pred izdelavo lesnih sekancev z vlagomerom Testo hygrotest 6500. Sledilo je mletje okroglega lesa.



Slika 16: Mletje svežega lesa z velikim sekalnikom (foto: N. Krajnc)

Po izdelavi lesnih sekancev smo vzeli 5 vzorcev svežih sekancev. V vsakem vzorcu je bilo približno 2 kilograma sekancev. Sekance smo vzeli na 4 straneh kupa in en vzorec iz sredine kupa. Vzorce smo vzeli na globini 20 cm, jih spravili v PVC vrečke ter jih nepredušno zaprli. V vzorcih smo izmerili vlažnost po sušilni metodi.

Sušilna metoda: Vzorce lesnih sekancev tehtamo (do 100 g natančno) ter jih 48 ur sušimo v sušilniku pri temperaturi 104,5°C. Po 48 urah jih ponovno tehtamo. Vlažnost izračunamo po naslednjem obrazcu:

$$u(\%) = \frac{m_w(g) - m_o(g)}{m_o(g)} * 100$$

$u(\%)$ vlažnost vzorca lesnih sekancev v odstotnih deležih

$m_w(g)$ teža vzorca lesnih sekancev pred sušenjem

$m_o(g)$ teža vzorca lesnih sekancev po sušenju

Sušilna metoda je bila izvedena v laboratoriju na Gozdarskem inštitutu Slovenije. Začetna vlažnost po sušilni metodi je znašala 71,4 %.

Preden smo sekance stresli v zabojnike, smo izmerili vsebnost vode še z merilnikom FMG 3000. Sekance smo stresli v merilno posodo ter po nekaj sekundah odčitali vsebnost vode. Izmerjeno vrednost smo zapisali v snemalne obrazce pod prvo zaporedno meritvev. Sekance smo nato stresli v zabojnike – v mrežasti valj na sredini zabojnika, ter jih pokrili s 15-20 cm plastjo sekancev. Ker merilnik FMG 3000 meri vsebnost vode v sekancih, smo zaradi možnosti primerjave in nadaljnje obdelave rezultatov vse izmerjene podatke pretvorili v vlažnost lesnih sekancev.

3.4.2 Periodične meritve

- Spremljanje vremenskih razmer

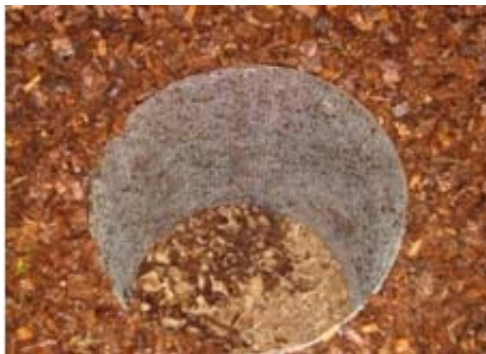
Poleg meritev vlage smo spremljali tudi vremenske razmere v določenem času. Vremenske razmere smo merili s prenosno vremensko postajo, ki ima pripravljen poseben zaklon in je bila nameščena ob skladovnici drv, med zabojnikom št. 1 in zabojnikom št. 2. Na dan posameznih meritev so bile vremenske razmere posebej zabeležene (Priloga C).

- Periodične meritve vlage v lesu – spremljanje vlažnosti lesnih sekancev z merilnikom vlage FMG 3000

V vsakem zabojniku je bil postavljen mrežast valj, ki smo ga predhodno pripravili. Mrežasti valj je bil namenjen enostavnejšemu in natančnejšemu jemanju sekancev. V vsakem zabojniku je bil nameščen tudi senzor za spremljanje temperature sekancev med poizkusom.

Za posamezno meritvev smo potrebovali približno 60 l sekancev. Pri vsaki meritvi smo odstranili zgornjo plast sekancev (cca 15-20 cm) in iz mrežastega valja vzeli sekance ter jih nasuli v merilno posodo. Meritev smo izvedli čim hitreje, sekance pa nato vrnili v mrežasti valj in pokrili s prej odstranjeno plastjo. Sekancev, ki so bili izven mrežastega valja, med meritvijo nismo premikali ali mešali, prav tako ne premikali ali odstranjevali senzorja za temperaturo in vlago. V snemalni list smo zapisovali tudi čas meritve, saj je senzor za

temperaturo in vlago zapisoval temperaturo le v določenih enournih intervalih. S podatkom o času meritve smo naknadno popravili morebitna nihanja v temperaturi in vlagi, ki so bila posledica začasnega odvzema sekancev iz zabojnika.



Slika 17: Mrežasti valj med odzemanjem sekancev

Delež vode smo izmerili na začetku ob pripravi vsakega zaboja, nato pa na vsakih petnajst dni. Vlažnost smo izmerili na predviden datum ali takoj, ko so razmere to dopuščale (ustrezne temperature in brez močnih padavin). Prestavljene meritve smo vpisali pod opombe v snemalnem listu.

- Spremljanje vlažnosti okroglega lesa - meritev z vlagomerom Testo hygrotest 6500

Za ugotavljanje vlažnosti okroglega lesa v skladovnici smo uporabljali nabijalno sondo s kladivom, na koncu katere sta nameščeni merilni elektrodi. Merili smo približno 10 do 15 cm od čela okroglega lesa. Izogibali smo se mestom, kjer so v lesu bile prevelike nepravilnosti: grče, razpoke, poškodovano lubje. Sledilo je nabijanje sonde z merilnima elektrodama v les s pomočjo kladiva – nabijala na sondi. Globino, na kateri smo merili vlažnost lesa, smo kontrolirali z merilno paličico, na kateri je bila skala s pol-centimetrskimi razdelki vgrajena v sondo med elektrodama. V okviru poizkusa smo se dogovorili za merjenje vlage na 2 cm globine v lesu. Zaradi doslednosti pri izmeri vlažnosti smo določili, da bo čas umirjanja vrednosti 5 sekund. Po preteku petih sekund od trenutka, ko smo prenehali z nabijanjem sonde v les, smo odčitali vrednost na prikazovalniku in jo zapisali v razpredelnico. Ta postopek smo ponovili pri vseh sortimentih. Izmerjene vrednosti, izpisane na prikazovalniku, smo vpisali na odstotek

natančno v preglednico – ločeno za vsak kos okroglega lesa. Prvo meritev smo izvedli na debelejšem delu, nato ponovili na tanjšem delu. Meritve smo opravili v enakih časovnih intervalih kot meritve vlažnosti lesnih sekancev.

3.4.3 Zadnja meritev

Meritve vlažnosti lesnih sekancev in okroglega lesa ter spremljanje vremenskih razmer je potekalo dobre 4 mesece in se je zaključilo 4. 9. 2007.

Ob zaključku poskusa smo še zadnjič izmerili vlažnost lesnih sekancev v vseh 4 zabojnikih. Izmerili smo tudi vlažnost okroglega lesa v skladovnici. Dodatno smo iz posameznih zabojnikov vzeli po tri vzorce sekancev (2 kg) za kontrolno metodo – določanje vlage po sušilni metodi. Vzorce smo jemali na vrhu, sredini in na dnu zaboja ter jih ustrezno označili.

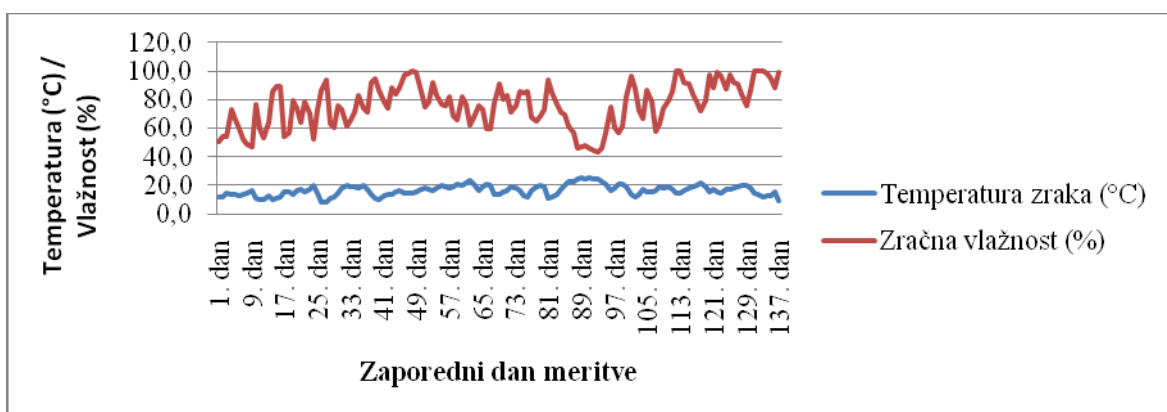
Okrogli les, ki se je sušil v skladovnici, smo zdrobili v lesne sekance. Vsebnost vode izdelanih sekancev smo izmerili z merilnikom FMG 3000 (iz podatkov o vsebnosti vode smo izračunali vlažnosti). Iz kupa sekancev smo nato vzeli 3 vzorce (2 kg) za določitev vlažnosti po sušilni metodi. Senzorje za temperaturo in vlago smo pobrali iz zabojnikov ter na računalnik pretočili zbrane podatke.

4 REZULTATI MERITEV

4.1 VREMENSKI POGOJI

Poleg začetnih, zadnjih in vmesnih periodičnih meritev smo redno spremljali vremenske pogoje (zračno vlažnost in temperaturo zraka) na višini dveh metrov med zabojem št. 1 in zabojem št. 2. Meritve so potekale z vremensko postajo RHTemp110, kjer so se shranjevali podatki, merjeni vsako polno uro 24 ur na dan. Spremljanje temperature in zračne vlage je bilo ključno za interpretacije rezultatov sušenja tako sekancev kot tudi okroglega lesa.

V času izvajanja meritev so bile temperature za pozni spomladanski in poletni čas povprečne, vlažnost pa izredno visoka, saj je v povprečju presegala 75 %. Nadpovprečno število deževnih dni za poletni čas je vplivalo na slabše sušenje sekancev na prostem (v zaboju št. 1) in okroglega lesa.



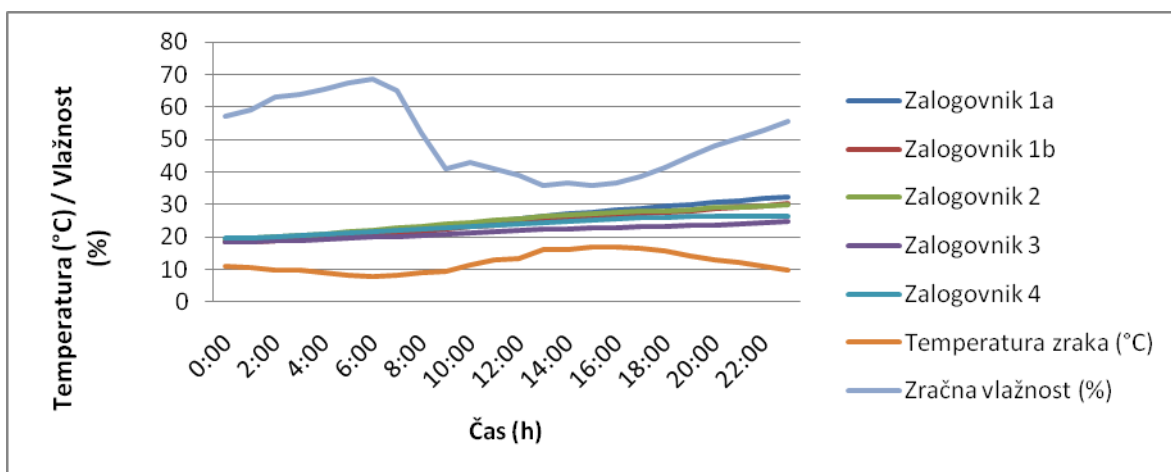
Slika 18: Temperatura in zračna vlažnost v času izvajanja poskusa

4.2 SPREMLJANJE TEMPERATURE IN ZRAČNE VLAŽNOSTI V ZABOJIH

Temperaturni senzorji v vseh zabojih in senzor temperature in vlage v zaboju št. 1 so, kot vremenska postaja skrbeli, da so se meritve izvajale kontinuirano tudi v zabojih. S

pomočjo podatkov smo spremljali nihanja temperature in zračne vlažnosti znotraj zabojnikov in podatke primerjali z ostalimi rezultati meritev.

Na začetku poskusa, ko so bili sekanci še zelo sveži, se je temperatura v kupu sekancev zaradi dihanja še živih celic hitro zvišala, kar kaže tudi slika 19 in preglednica 4 s prvega dne snemanja podatkov z vsemi senzorji. Temperature v zaboju št. 1, ki je bil odprt, so se tekom dne zviševale. Temperatura se je dvignila za 14 °C, kar je v primerjavi z ostalimi zaboji največ. Sekanci v zaboju št. 2, pokritem s paroprepustno folijo, so se ogreli za 10,4 °C. Tretji zaboj ni kazal prevelike spremembe v temperaturi, kar lahko pripisujemo dobremu tesnjenju PVC folije, s katero je bil ovit in pokrit zaboj, saj so se sekanci ogreli le za 5,1 °C. Zadnji, četrti zaboj, je spet pokazal nekoliko višji porast temperature. Zaboj št. 4 je bil nepokrit kot zaboj št. 1, le da je bil hranjen pod streho v suhem, temnem prostoru. Sekanci so se ogreli za 6,2 °C.



Slika 19: Temperatura zraka in sekancev v zalogovnikih ter zračna vlažnost prvi dan meritve (21. 4. 2007)

Dvig temperatur v zabojnikih lahko razložimo z vidika bioloških procesov v kupu sekancev. Ob pripravi sekancev so celice poškodovane in se odzovejo s povišano aktivnostjo, saj se želijo poškodbe popraviti. Poveča se dihanje in sprošča se toplota. Toplota in vlaga v kup privabita mikroorganizme in glive, ki s svojim delovanjem še dodatno proizvajajo toploto. Vse to privede do pospešitve oksidacijskih procesov do

absorpcije vlage, kar povzroči masne izgube. V kupih se tako izgublja energija, ki jo sekanci porabljajo za sušenje samih sebe. Vremenski vplivi na sekance v kupu tako nimajo vpliva.

Ker smo imeli v zalogovniku 1 senzor temperature in vlažnosti ter senzor temperature, smo obe temperaturi v sliki 19 predstavili ločeno pod oznako 1a in 1b. Čeprav sta bila oba senzorja pripeta skoraj na istem mestu, nista izmerila enakih rezultatov. Prikazan je znaten dvig temperature sekancev v zabojnikih. Kljub spreminjanju temperature in vlažnosti zraka temperatura sekancev v zalogovnikih konstantno narašča.

Preglednica 4: Temperatura v zabojnikih dne 21. 4. 2007

Čas (h)	Z1	Z2	Z3	Z4
0:00	18,4	19,3	18,4	19,6
1:00	18,8	19,7	18,5	19,8
2:00	19,1	20	18,7	20,1
3:00	19,6	20,5	19	20,5
4:00	20,1	21	19,2	20,9
5:00	20,6	21,6	19,5	21,3
6:00	21,2	22,2	19,9	21,7
7:00	21,9	22,8	20,2	22,1
8:00	22,6	23,4	20,6	22,6
9:00	23,3	24	21	23
10:00	24,1	24,5	21,4	23,3
11:00	24,8	25,2	21,7	23,7
12:00	25,6	25,7	22,1	24,1
13:00	26,3	26,2	22,3	24,5
14:00	27	26,6	22,6	24,9
15:00	27,7	27	22,7	25,3
16:00	28,3	27,4	22,9	25,6
17:00	28,9	27,8	23,1	25,8
18:00	29,6	28,1	23,2	26,1
19:00	30,1	28,5	23,5	26,3
20:00	30,8	29	23,8	26,4
21:00	31,3	29,3	24,1	26,5
22:00	31,9	29,7	24,4	26,5
23:00	32,4	29,9	24,7	26,5

4.3 PRVA MERITEV: VLAŽNOST SVEŽEGA LESA

Začetno vlažnost svežega lesa smo merili z vlagomerom Testo hygrotest 6500 na desetih različnih kosih okroglega lesa. Na različne odstotke vlažnosti vplivajo tudi različne oblike in velikosti hlodov. Kljub temu, da je bil les v soku, vlažnost ni bila visoka. Srednja vlažnost merjencev je bila 92,3 %. Po opravljeni meritvi so bili vsi hloidi razen desetih zmleti v sekance. Deset tanjših hlodov (8 do 13 cm) smo zložili na kup poleg zabojnikov številka 1, 2 in 3.

Preglednica 5: Začetna vlažnost okroglega lesa

Merjenci	Okrogel les (vlažnost %)
1	93,9
2	94,2
3	91
4	88,4
5	94,7
6	95
7	79,5
8	95,2
9	95,3
10	95,4
Srednja vlažnost okroglega lesa	92,3

Po mletju smo pobrali vzorce svežih sekancev. 5 vzorcev na globini več kot 20 cm smo spravili v PVC vrečke in jih skupaj z vzorcem iz domačega skladišča odnesli na Gozdarski inštitut Slovenije, kjer je bila s postopkom sušilne metode ugotovljena vlažnost (preglednica 6).

Z merilcem vlage FMG 3000 je bila meritev napravljena pred vsakim nasutjem v posamezen zaboj. Merilec točnih meritev ni pokazal, saj meri le količine do 55 % vsebnosti vode. To pomeni, da je vlažnost sekancev znašala najmanj 125 % oziroma več. S tem lahko potrdimo domneve, da sekancev z visoko vsebnostjo vode ne smemo oz. ne

moremo meriti, saj podatki niso točni. Šele z deleži vode pod 50 % lahko govorimo o dokaj točni meritvi merjenca z omenjenim merilcem.

Z različnimi metodami smo prišli do precej velikih razlik v povprečni vlažnosti vstopne surovine, ki je bila (izmerjena s Testo hygrotest 6500) 92,3 %. Rezultati sušilne metode kažejo, da je bila vlažnost sekancev narejenih iz iste surovine nižja in sicer 71,4 %, meritve z merilcem vlage FMG 3000 pa niso bile merodajne, saj je bila vsebnost vode nad 55 %, kar pomeni vlažnost nad 125 % in zato nismo mogli odčitati oz. določiti točne vrednosti.

Preglednica 6: Ugotovljena vlažnost svežega lesa

Vzorec	Masa svežega vzorca (g)	Masa suhega vzorca (g)	razlika (Msv- Msuh) (g)	Vlažnost u (%)
1	109,78	63,7	46,08	72,3
2	113,91	68,39	45,52	66,6
3	153,87	91,34	62,53	68,5
4	104,33	61,22	43,11	70,4
5	111,63	62,34	49,29	79,1
Domači zalogovnik	93,04	69,91	23,13	33,1

4.4 PERIODIČNE MERITVE

Periodične meritve smo razdelili v:

- a) meritve vlažnosti sekancev v zabojnikih in
- b) meritve vlažnosti okroglega lesa v skladišču.

4.4.1 Meritve vlažnosti sekancev v zabojnikih

Merjenje vsebnosti vode v različnih zalogovnikih so pokazale, da so razlike v vsebnosti vode v različno skladiščenih sekancih minimalne. Za zalogovnik 1 velja, da se sekanci zaradi konstantno visoke vlažnosti niso sušili. Najbolj se je spreminjala barva in vonj, ki je prihajal od zaboja. Vlažnost je bila tako visoka, da sta senzorja temperature in vlage ter senzor temperature po kratkem času odpovedala. Senzorja sta bila v zaboju speta na istem mestu, ampak še vedno je pri njima prihajalo do različnih meritev temperature. Zabojnik številka 4, ki prav tako ni bil pokrit, je bil pa shranjen v pokritem in suhem prostoru, v začetku ni kazal velikih razlik v rezultatih, potem pa je iz začetnih 125 % vlažnosti v zadnjih meritvah padel na 50 % vlažnosti. Sekanci so bili sipki, niso kazali znakov gnitja.

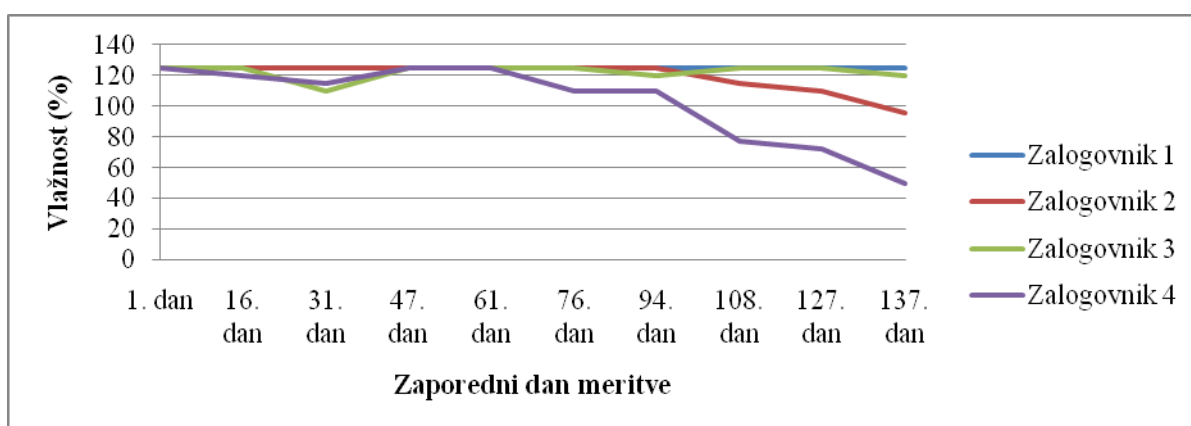
Paroprepustna in PVC folija sta pokrivali drugi in tretji zabojnik. Zadnje tri meritve so bile za paroprepustno folijo ključne, saj so pokazale, da so se sekanci resnično sušili in da stanje v času meritev ni stagniralo. Vlažnost je padla na končnih 95 %. Na PVC foliji se je nabiral kondenz, ki se je v kapljicah vračal nazaj na sekance. Pri paroprepustni foliji kondenza ni bilo. Sprememba barve sekancev in vlažnost na zgornjem sloju je bila pri zaboju številka tri (PVC folija) veliko bolj izrazita. Zaradi z vlago prepojenimi sekanci bi lahko rekli, da sta si bila zabojnik številka ena in vrhnjih 15 centimetrov debel sloj zabojnika številka 3 zelo podobna. Pod 15 centimetrsko plastjo so bili sekanci bolj suhi in brez sprememb barv. V procesu sušenja bistvenih razlik v vsebnosti vode ni bilo in na koncu smo v zabojniku št. 3 zabeležili 120 % vlažnost. Rezultati meritev so prikazani v preglednici 7 in 8 ter na sliki 20.

Preglednica 7: Vsebnost vode v sekancih po zabojnikih

Št. Zalog.	Meritve in datum - vsebnost vode (%)									
	1. (21.4.)	2. (6.5.)	3. (21.5.)	4. (6.6.)	5. (20.6.)	6. (5.7.)	7. (23.7.)	8. (6.8.)	9. (25.8.)	10. (4.9.)
1	nad 55%	nad 55%	nad 55%	nad 55%	nad 55%	nad 55%	nad 55%	nad 55%	nad 55%	nad 55%
2	nad 55%	nad 55%	nad 55%	nad 55%	nad 55%	nad 55%	nad 55%	53%	52%	49%
3	nad 55%	nad 55%	52%	nad 55%	nad 55%	nad 55%	54%	nad 55%	nad 55%	54%
4	nad 55%	54%	53%	nad 55%	nad 55%	52%	52%	45%	44%	38%

Preglednica 8: Vlažnost lesa v sekancih po zabojuh

Št. Zalog.	Meritev in datum - vlažnost lesa (%)									
	1. (21.4.)	2. (6.5.)	3. (21.5.)	4. (6.6.)	5. (20.6.)	6. (5.7.)	7. (23.7.)	8. (6.8.)	9. (25.8.)	10. (4.9.)
1	125%	125%	125%	125%	125%	125%	125%	125%	125%	125%
2	125%	125%	125%	125%	125%	125%	125%	115%	110%	95%
3	125%	125%	110%	125%	125%	125%	120%	125%	125%	120%
4	125%	120%	115%	125%	125%	110%	110%	77%	72%	50%
Povp.	125	123,75	118,75	125	125	121,25	120	110,475	108,075	97,55



Slika 20: Vlažnost sekancev po zabojuh

4.4.2 Spremljanje vlažnosti okroglega lesa

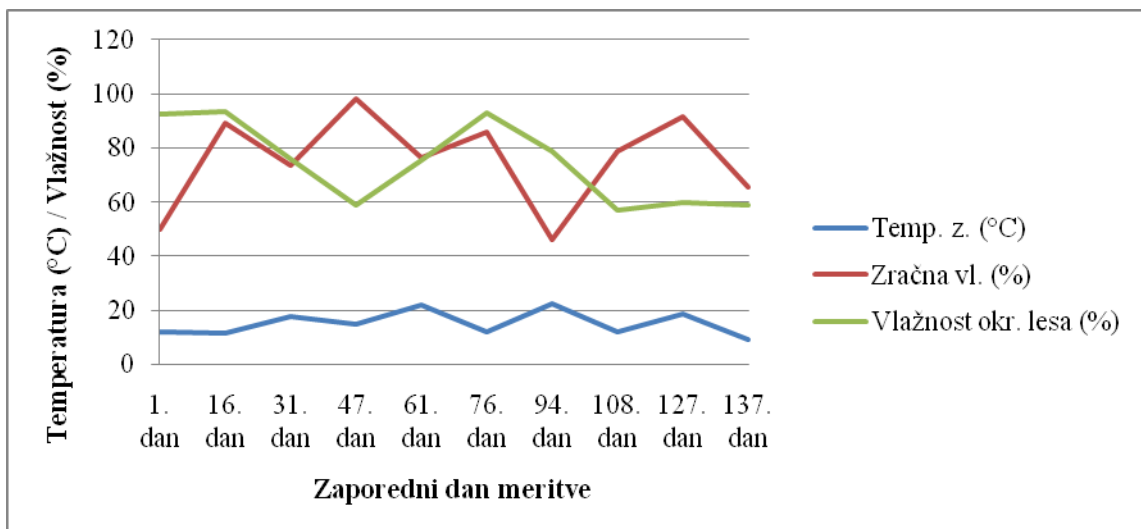
Spremljali smo vlažnost bukovega lesa. Meritve so bile opravljene z nabijalno sondo Testo hygrottest 6500.

Gostota, vlažnost in prisotnost napak v lesu vplivajo na različno »mehkobo« zabijanja sonde. Problemi so nastajali predvsem pri odčitavanju podatkov, saj so meritve pri bolj vlažnem lesu vedno padale in se niso ustavile niti po parih minutah, čeprav smo rezultate odčitali po prej dogovorjenih 5 sekundah. Pri suhem lesu so se podatki meritve umirili v nekaj sekundah.

Rezultati v preglednici 9 kažejo velika nihanja v vlažnosti. Ker okrogli les ni bil pokrit in s tem neposredno podvržen vsem vremenskim vplivom, je to popolnoma razumljivo. Najmanjša izmerjena vlažnost ni bila izmerjena na koncu meritev, ampak 6. 8. 2007 na goli številka 4, kjer je vlažnost znašala 37,6 %. Najvišja vlažnost tega dne je bila na goli številka 1, ki je znašala 74,2 %. Najvišjo vlažnost je pokazal hlood številka 2 na drugi meritvi 6. 5. 2007, kjer je znašala 110 %. Povprečna vlažnost okroglega lesa je zadnji dan poskusa, tik pred mletjem, znašala 59 %. Goli so se v pretečenem času sušile, vremenski vplivi pa so na njih delovali z zamikom, kar je razvidno iz slike 21. Povprečna temperatura zraka na sušenje ni imela bistvenega vpliva. Meritve so potrdile dejstvo, da se okrogli les suši slabše, če je v nepokriti skladovnici, kar je bilo dokazano že z poskusom leta 2004 (Spruk, 2006).

Okrogel les (vl. %) / dan	21.4. 2007	6.5. 2007	21.5. 2007	6.6. 2007	20.6. 2007	5.7. 2007	23.7. 2007	6.8. 2007	25.8. 2007	5.9. 2007
1	93,9	101	74,5	57,4	88,5	105,4	100,2	74,2	59,8	86,5
2	94,2	110	98,6	67,7	79,7	81	61,3	52,1	59,5	43,2
3	91	88	76,9	65	76,3	85,6	89,2	67,6	78,4	48
4	88,4	83,5	65,5	46,7	58,9	81,9	77,1	37,6	54,4	67,1
5	94,7	88	72	48,2	66	106,6	100,8	61,4	60,3	66,4
6	95	86	76,3	65,3	68,3	94,2	73,2	42,7	59,2	57,5
7	79,5	88,5	71,6	47,1	68,1	85,1	60,4	41	69,9	50,4
8	95,2	80	69,2	57,7	80	95,4	74,1	64,2	46	49,6
9	95,3	102	80,3	74	88,5	91	72,5	58,1	53,2	69,4
10	95,4	109	74,8	58,8	79,3	102,1	79,3	69,2	56,6	51,3
Povp. vlažnost	92,3	93,6	76,0	58,8	75,4	92,8	78,8	56,8	59,7	58,9

Preglednica 9: Vlažnost drobnega okroglega lesa bukve



Slika 21: Povprečna vlažnost in temperatura zraka s povprečno vlažnostjo okroglega lesa

4.5 ZADNJA MERITEV – KONTROLNA MERITEV

Zadnja meritev je potekala po načinu periodičnih meritev. Izmerili smo vlažnost lesnih sekancev v posameznih zabojih in izmerili vlažnost goli. Podatki zadnje meritve okroglega lesa (4. 9. 2007) so prikazani v preglednici 9. Podatke smo vnesli v popisne liste ter zadnjič pretočili podatke iz senzorjev (vremenske postaje in stalno nameščenih senzorjev v zabojih) na računalnik. Med praznjenjem zabojev smo odvzeli vzorce iz vrha, sredine in dna vsakega zaboja. Goli smo odpeljali na deponijo podjetja Biomasa d.o.o., kjer so jih zmleli. Merilnik FMG 3000 je po mletju ponovno izmeril 55 % vsebnost vode (125 % vlažnost), kar pomeni, da ta naprava ni primerna za merjenje materialov z višjo vsebnostjo vode.

Kot iz zabojev smo tudi iz kupa vzeli tri vzorce po približno 2 kilograma sekancev in jih odnesli v laboratorij, kjer smo izmerili vlago po sušilni metodi. Podatki, predstavljeni v preglednici 10 nam pokažejo stanje vlažnosti v času sušenja na prerezu zaboja in vlažnost okroglega lesa. Vsak vzorec nam prinaša zanimive rezultate; najlažje si jih razlagamo grafično, kot je prikazano na sliki 26.

Vlažnost v *zaboju številka ena* je bila povsod približno enaka in v povprečju znašala 137,4 %. Zavedati se moramo, da so bili meseci meritev izjemno deževni in da sekanci v zaboju niso bili zavarovani pred vremenskimi vplivi. Sekanci so imeli vonj po trohnobi, barva je bila temna in ne glede na lego sekancev v zabojniku je bila vlažnost visoka. Zaradi konstantno visoke vlažnosti sta nam odpovedala oba senzorja temperature in vlage v zabojniku. Sredinska plast je bila najbolj »suha«, dno pa zaradi vezanega lesa ni prepuščalo vlage in je vzorec sekancev vseboval 139,3 % vlažnosti.



Slika 22: Zaboj št. 1

Drugi zaboj je bil pokrit s paroprepustno folijo. Od vrha zaboja, kjer je vlažnost znašala 49,4 % do dna, kjer smo izmerili 42,8 %, vlažnost pada. Na vrhu nismo zaznali spremembe barve in vonja sekancev. Za poskus smo uporabili primer strešne paroprepustne folije, ki deluje kot sekundarna kritina oz. pri fasadah kot vetrna (zračna) zapora. S tem se zmanjšuje možnost kondenzacije vlage pod streho, kar je bilo v našem primeru vidno kot suha zgornja plast sekancev. Skozi celoten zaboj je bila vlaga približno enaka, kar pomeni, da je paroprepustna folija, ki v praksi pri prezračevanih strehah in fasadah omogoča prehod vodni pari iz toplotne izolacije, dobro opravila svojo nalogo.



Slika 23: Zaboja št. 2

Tretji zaboja je bil pokrit s PVC folijo, ki je znana po svoji neprepustnosti. Rezultati meritev so pokazali, kako je s segrevanjem sekancev vlaga prihajala do vrhnje plasti, kjer se je iz pare spremenila v vodne kapljice, ki so se nabrale na spodnji strani folije. Te so kapljale na zgornjo plast sekancev, ki je zaradi tega ostala vlažna, sekanci na vrhu pa so začeli gniti, imeli pa so tudi neprijeten vonj. Zgornja plast je s tem delovala kot izolator, zato sta bili spodnji dve plasti, predvsem najnižja, izrazito bolj suhi od zgornje.



Slika 24: Zaboja št. 3

Sekanci v *četrtem, nepokritem zaboju*, ki je bil hranjen pod streho v temnem in suhem prostoru, ni kazal bistvenih razlik v vlagi med plastmi. Ta je konstantno, a po vrednosti le malo padala. Vremenske razmere na sušenje sekancev niso imele vpliva. Sekanci s povprečno vlažnostjo 37,7 % so bili najbolj suhi – sekanci so v času našega poskusa

zmanjšali vlažnost za 33,7 %. Taki sekanci bi bili že primerni za uporabo v srednjih ali velikih kotlih na lesno biomaso.

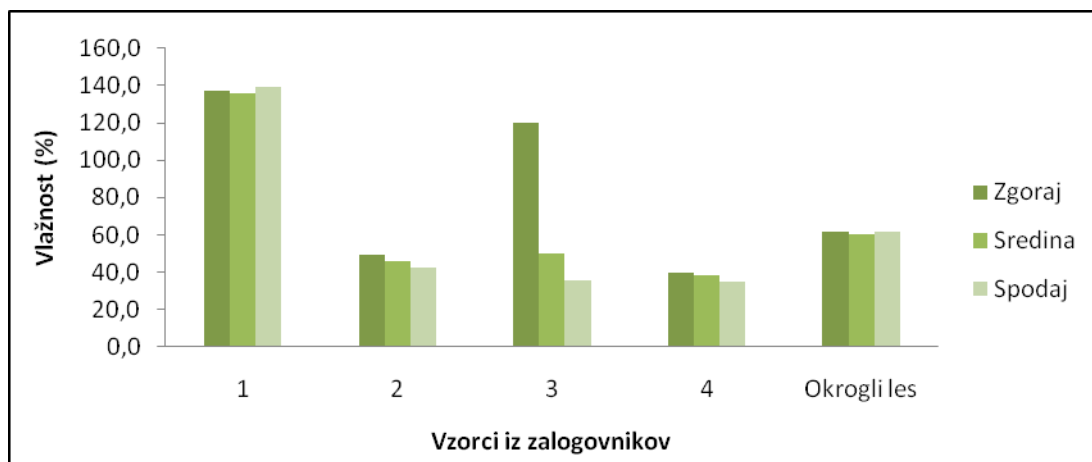


Slika 25: Zaboj št. 4

Zmlet droben les s povprečno vlažnostjo 61,1 % se je po vrednosti uvrstil med zaboj številka dve in tri. V primerjavi z ostalimi zaboji so bili rezultati odlični, saj smo brez stroškov med skladiščenjem prišli do razmeroma suhih sekancev. V kolikor bi okrogli les ustrezno pokrili, bi bila razlika v vlažnosti sekancev ob zaključku meritev zagotovo še večja.

Preglednica 10: Vlažnost sekancev na različnih mestih v zalogovnikih

Zalogovnik	1	2	3	4	Okrogli les
Zgoraj	137,5	49,4	119,8	40,1	61,7
Sredina	135,5	45,7	50,1	38,1	60,0
Spodaj	139,3	42,8	35,6	35,0	61,7
Povprečje	137,4	46,0	68,5	37,7	61,1



Slika 26: Končna vlažnost sekancev na različnih mestih v zalogovnikih

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

Predmet raziskave diplomske naloge je bilo spremljanje sušenja sekancev v različnih pogojih in primerjava sušenja sekancev s sušenjem okroglega lesa. Naš cilj je bil pripraviti nekaj osnovnih usmeritev za čas izdelave in sušenje sekancev, saj vsebnost vode v sekancih najbolj vpliva na njihovo kakovost in pri uporabnikih pogosto predstavlja velike težave. Zaradi majhnosti vzorca ne moremo govoriti o popolni reprezentativnosti rezultatov. Z večanjem števila vzorcev in lokacij meritev bi prišli do natančnejših in zanesljivejših rezultatov. Prikazani so samo rezultati, dobljeni s sušilno metodo, ker smo s pomočjo le-te dobili najbolj natančne rezultate. V sušilno metodo smo zajeli tudi sekance, izdelane iz okroglega lesa na koncu poskusa.

Pri izvedbi poskusa nam je nekoliko zagodlo vreme, ki je bilo skozi celotno obdobje sušenja nadpovprečno deževno in vlažno.

- Prva hipoteza: *Sekanci v zaprtem prostoru bodo bolj suhi kot sekanci na odprtem.* Na osnovi rezultatov meritev vlažnosti sekancev in okroglega lesa, ki se je sušil vzporedno z lesnimi sekanci, lahko ugotovimo, da je hipoteza potrjena.

Če primerjamo sekance, skladiščene v odprtem zalogovniku na prostem, in sekance, skladiščene v odprtem zalogovniku v pokritem prostoru, vidimo, da je razlika v vlažnosti 99,7 %. Najmanjše razlike opazamo med pokritimi sekanci zunaj in sekanci v zaprtem prostoru.

V zalogovniku številka 1, ki je bil poleg okroglega lesa vremenskim razmeram neposredno izpostavljen, je vlažnost iz začetne 71,4 % poskočila na 137,4 %. Sekanci v zabojniku št. 3, pokritem s PVC folijo, so se osušili le za 2,9 %. Sekanci se niso sušili enakomerno in zaradi tega je prišlo med plastmi do večjih odstopanj. Zanimivo je, da so imeli na dnu zabojnika št. 3 sekanci le za 0,6 % višjo vlažnost kot sekanci na dnu zabojnika št. 4 v zaprtem prostoru. Intenzivno sušenje v spodnjem delu zabojnika pod PVC folijo nam je povprečni rezultat le delno izboljšalo, saj je bila razlika med zgornjim in spodnjim slojem

sekancev 84,2 % vlažnosti. Folija vlage ni prepuščala in sušenja na površini ni bilo, saj se je tam zadrževala vsa vlaga. Najmanjša razlika v vlažnosti je bila med zaboju 2 in 4. Razlika je po opravljeni sušilni metodi znašala 8,3 %. Sekanci v zaboju 2 so se sušili enakomerneje, a počasneje od sekancev v zaboju 4. Paroprepustna folija je opravila odlično delo. Sekanci so odvajali vlago, ki je izhlapevala iz zabojnika.

- Druga hipoteza: *Okrogel les na skladišču se bo sušil bolje kot izdelani sekanci.* To hipotezo smo le delno potrdili, saj so imeli sekanci v dveh zalogovnikih (zalog. 1 in 3) nižjo vlažnost kot sekanci iz okroglega lesa. Pred mletjem je imel okrogel les povprečno vlažnost 58,9 % (Testo hygrotest 6500), po opravljenem mletju pa so imeli sekanci iz okroglega lesa povprečno vlažnost 61,1 % (sušilna metoda). Dejstvo je, da se je okrogli les na prostem bolje sušil kot sekanci v zaboju 1 (na prostem in nepokriti – sušenje v enakih pogojih kot okrogli les).

Okrogli les in zaboju št. 1 sta bila neposredno podvržena vremenskim vplivom. Med končno izdelanimi sekanci iz okroglega lesa in sekanci v zaboju 1 je bila razlika v vlažnosti velika, in sicer 76,3 %. V primerjavi s PVC folijo takšne velike razlike ni bilo, saj so bili ti sekanci pokriti (razlika le 7,4 %). Sekanci v zalogovniku št. 2 in 4 so bili bolj suhi od sekancev iz zmlatega okroglega lesa. Rezultat pripisujemo dobremu odvajanju vlage paroprepustne folije (razlika 15,1 %) ter zaprtemu prostoru, kjer vremenske razmere niso imele vpliva (razlika 23,4 %). Predvidevamo, da je glavni razlog za take rezultate dejstvo, da skladovnica okroglega lesa ni bila pokrita in da je bilo v času našega poskusa izrazito veliko padavin.

6 POVZETEK

Z analizo izmerjenih podatkov smo ugotavljali vpliv načina shranjevanja gozdnih lesnih sekancev na njihovo vlažnost. Najbolj so se sekanci sušili v nepokritem zabojniku (zabojnik 4), ki je bil postavljen pod streho, na suhem in zračnem prostoru. Vlaga znotraj zabojnika je padala konstantno, saj vremenske razmere na sušenje niso imele vpliva. Zunaj je bilo stanje ravno obratno. Nepokriti sekanci v zabojniku 1 se zaradi vremenskih vplivov niso uspeli sušiti. Rešitev z obema folijama je samo delna, saj s PVC folijo ne pridobimo dovolj uspešnih rezultatov, paroprepustna pa izgubo vlažnosti sekancev sicer omogoča, ampak je za pokrivanje predraga. Okrogli les se je kljub izpostavljenosti vremenu osušil zadovoljivo, vendar bi bilo za boljše rezultate potrebno ves les pokriti in zaščititi pred dežjem.

Rezultatov raziskave ne moremo širše posploševati, saj bi za večjo zanesljivost potrebovali več vzorcev ali ponovitev poskusa. Ker pa se skladiščenju sekancev ne moremo izogniti, je vseeno potrebno doreči najprimernejšo obliko skladiščenja. To je hranjenje sekancev v pokritem, suhem in zračnem prostoru. Če te možnosti nimamo, naredimo kup sekancev in jih pokrijemo. Površina kupa naj bo čim manjša, da se lahko sušenje čim prej začne. Zaradi nabiranja vlage v zgornjih slojih moramo poskrbeti, da ob lepem in sončnem vremenu kup odkrijemo in na tak način omogočimo sušenje gornje plasti. Na ta način bomo prišli do najbolj optimalne rešitve in s tem do najbolj suhe lesne snovi.

V Evropi že obstajajo biomasni logistični in trgovski centri, ki se ukvarjajo s skladiščenjem in prodajo vseh oblik lesnih goriv po zajamčeni kakovosti. Upamo, da bodo slovenski kmetje, ostali lastniki gozdov in končno tudi kupci videli v tem možnost samooskrbe z zeleno energijo in s tem dodali vrednost gozdnim proizvodom.

7 VIRI

Butala V., Turk J. 1998. Lesna biomasa – neizkoriščeni domači vir energije. Ljubljana, Femopet Slovenija.

<http://www.aure.gov.si/eknjiznica/V5-biomasa.pdf> (19. avg. 2010).

Čebul T., Krajnc N. 2011. Proizvodnja lesnih sekancev v Sloveniji.

<http://www.e-m.si/media/eges/casopis/2011/5/64.pdf> (5. jan. 2012)

DuPont™. Tyvek® Supro Grid. 2012.

http://www2.dupont.com/Tyvek_Construction/sk_SI/products/roofing/supro_grid.html
(29. jan. 2012)

FMG 3000: navodila za uporabo.

<http://www.livingenergy.co.nz/product/16/exotek-moisture-meters/13/fmg-3000-chip-meter.aspx> (25. avg. 2011).

Hygrotest 6500 Hygrometer Messgerät Testo Testoterm.

http://www.ebay.de/itm/ws/eBayISAPI.dll?ViewItem&item=180653466151&clk_rvr_id=314356469304 (7. feb. 2012).

iButton.

<http://www.maxim-ic.com/datasheet/index.mvp/id/4088> (25. avg. 2011).

Katere prednosti pred fosilnimi gorivi ima les? 2005.

http://www.enerles.si/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=2&Itemid=8 (25. avg. 2010)

Kopše I., Krajnc N. 2005. Ogrevanje z lesom. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije, Agencija za učinkovito rabo in obnovljive vire energije, Gozdarski inštitut Slovenije: 37 str.

Krajnc N., Krajnc R. 2003. Tehnologije pridobivanja lesnega kuriva. Gozd in obnovljivi viri, 4: 9-11.

Krajnc N. in sod. 2009. Lesna goriva: drva in lesni sekanci: proizvodnja, standardi kakovosti in trgovanje. Ljubljana. Založba Silva Slovenica: 81 str.

Krajnc N., Piškur M. 2011. Kakovost lesnih goriv: drva in lesni sekanci. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, Založba Silva Slovenica: 23 str.

Lesna biomasa, les kot gorivo. 2005. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije.

<http://www.biomasa.zgs.gov.si/?p=les> (19. avg. 2011)

Lesna biomasa, trenutna raba lesne biomase. 2005. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije.

http://www.biomasa.zgs.gov.si/index.php?p=les_raba (19. avg. 2011)

Piškur M., Krajnc N., Čebul T. 2011. Market statement 2011 : Slovenia. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije.

<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/timber/country-info/Slovenia.pdf> (12. jan. 2012)

Plavčak V. P., Raner D., Žebeljan D. 2009. Možnosti izrabe lesne biomase v manjših večgeneracijskih objektih v Sloveniji. V: Obnovljivi viri energije (OVE) v Sloveniji. Volfand, J. (ur.). Celje, Fit media. 81-89.

Poročilo Zavoda za gozdove Slovenije o gozdovih za leto 2009. 2010. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije.

http://www.zgs.gov.si/fileadmin/zgs/main/img/PDF/LETNA_POROCILA/Porgozd09a3.pdf (21. avg. 2010).

RHTemp 110, merilec vlage in temperature.

http://www.madgetech.com/pdf_files/data_sheets/rhtemp110_ds.pdf (21. avg. 2010).

Splošni podatki in dejstva o gozdovih v Sloveniji. 2010. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije.

<http://www.zgs.gov.si/slo/gozdovi-slovenije/index.html> (21. avg. 2010).

Spruk J. 2006. Pridobivanje in sušenje polen: diplomsko delo - visokošolski strokovni študij = Production and drying of wood logs : graduation thesis - higher professional studies. Ljubljana: [J. Spruk]: IX, 42 str.

Poraba obnovljivih virov energije in odpadkov, Slovenija, letno. 2011. Ljubljana, Statistični urad Republike Slovenije.

<http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/Saveshow.asp> (4. jan. 2012).

Testo hygrotest 6500: navodila za uporabo. 1987. Ljubljana, Tehnunion: 12 str.

Turk M. 2010. Kurilna vrednost lesa in fosilnih goriv.

http://www.kurjava.si/blog/Kurilna_vrednost_lesa/ (10. feb. 2011).

Wood and Timber FMG 3000 – Moisture Meter for Wood Chips.

<http://www.exotek-instruments.com/Moisture-meters/Wood-Chips/FMG3000e.htm> (7. feb. 2012).

ZAHVALA

Hvala mentorju prof. dr. Boštjanu Koširju in somentorici dr. Nike Krajnc za strokovno pomoč – mnenja, razlage, opombe, navodila.

Hvala Gozdarskemu inštitutu Slovenije za opremo in pomoč pri meritvah.

Hvala moji dragi Valentini, ki mi je celotno diplomo stala ob strani in me spodbujala.

Hvala staršem, ki so mi omogočili študij.

Hvala vsem ostalim, ki so kakorkoli pomagali pri nastajanju diplomske naloge.

Rosc J. Vpliv načina shranjevanja gozdnih lesnih sekancev na njihovo vlažnost.

Dipl. delo. Ljubljana, Univerza v Lj., Biotehniška fak., Odd. za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 2012

PRILOGE

Priloga A: Povprečne dnevne meritve senzorjev

Dan	Zalogovnik 1a / dan	Zalogovnik 1b / dan	Zalogovnik 2 / dan	Zalogovnik 3 / dan	Zalogovnik 4 / dan	Temperatura zraka (°C)	Zračna vlažnost (%)
21.4.2007	25,2	24,0	25,0	21,6	23,6	12,0	50,1
22.4.2007	34,4	32,0	30,4	25,9	25,7	11,7	54,4
23.4.2007	33,4	31,3	30,7	26,8	24,5	14,3	54,0
24.4.2007	33,3	31,7	31,9	28,4	25,0	13,4	72,8
25.4.2007	32,0	30,7	30,9	28,0	25,8	13,4	65,9
26.4.2007	30,0	29,0	29,8	26,9	26,1	12,5	59,6
27.4.2007	28,3	27,5	28,7	25,8	25,9	13,4	52,3
28.4.2007	27,5	27,0	28,1	25,4	25,8	14,5	48,5
29.4.2007	28,0	27,6	28,6	25,9	26,0	16,0	47,2
30.4.2007	28,4	28,1	28,1	26,3	25,7	11,1	76,3
1.5.2007	26,9	26,3	26,2	24,5	24,5	10,3	59,3
2.5.2007	24,2	23,5	23,8	22,3	22,8	9,6	52,8
3.5.2007	22,8	22,2	22,6	21,2	21,6	12,4	64,4
4.5.2007	22,4	22,0	21,9	20,9	21,1	9,7	86,0
5.5.2007	22,3	22,1	20,9	20,0	20,7	10,9	89,0
6.5.2007	22,2	22,1	20,2	19,7	20,5	11,6	89,1
7.5.2007	22,3	22,3	19,7	19,6	20,1	15,2	54,6
8.5.2007	22,8	23,0	20,1	20,3	20,1	15,5	56,5
9.5.2007	23,6	24,0	20,8	21,3	20,5	13,9	79,5
10.5.2007	24,5	24,8	21,3	21,8	21,1	16,2	73,7
11.5.2007	25,2	25,5	22,1	22,6	21,9	17,2	64,0
12.5.2007	26,1	26,5	23,1	23,5	22,6	15,2	78,4
13.5.2007	26,6	26,7	23,5	23,6	22,8	17,1	70,7
14.5.2007	26,8	27,0	24,2	24,2	23,0	19,7	52,3
15.5.2007	27,7	28,0	25,2	25,0	23,4	14,5	73,3
16.5.2007	27,2	26,8	24,1	23,2	22,8	8,5	86,9
17.5.2007	23,8	23,0	21,1	19,4	20,9	8,5	94,0
18.5.2007	21,1	20,6	18,9	17,4	19,2	11,3	63,3
19.5.2007	19,4	19,3	17,7	16,7	18,2	12,0	60,6
20.5.2007	18,8	18,9	17,6	16,7	18,0	14,4	75,4
21.5.2007	18,9	19,1	18,3	17,6	18,4	17,8	73,4
22.5.2007	20,1	20,3	19,7	19,4	19,3	20,3	61,4
23.5.2007	22,1	22,5	21,9	21,9	20,7	19,2	65,5
24.5.2007	24,5	25,1	23,7	23,9	22,2	18,7	71,6
25.5.2007	26,7	27,3	25,2	25,1	23,7	17,7	83,2
26.5.2007	28,3	28,8	26,0	25,6	24,9	19,7	73,6

27.5.2007	29,7	30,2	27,0	26,3	25,9	17,2	71,2
28.5.2007	31,0	31,3	27,2	25,4	26,1	13,9	91,6
29.5.2007	30,1	30,0	26,1	23,4	25,2	10,5	94,4
30.5.2007	28,1	27,8	24,2	21,0	23,5	9,8	86,2
31.5.2007	26,1	25,6	22,3	19,1	21,9	12,7	78,1
1.6.2007	24,7	24,5	21,6	18,9	21,2	13,6	74,2
2.6.2007	24,5	24,4	21,7	19,4	21,1	13,4	88,1
3.6.2007	24,7	24,8	22,1	19,9	21,4	15,7	83,5
4.6.2007	25,1	25,3	23,0	21,1	22,0	16,0	88,4
5.6.2007	26,4	26,4	24,5	22,6	22,8	14,8	97,0
6.6.2007	26,6	27,2	25,6	23,3	23,3	14,9	98,0
7.6.2007	28,1	28,4	26,6	23,4	23,5	14,3	100,0
8.6.2007	27,7	27,7	27,2	23,5	23,8	15,1	99,0
9.6.2007	25,8	26,1	27,9	24,0	24,1	17,0	85,6
10.6.2007	26,1	26,4	29,0	25,1	24,6	18,2	75,3
11.6.2007	27,1	27,2	30,6	26,5	25,2	17,3	78,2
12.6.2007	27,1	26,7	31,5	27,2	25,9	16,7	92,3
13.6.2007	26,8	26,7	31,8	27,6	26,4	18,4	83,5
14.6.2007	27,7		32,4	28,5	27,0	19,4	76,7
15.6.2007	28,8		33,0	29,7	27,8	19,1	75,4
16.6.2007	29,9		32,7	29,6	28,4	18,3	81,8
17.6.2007	30,2		32,5	29,9	28,7	19,0	68,8
18.6.2007	30,4		32,7	30,6	29,1	20,5	66,2
19.6.2007	30,6		33,0	31,1	29,5	19,5	82,5
20.6.2007	29,9		31,3	30,4	28,9	21,9	76,5
21.6.2007	30,7		32,6	31,9	29,8	23,2	62,1
22.6.2007	31,8		33,2	32,2	30,6	20,6	67,8
23.6.2007	32,2		32,2	30,9	30,2	16,1	75,5
24.6.2007	31,1		29,5	28,1	28,9	19,3	73,4
25.6.2007	30,0		29,4	28,3	28,7	21,1	59,3
26.6.2007	29,9		30,7	30,2	29,5	20,3	59,3
27.6.2007	30,2		29,9	29,3	29,3	13,7	78,0
28.6.2007	28,8		26,2	25,1	27,5	13,2	91,1
29.6.2007	26,8		24,7	23,5	26,1	15,8	79,9
30.6.2007	25,8		24,9	24,0	25,9	16,1	83,4
1.7.2007	25,6		25,6	25,1	26,3	18,9	71,3
2.7.2007	25,8		27,2	27,2	27,3	18,4	75,4
3.7.2007	26,5		28,3	28,0	28,1	16,2	85,7
4.7.2007	26,8		28,1	27,6	28,0	12,7	85,0
5.7.2007	25,7		24,8	23,3	26,0	12,0	86,0
6.7.2007	24,3		22,6	21,4	24,3	16,0	67,9
7.7.2007	23,3		23,1	22,7	24,4	19,2	64,6

8.7.2007	23,5		25,1	25,7	26,1	19,5	69,0
9.7.2007	24,3		27,5	28,7	28,1	19,0	73,4
10.7.2007			28,3	28,7	28,5	10,9	94,2
11.7.2007			24,3	23,8	25,9	11,8	85,1
12.7.2007			22,1	21,7	23,9	13,7	77,0
13.7.2007			22,0	22,1	23,7	16,9	71,4
14.7.2007			23,6	24,2	24,9	20,0	69,9
15.7.2007			26,4	27,5	27,1	22,9	61,7
16.7.2007			30,0	31,4	29,5	23,0	56,7
17.7.2007			32,4	32,7	30,9	24,7	46,5
18.7.2007			33,1	32,9	31,3	24,9	46,6
19.7.2007			33,0	32,8	31,6	24,6	48,3
20.7.2007			32,9	32,8	31,7	25,6	45,8
21.7.2007			32,6	32,7	31,8	24,3	43,8
22.7.2007			31,9	31,7	31,6	23,9	43,1
23.7.2007			30,8	30,6	31,2	22,4	46,0
24.7.2007			30,7	30,2	30,8	20,8	56,8
25.7.2007			27,8	27,1	29,5	16,3	75,3
26.7.2007			25,9	24,7	27,6	18,3	60,2
27.7.2007			26,2	24,8	27,3	20,9	56,5
28.7.2007			27,4	26,3	28,1	21,2	61,4
29.7.2007			28,2	27,8	29,0	18,8	82,5
30.7.2007			27,0	27,1	28,6	13,3	96,6
31.7.2007			22,8	22,0	25,7	11,5	87,7
1.8.2007			20,1	19,1	22,8	13,8	72,6
2.8.2007			20,1	19,2	22,2	17,2	66,7
3.8.2007			21,6	20,6	23,0	15,1	86,9
4.8.2007			21,5	21,2	24,0	15,4	78,6
5.8.2007			21,4	21,2	24,0	16,4	58,1
6.8.2007			22,2	20,7	23,4	18,5	63,3
7.8.2007			23,7	22,3	24,5	18,1	74,4
8.8.2007			24,9	24,4	25,6	18,8	79,7
9.8.2007			25,6	25,7	26,5	17,2	85,9
10.8.2007			24,5	25,0	26,2	14,3	99,8
11.8.2007			23,1	23,1	24,8	14,4	100,0
12.8.2007			22,4	22,1	24,1	16,7	92,2
13.8.2007			23,4	23,0	24,5	17,8	90,7
14.8.2007			24,6	24,4	25,4	19,0	83,7
15.8.2007			25,8	26,0	26,3	20,1	78,2
16.8.2007			27,3	27,5	27,2	21,4	72,2
17.8.2007			28,0	28,7	28,2	19,1	79,3
18.8.2007			26,6	26,4	27,6	15,2	97,1

19.8.2007			24,2	23,7	25,9	17,5	88,9
20.8.2007			24,0	23,7	25,3	15,0	99,6
21.8.2007			23,1	22,5	24,6	14,9	96,7
22.8.2007			22,9	22,3	23,9	17,3	87,3
23.8.2007			23,9	23,3	24,3	17,3	97,9
24.8.2007			24,2	23,8	24,9	17,7	92,4
25.8.2007			24,8	24,6	25,1	18,6	91,5
26.8.2007			25,2	25,3	25,7	19,7	83,9
27.8.2007			25,6	25,7	25,9	19,6	75,8
28.8.2007			25,7	26,0	25,9	18,2	86,8
29.8.2007			24,6	24,7	25,4	14,4	100,0
30.8.2007			22,7	22,3	24,0	13,3	100,0
31.8.2007			20,7	19,8	22,3	12,2	100,0
1.9.2007			19,3	18,3	20,6	12,4	98,3
2.9.2007			18,5	17,7	19,5	12,4	94,6
3.9.2007			18,3	17,9	19,1	15,1	88,3
4.9.2007			18,5	18,4	19,2	9,3	98,9

Priloga B: Prikaz dnevnih meritev

Datum	Ura	Zal. 1a	Zal. 1b	Zal.1b	Zal. 2	Zal3	Zal. 4	T.(C°)	Z. VI (%)
21/04/2007	0:00	18,4	18,3	102	19,3	18,4	19,6	11,1	57
21/04/2007	1:00	18,8	18,6	103	19,7	18,5	19,8	10,4	59
21/04/2007	2:00	19,1	18,9	102	20	18,7	20,1	9,9	63
21/04/2007	3:00	19,6	19,3	102	20,5	19	20,5	9,9	64
21/04/2007	4:00	20,1	19,7	102	21	19,2	20,9	8,9	65,5
21/04/2007	5:00	20,6	20,2	102	21,6	19,5	21,3	8,2	67,5
21/04/2007	6:00	21,2	20,7	102	22,2	19,9	21,7	7,8	68,5
21/04/2007	7:00	21,9	21,2	102	22,8	20,2	22,1	8,4	65
21/04/2007	8:00	22,6	21,8	102	23,4	20,6	22,6	9	52
21/04/2007	9:00	23,3	22,4	101	24	21	23	9,6	41
21/04/2007	10:00	24,1	23,1	101	24,5	21,4	23,3	11,3	43
21/04/2007	11:00	24,8	23,7	102	25,2	21,7	23,7	12,9	41
21/04/2007	12:00	25,6	24,4	103	25,7	22,1	24,1	13,4	39
21/04/2007	13:00	26,3	25	101	26,2	22,3	24,5	16,1	36
21/04/2007	14:00	27	25,6	101	26,6	22,6	24,9	16	36,5
21/04/2007	15:00	27,7	26,2	101	27	22,7	25,3	16,8	36
21/04/2007	16:00	28,3	26,7	101	27,4	22,9	25,6	16,9	36,5
21/04/2007	17:00	28,9	27,2	101	27,8	23,1	25,8	16,6	38,5
21/04/2007	18:00	29,6	27,7	99	28,1	23,2	26,1	15,6	41,5
21/04/2007	19:00	30,1	28,1	100	28,5	23,5	26,3	14,3	45
21/04/2007	20:00	30,8	28,7	102	29	23,8	26,4	13	48
21/04/2007	21:00	31,3	29,2	101	29,3	24,1	26,5	12,1	50,5
21/04/2007	22:00	31,9	29,7	100	29,7	24,4	26,5	10,9	53
21/04/2007	23:00	32,4	30,2	101	29,9	24,7	26,5	9,9	55,5

Priloga C: Opis vremenskih razmer in ura meritev goli in zabožnikov

Meritev	Datum	Čas	Vreme	Položaj gumbov na merilniku vlage	Opombe
1	21.4.2007	14.00-14.05	sončno	Gumb I- 2(temp), gumb II- 3(vlag)	
2	6.5.2007	16.50-16.55	oblačno	Gumb I- 2(temp), gumb II- 3(vlag)	Prestavljena meritev za en dan
3	21.5.2007	6.50-7.00	sončno	Gumb I- 2(temp), gumb II- 3(vlag)	Prestavljena meritev za en dan
4	6.6.2007	7.35-7.40	oblačno	Gumb I- 2(temp), gumb II- 3(vlag)	Prestavljena meritev za en dan
5	20.6.2007	8.10- 8.40	sončno	Gumb I- 2(temp), gumb II- 3(vlag)	
6	5.7.2007	11.44- 12.00	sončno	Gumb I- 2(temp), gumb II- 3(vlag)	Včeraj je deževalo cel dan
7	23.7.2007	7.00- 7.15	sončno	Gumb I- 2(temp), gumb II- 3(vlag)	
8	6.8.2007	8.00- 8.15	sončno	Gumb I- 2(temp), gumb II- 3(vlag)	
9	25.8.2007	8.00- 8.20	oblačno	Gumb I- 2(temp), gumb II- 3(vlag)	
10	4.9.2007	11.35- 11.55	oblačno	Gumb I- 2(temp), gumb II- 3(vlag)	Včeraj deževalo