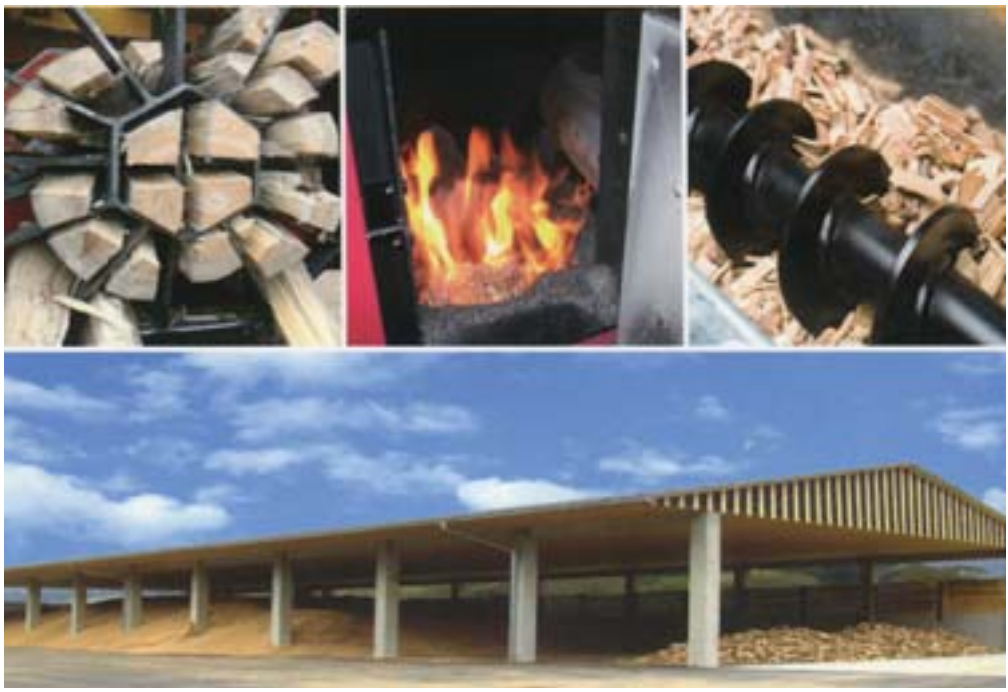
PRIRUČNIK O GORIVIMA IZ DRVNE BIOMASE



PROIZVODNJA | ZAHTJEVI KVALITETE | TRGOVINA

Supported by INTELLIGENT ENERGY EUROPE

PRIRUČNIK O GORIVIMA IZ DRVNE BIOMASE

PROIZVODNJA | ZAHTJEVI KVALITETE | TRGOVINA

WWW.BIOMASSTRADECENTRES.EU

Glavni autori
Valter Francescato, Eliseo Antonini – AIEL Italian Agriforestry Energy Association
(Talijansko udruženje za energiju iz agrošumarstva) – www.aiel.cia.it
Luca Zuccoli Bergomi – Odjel TeSAF (Odjel za zemljišta i agronomske i šumarske sustave),
Sveučilište u Padovi – www.tesaf.unipd.it

Suautori
Christian Metschina – Lk-Stmk, Styrian Chamber of Agriculture and Forestry
(Komora za poljoprivredu i šumarstvo Štajerske) – www.lk-stmk.at
Christian Schnedl – WVB-Stmk GmbH, Styrian Forest Owners Association
(Udruženje vlasnika šume Štajerske) – www.waldverband-stmk.at
Nike Krajnc – SFI, Slovenian Forestry Institute (Slovenski institut za šumarstvo) – www.gozdis.si
Kajetan Koscik, Piort Gradziuk – POLBIOM, Polish Biomass Association
(Poljska udruga za biomasu) – www.polbiom.pl
Gianfranco Nocentini – ARSIA, (Regionalna agencija za poljoprivredu i šumarstvo Toskane) – www.arsia.toscana.it
Stefano Stranieri – GAL GAS, Local Action Group of Garfagnana-Lucca
(Lokalna akcijska skupina Garfagnana-Lucca) – www.assogaltoscana.it

Prijevod
Mr. sc. Velimir Šegon, Karlo Rajić, dipl. ing. (REGEA) – www.regea.org
Mihaela Kovačić Kunštek

Fotografije
AIEL, Odjel TeSAF, LK-Stmk

Podržava: IEE/10/115/SI2.591387

Izdavač
Regionalna energetska agencija Sjeverozapadne Hrvatske
Andrije Žaje 10
10000 Zagreb, Hrvatska

Realizacija
Laser plus d.o.o.

Isključiva odgovornost za sadržaj ove publikacije leži na autorima. Ova publikacija ne odražava nužna stajališta Europske Unije. Europska komisija nije odgovorna za bilo kakvo korištenje informacija navedenih u ovoj publikaciji.

Autorsko pravo © 2008 pridržavaju autori
Nijedan dio ovog djela ne smije se reproducirati tiskanjem, kopiranjem ili na bilo koji drugi način bez pisanog dopuštenja glavnih autora.

SADRŽAJ

UVOD 5

PREDGOVOR 6

1. MJERNE JEDINICE 7
- 1.1. Volumen 7
- 1.2. Težina 7
- 1.3. Omjeri težine/volumena 8
- 1.4. Volumen – terminologija 8
- 1.5. Masena gustoća glavnih šumskih vrsta 9
- 1.6. Nasipna gustoća glavnih krutih biogoriva 11
- 1.7. Stope konverzije trupci/cjepanice/drvna sječka 11

2. ENERGETSKA VRIJEDNOST 15
- 2.1. Mjerne jedinice za toplinsku energiju 15
- 2.2. Energija i snaga 16
- 2.3. Voda u drvu 17
- 2.4. Smanjenje i bubrenje volumena 18
- 2.5. Sadržaj vlage 19
- 2.6. Kemijski sastav biomase 20
- 2.7. Ogrjevna vrijednost i pepeo 21
- 2.8. Analitički izračun ogrjevne vrijednosti 25
- 2.9. Gustoća energije 27
- 2.10. Energetski ekvivalent 27

3. PROIZVODNJA CJEPANICA I DRVNE SJEČKE 29
- 3.1. Faze rada i radni sustavi 29
- 3.2. Uređaji i oprema 30
- 3.3. Lanac opskrbe energetskim drvom i njegovi troškovi 36

4. ZAHTJEVI KVALITETE I REFERENTNI STANDARDI 39
4.1. Tehničke specifikacije cjepanica i drvne sječke 39
4.2. Instrumenti za brzo određivanje vlage 41
4.3. Određivanje dimenzija drvne sječke 42
4.4. Kvalitativni zahtjevi kotlova 43
4.5. Procesi sušenja drva 44
4.6. Sušenje cjepanica 46
4.7. Sušenje drvne sječke 50
4.8. Sabirno-logistički centri za biomasu (BL&TC) 53
4.9. Sustavi sušenja 55

5. TROŠKOVI ENERGIJE, TRENDOVI I USPOREDBE 61
5.1. Troškovi krajnje energije 62
5.2. Prodaja cjepanica i drvne sječke 63
5.3. Potrošnja energije i emisije CO_2 66

DODACI 69
A1. Nacrt ugovora o prodaji drvne sječke s energetskom vrijednošću 69
A2. Primjer Deklaracije o kvaliteti goriva za drvnu sječku 73
A3. Granične vrijednosti za koncentraciju teških metala u pepelu biomase koji se koristi na poljoprivrednim zemljištima u Austriji 74
A4. Primjer cjenika za profesionalnu trgovinu cjepanicama 75
A5. Kratice i simboli 76
A6. Međunarodni sustav jedinica 77

REFERENCE 79

UVOD

Biomasa je već sada najvažniji obnovljivi izvor energije u Europi, a ima golemi potencijal za daljnji razvoj. Daljnji razvoj biomase trebao bi slijediti neka osnovna načela, poput visoke učinkovitosti konverzije, konkurentnosti i održivosti. Iskustvo dokazuje da upotreba biomase u proizvodnji topline na najbolji način udovoljava navedenim načelima.

Biomasa za proizvodnju topline može se koristiti u malim jedinicama, poput pojedinačnih kuća, u projektima ugovorne prodaje topline, za područne toplane te u industriji. U svakom slučaju, opskrba visokokvalitetnom biomasom, bez obzira na to radi li se o ogrjevnom drvu, drvnoj sječki ili prerađenom drvu, od ključne je važnosti za brz rast ovog tržišta. Da bi se potrošačima konstantno osigurala dostupnost visokokvalitetne sirovine za prodaju potrebne su nove strukture trgovanja. Koncept Sabirno-logističkih centara za biomasu nudi mogućnost da se na lokalnoj i regionalnoj razini usklade opskrba i potražnja za ogrjevnim drvom, drvnom sječkom i ostalim oblicima drva u korist i potrošača i proizvođača. Potrebna su transparentna pravila o kvaliteti sirovine i njezinim specifikacijama da bi se zadobilo povjerenje potrošača u ove nove lokalne distributere energije.

Predstavljeni priručnik o Sabirno-logističkim centrima za biomasu nudi sve informacije potrebne za razvoj ovog obećavajućeg tržišta nove energije. AEBIOM (Europsko udruženje za biomasu) zahvaljuje svim sudionicima u projektu te se nada da će ova publikacija na razini zajednice potaknuti mnoge poljoprivrednike, vlasnike šuma i donosioce odluka da promoviraju lokalno uzgojenu biomasu kao nositelja energije za održivu opskrbu toplinom u budućnosti. Realizacijom takvog koncepta stvaraju se novi poslovi, izbjegava ispuštanje stakleničkih plinova, snižava trošak grijanja te poboljšava sigurnost opskrbe energijom.

Heinz Kopetz
Predsjednik AEBIOM-a,
Europskog udruženja za biomasu

PREDGOVOR

Ovaj je priručnik jedan od glavnih rezultata projekta Sabirno-logističkih centara za biomasu kojeg, u okviru programa Inteligentna energija Europe, podupire Europska agencija za konkurentnost i inovacije (EACI).
Cilj ove publikacije je unaprijediti profesionalnost lanaca opskrbe cjepanicama i drvnom sječkom na regionalnoj razini podržavanjem implementacije Europske tehničke specifikacije CEN/TS 14961 na tržištu i u isto vrijeme omogućavanjem bolje usklađenosti između opskrbe i zahtjeva.
Proizvođači su zamoljeni da goriva iz drvne biomase isporučuju u skladu s kvalitativnom klasifikacijom krutih biogoriva koja stoga odgovaraju zahtjevima uređaja za grijanje. Kako bi se potaknulo instaliranje novih modernih sustava grijanja na drvo, ključno je da opskrba cjepanicama i drvnom sječkom zadobije povjerenje potrošača i ulagača u lokalnu dostupnost goriva iz drvne biomase odgovarajuće kvalitete.
Proizvođačima sustava za grijanje na drva, posebno onima koji proizvode male i srednje uređaje, važno je da goriva iz drvne biomase dostupna na tržištu udovoljavaju standardima kvalitete u skladu s kojima su testirali i certificirali uređaje za grijanje koje proizvode (čimbenici učinkovitosti i emisije).
Uspješna iskustva na razini Europe jasno su pokazala da stvaranje Sabirno-logističkih centara za biomasu (BL&TC) omogućuje uspostavu profesionalnog tržišta trenutačnih isporuka goriva iz drvne biomase, čime se potrošačima nudi usluga prilagođena njima te se osigurava isporuka i standardi kvalitete goriva iz drvne biomase.
Tržište koje će, kad je riječ o cijenama i uvjetima trgovanja, biti transparentnije potaknut će stabilan rast sektora biomase.

Legnaro (Padova, Italija), siječanj 2009.

Valter Francescato, Eliseo Antonini
Koordinatori projekta

1. MJERNE JEDINICE

1.1 Volumen

Puni kubni metar (m^3) koristi se za izražavanje volumena koji u potpunosti ispunjava drvo. Ova se mjerna jedinica često koristi za debla.
Prostorni metar (prostorni m^3) jedinica je mjere koja se koristi za uredno složene cjepanice.
Nasipni metar (nasipni m^3) jedinica je mjere koja se koristi za cjepanice i, češće, drvnu sječku, a odnosi se na volumen koji zauzima drvo, ali uključujući i zračni prostor, prazan prostor koji se smatra ispunjenim.

Volumen ogrjevnih drva, bez obzira na to jesu li ona zgusnuta, razlikuje se ovisno o obliku, veličini i rasporedu pojedinačnih komada drva. O tim faktorima ovisi volumen i faktor ispune, odnosno omjer između ispunjenog i praznog volumena.

1.2 Težina

Jedinice težine koje se koriste za ogrjevno drvo su kilogram i metrička tona.

U nastavku su popisane mjerne jedinice za volumen i težinu koje se najčešće koriste u trgovanju ogrjevnim drvom.

Mjerne jedinice			
Tona	Kilogram	Prostorni metar	Nasipni metar
t	kg	prostorni m^3	nasipni m^3
cjepanice drvna sječka peleti i briketi		cjepanice	drvna sječka cjepanice

1.3 Omjeri težine/volumena

Za izražavanje omjera težine/volumena ogrjevnog drva mogu se koristiti tri različite mjerne jedinice:

Specifična težina: je bezdimenzionalna vrijednost koja je rezultat omjera težine i volumena vode (pri 4°C) i drvene tvari. Odnosi se na težinu drvene tvari u suhom stanju – uglavnom celuloze, hemiceluloze i lignina – koji čine stjenke stanica. Specifična težina takve tvari je 1,5 i ta se jednaka vrijednost primjenjuje na sve različite vrste.

Masena gustoća: Odnosi se na omjer težine i volumena tijela drva (porozno tijelo) koje čini set tvari i šupljina (vaskularne šupljine) koje su različito ispunjene zrakom i/ili vodom. Izražava se u jedinicama od g/cm^3 ili kg/m^3.
Masena gustoća često se spominje kao očita specifična težina ili čak, što je pogrešno, samo kao specifična težina.
Kad je riječ o drvenim peletima, masena gustoća odnosi se na težinu samo jednog komada drva koji mora biti teži od 1,15 g/cm^3; u tom će slučaju komad drva, kada ga se ispusti u spremnik sa vodom, brzo potonuti.

Nasipna gustoća: Koristi se za hrpe ogrjevnog drva (cjepanica i drvne sječke) unutar kojih se nalaze i praznine koje mogu biti veće i manje u ovisnosti o veličini i obliku drva. Izražava se ili u kg/prostorni m^3 ili kg/nasipni m^3, ovisno o tome je li hrpa složena ili nasipana.

1.4 Volumen – terminologija

Kako bi sve reference na mjerne jedinice koje se koriste u području energije drva bile jedinstvene i usporedive, navode se sljedeće definicije koje odgovaraju onima koje se koriste u nekim europskim zemljama (tablica 1.4.).

Tablica 1.4. **Volumen – terminologija na šest jezika**

HRVATSKI	Simbol	NJEMAČKI	Simbol
Puni kubni metar	m^3	Festmeter	Fm
Nasipni metar	Nasipni m^3	Schuttraummeter	Srm
Prostorni metar	Prostorni m^3	Schichtraummeter	rm
TALIJANSKI	**Simbol**	**SLOVENSKI**	**Simbol**
Metro cubo	m^3	Kubični meter	m^3
Metro stero riversato	msr	Prostrni meter	prm
Metro stero accatastato	msa	Nasut kubični meter	Nm^3
FRANCUSKI	**Simbol**	**ENGLESKI**	**Simbol**
Metre cube de bois plein	m^3	Solid cubic meter	Solid m^3
Metre cube apparent plaquette	MAP	Bulk cubic meter	Bulk m^3
Stere	stère	Stacked cubic meter	Stacked m^3

1.5 Masena gustoća glavnih šumskih vrsta

Tablica 1.5.1. **CRNOGORIČNA DRVA – srednja vrijednost sa sadržaja vlage (M) 13%**[1]

VRSTE	kg/m³	VRSTE	kg/m³
Norveška smreka	450	Čempres	600
Srebrna jela	470	Kameni bor	620
Švicarski bor	500	Ariš	660
Duglazija	510	Morski bor	680
Škotski bor	550	Tisa	700
Crni bor	560	Alepski bor	810

Tablica 1.5.2. **BJELOGORIČNA DRVA – srednja vrijednost sadržaja vlage (M) 13%**[1]

VRSTE	kg/m³	VRSTE	kg/m³
Vrbe	450	Koprivac	720
Bijeli jablan	480	Jasen	720
Crni jablan	500	Crni jasen	720
Siva joha	520	Zanovjet	730
Talijanska joha	550	Poljski javor	740
Crna joha	560	Bukva	750
Kesten	580	Hrast kitnjak	760
Trešnja	600	Crni rogač	760
Brijest	620	Hrast lužnjak	770
Bazga	620	Oskoruša	770
Breza	650	Obični grab	800
Lipa	650	Crni grab	820
Ljeska	670	Turski hrast	900
Gorski javor	670	Maslina	920
Platana	670	Crnika	940
Orah	700	Dren	980

Tablica 1.5.3. **Srednja masena gustoća suhog drva (ÖNORM* B 3012)**

	Vrste (drvo sušeno u sušioniku, M = 0)	kg/m³
Četinjače	Crni bor	560
	Ariš	550
	Škotski bor	510
	Duglazija	470
	Norveška smreka	430
	Srebrna jela	410
	Švicarski bor	400
Listače	Obični grab	750
	Turski hrast	740
	Crni rogač	730
	Bukva	680
	Hrast	670
	Jasen	670
	Brijest	640
	Breza	640
	Javor	590
	Ljeska	560
	Lipa	520
	Vrba	520
	Joha	490
	Topola	450
	Jablan	410

* ÖNORM: Austrijski institut za standardizaciju – Österreichisches Normungsinstitut

1.6 Nasipna gustoća glavnih krutih biogoriva[2]

Tablica 1.6.

Ogrjevna drva	M%	Vrsta	Nasipna gustoća (kg/nasipni m³)
Cjepanice (33 cm, složeni)	15	Bukva	445*
		Smreka i jela	304*
Drvna sječka	30	Bukva	328
		Smreka i jela	223
Kora četinjača	15		180
Piljevina			160
Strugotine			90
Peleti	8		620–650
Poljoprivredna biomasa			
Bale	15	Miskant	140
Stelja/stočna hrana		Miskant	110
Žitarice		Tritikala	750

*kg/prostorni m³

1.7 Stope konverzije trupci/cjepanice/drvna sječka

Tablica 1.7.1. pruža indikativne konverzijske faktore za najčešće vrste energije iz drva koje su navedene u aneksu austrijskih standarda ÖNORM M7132 i M7133[3].

Tablica 1.7.1. **Stope konverzije trupci/cjepanice/drvna sječka**

Vrste	Trupci	Cjepanice od 1 metra	Izrezane cjepanice		Drvna sječka	
			složeni	nasipni	fino (G30)	srednje (G50)
	m³	prostorni m³	prostorni m³	nasipni m³	nasipni m³	
1 m³ trupaca	1	1,4	1,2	2,0	2,5	3,0
1 prostorni m³ cjepanica od 1 metra	0,7	1	0,8	1,4	(1,75)	(2,1)
1 prostorni m³ izrezanih cjepanica	0,85	1,2	1	1,7		
1 nasipni m³ izrezanih cjepanica	0,5	0,7	0,6	1		
1 nasipni m³ fine drvne sječke	0,4	(0,55)			1	1,2
1 nasipni m³ srednje drvne sječke (G50)	0,33	(0,5)			0,8	1

Napomena: 1 tona drvne sječke G30 s M35% odgovara približno 4 nasipna m³ drvne sječke smreke i 3 nasipna m³ drvne sječke bukve.

1 m³ trupaca ≈

1,4 prostorna m³ cjepanica od 1 m ≈

2 nasipna m³ izrezanih cjepanica ≈

3 nasipna m³ srednje drvne sječke (G50)

Konverzijski faktori za glavne nusproizvode primarne proizvodnje klada [3]

1 prostorni m^3 svezanih okrajaka	= 0,65 m^3	trupaca
1 nasipni m^3 piljene drvne sječke G50	= 0,33 m^3	
1 nasipni m^3 fine piljevine (< 5 mm)	= 0,33 m^3	
1 nasipni m^3 strugotine	= 0,20 m^3	
1 nasipni m^3 kore	= 0,30 m^3	

Tablica 1.7.2. **Konverzijski faktori za cjepanice (s korom)** [2]

Vrste	Trupci (m^3)	Okruglo dugo drvo (prostorni m^3)	Cjepanice od 1 metra (prostorni m^3)	Izrezane cjepanice, 33 cm (prostorni m^3)	Izrezane cjepanice, 33 cm (nasipni m^3)
Odnosi se na 1 m^3 trupaca s korom					
Bukva	1,00	1,70	1,98	1,61	2,38
Smreka		1,55	1,80	1,55	2,52
Odnosi se na 1 prostorni m^3 okruglog dugog drva					
Bukva	0,59	1,00	1,17	0,95	1,40
Smreka	0,65		1,16	1,00	1,63
Odnosi se na 1 prostorni m^3 složenih cjepanica od 1 metra					
Bukva	0,50	0,86	1,00	0,81	1,20
Smreka	0,56	0,86		0,86	1,40
Odnosi se na 1 prostorni m^3 složenih izrezanih cjepanica od 33 cm					
Bukva	0,62	1,05	1,23	1,00	1,48
Smreka	0,64	1,00	1,16		1,62
Odnosi se na 1 nasipni m^3 nasipanih izrezanih cjepanica od 33 cm					
Bukva	0,42	0,71	0,83	0,68	1,00
Smreka	0,40	0,62	0,72	0,62	

Tablica 1.7.3. Masena gustoća i nasipna gustoća glavnih vrsta drveća[2]

Vlaga M %	Bukva			Hrast			Smreka			Bor		
	m^3	Fw prostorni m^3	Cw nasipni m^3	m^3	Fw složeni m^3	Cw nasipni m^3	m^3	Fw složeni m^3	Cw nasipni m^3	m^3	Fw prostorni m^3	Cw nasipni m^3
Masena gustoća i nasipna gustoća u kg*												
0	680	422	280	660	410	272	430	277	177	490	316	202
10	704	437	290	687	427	283	457	295	188	514	332	212
15	716	445	295	702	436	289	**472**	304	**194**	527	340	217
20	730	453	300	724	450	298	488	315	201	541	349	223
30	798	495	328	828	514	341	541	349	223	615	397	253
40	930	578	383	966	600	397	631	407	260	718	463	295
50	1 117	694	454	1159	720	477	758	489	312	861	556	354

Korištena je sljedeća jednakost 1 m^3 trupaca = 2,43 nasipna m^3 (volumetrijski indeks = 0,41 m^3/nasipni m^3) drvne sječke
Inicijali: Fw = izrezane cjepanice (33 cm, složeni), Cw = drvna sječka

* Unutar raspona vlage (M) 0-23%, vrijednosti su izračunate na temelju suhe drvene mase popisane u tablici 1.5.3. Izračunate masena gustoća i nasipna gustoća (s vodom) ispravljene su pomoću sljedećih čimbenika bubrenja: bukva 21,8%, hrast 13,9%, smreka 13,5%, bor 13,8%, uz pretpostavku linearne varijacije volumena unutar promatranog raspona vlage.

Primjer 1.7.1. – Analitički izračun nasipne gustoće unutar raspona vlage M 0–23%

Imajući u vidu napomenu (*) iz tablice 1.7.3. te radi boljeg razumijevanja izračuna masene gustoće i nasipne gustoće unutar raspona vlage M 0–23%, u nastavku je naveden primjer kako izračunati nasipnu gustoću drvne sječke smreke pri M 15%.

Početni parametri
Masena gustoća suhe mase (tablica 1.5.3.) = 430 kg/m^3
Faktor bubrenja = 13,5% (poglavlje 2.4.)
Volumetrijski indeks = 0,41 m^3/nasipni m^3
Vlaga (M) 15% vlaga s.o. (u) = 17,65% (poglavlje 2.5.)

Izračun masene gustoće pri M 15%
MV_{15} = 430 kg/m^3 x [1+(17,65 : 100)] = 430 x 1,1765 = 506 kg/m^3

Izračun volumetrijskog korekcijskog faktora (bubrenje)
Fcv = 1 + [(13,5 : 100) : 30] x 17,65 = 1,07

Izračun ispravne masene gustoće(s vodom)
$MV_{15\ corr}$ = MV_{15} : Fv = 506 : 1,07 = **472** kg/m^3

Izračun masene gustoće drvne sječke smreke pri M 15%
Gustoća drvne sječke smreke = 472 kg/m^3/2,43 = **194** kg/nasipni m^3

Primjer 1.7.2. – Izračun nasipne gustoće drvne sječke uzorkovanjem

a) Koristite kantu poznatog volumena (npr. 3 l) i par vaga.
b) Uzmite reprezentativni primjerak iz kamionskog kontejnera, npr. 3 kante iz kontejnera volumena 40 m^3 (ref. CEN/TS 14778-1) i ispunite kantu, pritom ne zbijajući drvnu sječku.
c) Izvažite uzorke i njihovu srednju vrijednost (kg) podijelite znanim volumenom (l) – npr. (3,25 kg x 1 000 l): 13 l = 250 kg/nasipni m^3

2. ENERGETSKA VRIJEDNOST

2.1. Mjerne jedinice za toplinsku energiju

Gorivo sadrži određenu količinu energije koja se naziva **primarnom energijom** koja se izgaranjem pretvara u **krajnju energiju** koja se koristi za bilo koju željenu svrhu (npr.: grijanje, pripremu tople vode i procesnu toplinu).
Koristit će se sljedeće jedinice iz međunarodnog SI sustava mjernih jedinica: džul (J), vat sat (Wh) te njihovi višekratnici. Najčešće korištene jedinice su:

MJ/kg	MJ/ms	kWh/kg	kWh/ms	MWh/t

Tablica 2.1.1. **Faktori konverzije jedinica toplinske energije**

	kJ	kcal*	kWh	toe
1 kJ	1	0,239	$0,278 \times 10^{-3}$	$23,88 \times 10^{-9}$
1 kcal (*)	4,1868	1	$1,163 \times 10^{-3}$	$0,1 \times 10^{-6}$
1 kWh	3 600	860	1	86×10^{-6}
1 toe	$41,87 \times 10^{6}$	10×10^{6}	$11,63 \times 10^{3}$	1

* Kalorija je mjerna jedinica nastala prije standardnog međunarodnog sustava SI.

Najčešće pretvorbe

1 kWh	= 860 kcal	= 3 600 kJ (3,6 MJ)
1 MJ	= 239 kcal	= 0,278 kWh
1 kcal	= 4,19 kJ	= 0,00116 kWh
1 toe	= 41,87 GJ	= 11,63 MWh

Tona ekvivalentne nafte (*engl. ton of oil equivalent* – toe) tradicionalna je mjerna jedinica koja se koristi u statističko-komparativne svrhe. Jednaka je količini energije koja se otpušta izgaranjem jedne tone sirove nafte.

2.2. Energija i snaga

Toplinska energija je onaj oblik energije koji je povezan s molekularnom agitacijom. Može se smatrati zbrojem sveukupne kinetičke energije koju posjeduju pojedinačne molekule. Toplinska energija nije sinonim za toplinu jer potonja naznačuje količinu toplinske energije koja je prenijeta/izmijenjena između dvaju sustava.

Jedinice energije

1 džul =	1 Newton x 1 metar =	1 vat x sekunda (Ws)

Tablica 2.2.1. **Ekvivalentnost između najčešće korištenih jedinica toplinske energije**

	kWh	MWh	GWh	TWh	TJ	PJ	toe
1 kWh	1	1×10^{-3}	1×10^{-6}	1×10^{-9}	$3{,}6 \times 10^{-6}$	$3{,}6 \times 10^{-9}$	86×10^{-6}
1 MWh	1×10^{3}	1	1×10^{-3}	1×10^{-6}	$3{,}6 \times 10^{-3}$	$3{,}6 \times 10^{-6}$	86×10^{-3}
1 GWh	1×10^{6}	1×10^{3}	1	1×10^{-3}	3,6	$3{,}6 \times 10^{-3}$	86
1 TWh	1×10^{9}	1×10^{6}	1×10^{3}	1	$3{,}6 \times 10^{3}$	3,6	86×10^{3}
1 TJ	278×10^{3}	278	278×10^{-3}	278×10^{-6}	1	1×10^{-3}	23,9
1 PJ	278×10^{6}	278 x 103	278	278×10^{-3}	1 x 103	1	$23{,}9 \times 10^{3}$
1 tona	$11{,}6 \times 10^{3}$	11,6	$11{,}6 \times 10^{-3}$	$11{,}6 \times 10^{-6}$	$41{,}87 \times 10^{-3}$	$41{,}87 \times 10^{-6}$	1

Toplinska snaga (Q) omjer je između proizvedene toplinske energije i vremena utrošenog za njezinu proizvodnju. Izražava količinu krajnje topline prenesene na termalni vektor.

Jedinica snage $$vat = \frac{džul}{sekunda}$$

Bruto kapacitet kotla (Q_B) označava snagu koju otpušta gorivo u ložištu.
Nominalni toplinski kapacitet (Q_N) izražava maksimalnu količinu toplinske energije po jedinici vremena koju kotao kontinuirano proizvodi tijekom izgaranja.
Učinkovitost kotla (η_k) izražava omjer između korisne toplinske snage (Q) i kapaciteta ložišta (Q_B).

Učinkovitost kotla obično se izražava u kW, iako se kao mjerna jedinica još uvijek koristi i kcal, što je neispravno. Kako bi se kcal konvertirao u vate, mjernu jedinicu sustava SI, koristi se sljedeća jednadžba:

1 kcal	=	1,163 W	1 kW	=	860 kcal

Kotao od 100.000 kcal ima kapacitet od 116.280 W [= 116 kW]

Primjer 2.2.1. – Izračun opskrbe toplinom pomoću kotla

Kotao kapaciteta 100 kW koji pod punim opterećenjem radi 1.000 sati proizvodi topline u neto iznosu od 100 kW x 1.000 h = 100.000 kWh = 100 MWh

2. 3. Voda u drvu

Drvo se najčešće ne nalazi u suhom stanju, već ima udio vlage koji može varirati od 60 do 15%, ovisno o trajanju sušenja na otvorenom. Drvo je **porozan i higroskopski** materijal te, zbog svoje kemijsko-histološke strukture, ima dvije različite vrste poroznosti:

:: **makroporoznost** koju stvaraju šupljine provodnih žila i parenhimske stanice koje sadrže **slobodnu (ili imbibicijsku) vodu,**

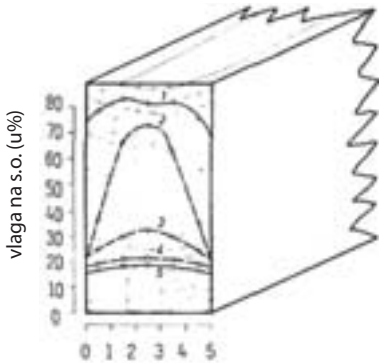
:: **mikroporoznost** drvenih tvari (uglavnom celuloze, hemiceluloze i lignina) koje uvijek sadrže određenu količinu **vezane (ili zasićene) vode.**

Drvo počinje gubiti vodu od trenutka kad je posječeno. Najprije imbibicijska voda ispari iz vanjskih dijelova (sapanovina), a potom i iz unutrašnjih dijelova debla *(srčika)*. U određenom trenutku iz sušenog drva isparava sva slobodna voda, dok zasićena voda dostiže dinamičku ravnotežu s vanjskom vlagom, i to u vrijednosti nižoj od 20%. Kako je prikazano na slici 2.3.2., gubitak vode u drvu nije jedinstven.

Slika 2.3.1.

Trodimenzionalna struktura četinjača[1]

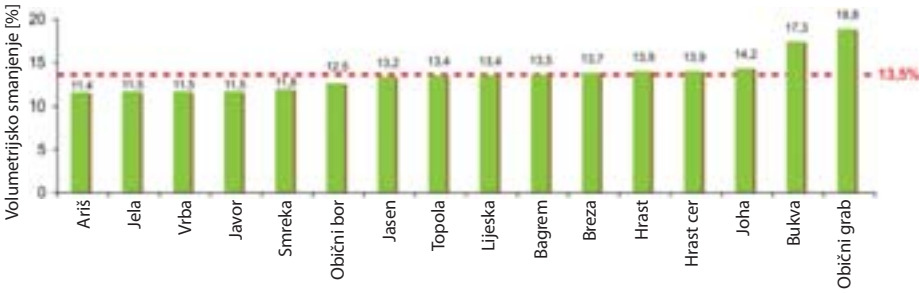
Slika 2.3.2. **Razvoj u radijalnom smjeru, vlaga na suhoj osnovi (dry basis) u komadu daske bukve**



2.4. Smanjenje i bubrenje volumena

Tijekom sušenja cjepanica i drvne sječke, sve do trenutka kada sadržaj vlage (M) iznosi 23% (u < 30%, **točka zasićenja vlakana)**, ne dolazi do smanjivanja u volumenu pojedinačnih komada i hrpe. Do ove točke drvo izgubi svoju slobodnu (imbibicijsku) vodu. Kasnije, kada drvo počne gubiti i svoju vezanu (zasićenu) vodu, dolazi do smanjenja ($ß_v$) u volumenu koje uobičajeno iznosi 13%, iako to može ovisiti o vrstama drveta (slika 2.4.1.). Nasuprot tome, ako zasićena voda poraste, drvo će nabubriti (a_v)*.
Smanjenje volumena pojedinačnih komada u hrpi cjepanica ili drvne sječke uzrokuje ukupno smanjivanje volumena hrpe koje je gotovo uvijek manje nego u pojedinačnih komada [5].

Slika 2.4.1. **Volumetrijsko smanjenje u nekim vrstama drveća**[3]



* Smanjenje volumena i bubrenje povezani su sljedećim formulama: $ß_v = (100xa_v):(100+a_v)$; $a_v = (100xß_v) : (100-ß_v)$

S gledišta primjene, u obzir se moraju uzeti bilo kakve varijacije u volumenu (smanjenje i bubrenje) zabilježene unutar intervala od 0 do 23% (higroskopsko područje) zbog pravilnog izračuna gustoće mase, bez obzira na to radi li se o steričnoj (s vodom) ili nesteričnoj, te energetske gustoće goriva (tablice 1.7.3. i 2.9.1., primjer 1.7.1.).

2.5. Sadržaj vlage

Sadržaj vlage izražava se u postocima i izračunava se ovim dvjema formulama:

Vlaga na suhoj osnovi → u (%)

Izražava prisutnu masu vode u odnosu na masu suhog drva.

$$u = \frac{Ww - WO}{WO} \times 100$$

Vlaga na mokroj osnovi → M (%)

Izražava prisutnu masu vode u odnosu na masu svježeg drva. Ova se mjera koristi u trgovanju ogrjevnim drvom.

$$M = \frac{Ww - WO}{Ww} \times 100$$

Pritom je:
Ww = mokra težina drva
W0 = težina suhog drva

Formule konverzije

Sljedeće se dvije formule koriste za izračunavanje u iz M i obrnuto.

$$u = \frac{100xM}{100-M} \qquad M = \frac{100xu}{100+u}$$

M %	15	20	25	30	35	40	45	50	60
u %	18	25	33	43	54	67	82	100	150

u %	15	20	30	40	50	65	80	100	150
M %	13	16	23	28	33	39	44	50	60

Uz pretpostavku da polovicu mase tek posječenog, svježeg drva čini voda, a polovicu drvena tvar, drvo sadrži vlagu na m.o. (M) od 50% i vlaga na s.o. (u) od 100%.

2.6. Kemijski sastav biomase

Biljna se biomasa uglavnom sastoji od ugljika (C), kisika (O) i vodika (H). Ugljik je kruta komponenta biogoriva čijom se oksidacijom otpušta sadržaj energije goriva. Uz to, daljnja se energija stvara iz vodika u procesu oksidacije koji, pribrojen energiji koju proizvede ugljik, određuje **neto ogrjevnu vrijednost** goriva. S druge strane, kisik samo održava progresiju procesa oksidacije (tablica 2.6.1.).

Tablica 2.6.1. **Kemijski sastav krute biomase [2]**

	C	H	O	N	K	S	Cl
	m.u.% (s.o.)						
Smreka (s korom)	49,8	6,3	43,2	0,13	0,13	0,015	0,005
Bukva (s korom)	47,9	6,2	43,3	0,22	0,22	0,015	0,006
Jablan KKO	47,5	6,2	44,1	0,42	0,35	0,031	0,004
Vrba KKO	47,1	6,1	44,2	0,54	0,26	0,045	0,004
Kora (Crnogorično drveće)	51,4	5,7	38,7	0,48	0,24	0,085	0,019
Uobičajene vrijednosti za materijale od neprerađenog drva Crnogorično drveće *	47–54	5,6–7,0	40–44	<0,1–0,5		<0,01–0,05	<0,01–0,03
Uobičajene vrijednosti za materijale od neprerađenog drva Listopadno drveće	48–52	5,9–6,5	41–45	<0,1–0,5		<0,01–0,05	<0,01–0,03
Uobičajene vrijednosti za materijale od neprerađenog drva*	51–56	5,9–6,5	36–43	0,3–1,2		0,02–0,20	<0,01–0,05
Uobičajene vrijednosti za materijale od neprerađenog drva Ostaci od pridobivanja drva*	50–53	5,9–6,3	40–44	0,3–0,8		0,01–0,08	<0,01–0,04
Uobičajene vrijednosti za materijale od neprerađenog drva Kulture brzorastućih nasada*	47–51	5,8–6,7	40–46	0,2–0,8		0,02–0,10	<0,01–0,05
Miskant	47,5	6,2	41,7	0,73	0,70	0,150	0,220
Pšenična slama	45,6	5,8	42,4	0,48	1,00	0,082	0,190
Tritikala (zrnje)	43,5	6,4	46,4	1,68	0,60	0,110	0,070
Pogača od uljane repice	51,5	7,4	30,1	4,97	1,60	0,550	0,019
Fosilna goriva, radi usporedbe							
Ugljen	72,5	5,6	11,0	1,30	–	0,940	< 0,1
Lignit	65,9	4,6	23,0	0,70	–	0,390	< 0,1
Lož ulje	85–86	11–13	1–4	–	–	–	–
Prirodni plin	75	25	–	–	–	–	–

* CEN/TS 14961:2005 Kruta biogoriva – Specifikacije i klase goriva – Dodatak C

Učinci kemijskog sastava krutih biogoriva na izgaranje i emisije

Elementi koji izravno utječu na razinu štetnih emisija koje nastaju izgaranjem su: sumpor (S), dušik (N), klor (Cl) i sadržaji pepela. Sljedeće se pravilo općenito odnosi na spo-

menute elemente: što je njihov sadržaj u gorivu viši, to su prisutniji u emisijama u atmosferu.

Sadržaj **dušika** u gorivima iz drvne biomase relativno je nizak, dok je mnogo viši u žitaricama – posebno ako uključimo i reproduktivne organe (zrnje) – posebno u sjemenkama uljane repice (pogača od uljane repice). To izravno utječe na stvaranje dušikova oksida (NO_x) koji tijekom izgaranja postaje plinovit i ne ostaje u pepelu. **Kalij** (K), koji se najčešće nalazi u poljoprivrednim biogorivima, snižava točku tališta pepela, čime pomaže stvaranju troske u rešetki koja je uzrok značajnih problema u procesu izgaranja. Nadalje, kalij koji se, kao posljedica izgaranja, otpušta u obliku finih čestica, jedan je od elemenata koji obiluju štetnim česticama.

Udio **sumpora** (S) u krutim biogorivima mnogo je niži u usporedbi s fosilnim gorivima koja sadrže ugljik. Općenito, najveći dio sumpora ostaje u pepelu (40 do 90%), dok se iz ostatka formira nestabilni SO_2.

Za razliku od, npr. slame žitarica ili miskanta koja ima značajno veći udio **klora** (Cl), goriva iz drvne biomase karakterizira krajnje nizak sadržaj klora. Cl sudjeluje u formiranju spojeva poput HCl i dioksina/furana. Iako će većina Cl biti vezana u lebdećem pepelu (40-95%), ostatak će formirati HCl, koji pojačan procesima kondenzacije ima korozivan učinak na metalne unutrašnje dijelove kotlova i dimnjaka.

2.7. Ogrjevna vrijednost i pepeo

Ogrjevna vrijednost goriva izražava količinu energije koja se otpušta tijekom potpunog izgaranja jedinice mase goriva.

Sadržaj vlage drva smanjuje njegovu ogrjevnu vrijednost. Dio energije koji se otpušta tijekom procesa izgaranja troši se na isparavanje vode te se iz tog razloga smatra gubitkom topline. Isparavanje vode uključuje potrošnju energije od 2,44 MJ po kilogramu vode. Stoga je moguće razlikovati sljedeće:

Neto ogrjevna vrijednost (NOV): Otpuštena se voda tretira kao para, tj. izdvaja se termalna energija koja je potrebna za isparavanje vode (latentna toplina vaporizacije vode na 25°C).

Bruto ogrjevna vrijednost (BOV): Voda se u produktima izgaranja tretira kao tekućina. Kad to nije posebno specificirano,„ogrjevnom vrijednosti“ smatra se neto ogrjevna vrijednost.

Ogrjevna vrijednost suhog drva (NOV_0) za različite vrste drva razlikuje se unutar vrlo uskog intervala, od 18,5 do 19 MJ/kg. U četinjača je 2% viša nego li u listača. Uzrok je ove razlike posebno u višem udjelu lignina – a djelomično i u višem udjelu smole, voska i ulja – prisutnog u četinjača. U usporedbi s celulozom (17,2-17,5 MJ/kg) i hemi-

celulozom (16 MJ/kg), lignin ima viši (NOV_0) (26-27 MJ/kg). Određene varijabilnosti u bezvodnoj ogrjevnoj vrijednosti također su rezultat manje varijabilnosti u sadržaju vodika (H) te relativno puno veće varijabilnosti u sadržaju pepela.
Međutim, ako se u obzir uzimaju i poljoprivredna biogoriva, ogrjevna vrijednost suhe tvari varira unutar intervala od 16,5 do 19 MJ/kg. (NOV_0) goriva iz drvne biomase u prosjeku je za 9% viša od vrijednosti travastih biljaka.

Tablica 2.7.1. Ogrjevna vrijednost, udio pepela i točka taljenja pepela različitih goriva iz drvne biomase [2, 6, 7, 20]

	NOV_0 MJ/kg	Pepeo (m.u.% s.o.)	Točka taljenja pepela (°C)
Uobičajene vrijednosti za materijale od neprerađenog drva Crnogorično drveće	19,2 (18,8–19,8)	0,3 (0,2–0,5)	
Uobičajene vrijednosti za materijale od neprerađenog drva Listopadno drveće	19 (18,5–19,2)	0,3 (0,2–0,5)	
Uobičajene vrijednosti za materijale od neprerađenog drva	20 (19–21)	4–5 (2–10)	
Uobičajene vrijednosti za materijale od neprerađenog drva Ostaci od pridobivanja drva	19–20	1,5–2	
Tipične vrijednosti za materijale od neprerađenog drva Kulture kratkih ophodnji (KKO) (Vrba i jablan)	18,6–19,2	2	
Smreka (s korom)	18,8	0,6	1.426
Bukva (s korom)	18,4	0,5	1.340
Jablan (KKO)	18,5	1,8	1.335
Vrba (KKO)	18,4	2,0	1.283
Kora (Crnogorično drveće)	19,2	3,8	1.440
Drvo vinove loze (drvna sječka)	19,8	3,4	1.450
Miskant	17,6	3,9	973
Pšenična slama	17,2	5,7	998
Tritikala (zrnje)	16,9	2,1	730
Pogača od uljane repice	21,2	6,2	–

Udio pepela i točka taljenja

Među krutim biogorivima, drvo bez kore je ono s najmanjim udjelom pepela, dok poljoprivredna biogoriva uobičajeno imaju visoki udio pepela.

Tijekom izgaranja, na žeravici dolazi do određenih fizičkih promjena u pepelu. Rastom temperature, čestice pepela omekšavaju se sve dok ne dođe do potpune fuzije čestica. Korištenje goriva s niskim temperaturama fuzije pepela povećava se rizik od formiranja **šljake** na rešetki. Fuzijska šljaka ometa proces izgaranja mijenjanjem primarnih protoka zraka i pogoduje pretjeranom zagrijavanju rešetke, kao i koroziji.
Međutim, problemi povezani s nastankom šljake mogu se rješavati na više načina, između ostalog hlađenjem rešetke i recirkulacijom dima zatim ugradnjom mehaničkih sustava za automatsko čišćenje ili, u slučaju žitarica, korištenjem dodataka kalcija.*
Drvo i kora imaju relativno visoku točku taljenja (1.300-1.400 °C) te stoga nemaju kritičnih točaka. Za razliku od toga, točka taljenja travastih biljaka je ispod 1.000 °C, što kao posljedicu ima lako stvaranje šljake tijekom izgaranja. U slučaju žitarica (zrnja), točka taljenja je ispod 750 °C te je stoga posebno kritična (tablica 2.7.1.). Zbog navedenih razloga poljoprivredna biogoriva imaju više kritičnih točaka u usporedbi s drvom te se koriste samo u specifičnim uređajima za izgaranje.

Karakterizacija i uporaba pepela
Pepeo se može podijeliti u dvije kategorije:

Nesagorena pepelna troska
Radi se o značajnom udjelu pepela koji se skuplja pod rešetkom kotla te se žlijebom skuplja u spremniku. Masena gustoća iznosi 1,3 t/m^3.

Lebdeći pepeo
Radi se o pepelu koji nastaje čišćenjem dimnjaka te se dodatno može podijeliti u:
– ciklonski pepeo,
– fine čestice iz elektrostatičkih i vrećica filtra.
Masena gustoća iznosi 0,8-0,9 t/m^3.

* Ca i Mg najčešće povisuju temperaturu fuzije pepela

Kemijski sastav pepela

Komponente koje najviše utječu na okoliš (olovo, kadmij i cink) su one koje su najnepostojanije i koje se pretežno skupljaju u finom pepelu (tablica 2.7.2.).

Tablica 2.7.2. Kemijski sastav različitih pepela biomase [6, 9, 10]

Elementi	m.u.	Kora	Drvna sječka	Piljevina	Slama
pH	u $CaCl_2$	12,7	12,8	12,5	11,2
C_{org}	m.u.% (s.o.)	0,8	1,3	5,9	5,2
CO_2		4	7,2	12,5	1
P_2O_5		1,7	3,6	2,5	2,7
K_2O		5,1	6,7	7,1	11,5
CaO		42,2	44,7	35,5	7,4
MgO		6,5	4,8	5,7	3,8
Na_2O		0,8	0,6	0,5	0,3
Al_2O_3		7,1	4,6	2,3	1,2
SiO_2		26,0	25,0	25,0	54,0
SO_3		0,6	1,9	2,4	1,2
Fe_2O_3		3,5	2,3	3,7	1
MnO		1,5	1,7	2,6	0,1
Cu	$mg/kg_{s.o.}$	87,8	126,8	177,8	23,2
Zn		618,6	375,7	1.429,8	234,6
Co		23,9	15,3	16,7	1,5
Mo		4,8	1,7	3,4	7,1
As		11,4	8,2	7,8	5,4
Ni		94,1	61,5	71,9	3,9
Cr		132,6	54,1	137,2	12,3
Pb		25,3	25,4	35,6	7,7
Cd		3,9	4,8	16,8	0,7
V		58,4	42,0	26,7	5,5

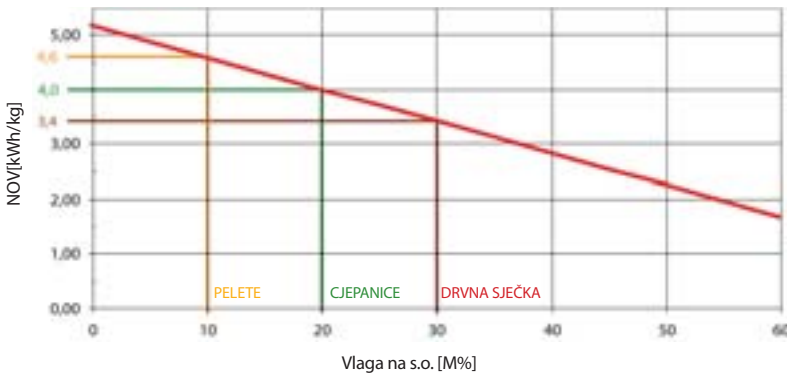
2.8. Analitički izračun ogrjevne vrijednosti

Da bi se izračunala neto ogrjevna vrijednost (MJ/kg) drva s danim udjelom vlage (M), koristi se sljedeća formula[2]:

$$NOV_M = \frac{NOV_{0X}(100 - M) - 2{,}44\,xM}{100}$$

Slika 2.8.1. **Neto ogrjevna vrijednost (NOV_0 = 19 MJ/kg) kao funkcija vlage na suhoj i mokroj osnovi (M i u)** [5]

Slika 2.8.2. **Neto ogrjevna vrijednost (NOV_o = 5,14 kWh/kg) kao funkcija vlage (M)**



Tijekom sušenja, smanjenje od 10% u vlažnosti uzrokuje povećanje od otprilike 0,6 kWh/kg (2,16 MJ/kg) u energetskoj vrijednosti.

Tablica 2.8.1. **Neto ogrjevna vrijednost (NOV_0 = 18,5 MJ/kg) kao funkcija vlage (M)**

M (%)	MWh/t	GJ/t
15	4,27	15,36
16	4,21	15,15
17	4,15	14,94
18	4,10	14,73
19	4,04	14,52
20	3,98	14,31
21	3,92	14,10
22	3,86	13,89
23	3,80	13,68
24	3,75	13,47
25	3,69	13,27
26	3,63	13,06
27	3,57	12,85
28	3,51	12,64
29	3,45	12,43
30	3,40	12,22
31	3,34	12,01
32	3,28	11,80
33	3,22	11,59
34	3,16	11,38
35	3,11	11,17
36	3,05	10,96
37	2,99	10,75

M (%)	MWh/t	GJ/t
38	2,93	10,54
39	2,87	10,33
40	2,81	10,12
41	2,76	9,91
42	2,70	9,71
43	2,64	9,50
44	2,58	9,29
45	2,52	9,08
46	2,47	8,87
47	2,41	8,66
48	2,35	8,45
49	2,29	8,24
50	2,23	8,03
51	2,17	7,82
52	2,12	7,61
53	2,06	7,40
54	2,00	7,19
55	1,94	6,98
56	1,88	6,77
57	1,82	6,56
58	1,77	6,35
59	1,71	6,15
60	1,65	5,94

Zbog praktičnih se razloga za ogrjevna drva uzimaju sljedeće srednje vrijednosti:

NOV_0 = 18,5 MJ/kg = 5,14 kWh/kg	SUHO DRVO	(M 0%)
NOV_{10} = 16,9 MJ/kg = 4,6 kWh/kg	PELETI	(M 10%)
NOV_{20} = 14,4 MJ/kg = 4 kWh/kg	CJEPANICE	(M 20%)
NOV_{30} = 12,2 MJ/kg = 3,4 kWh/kg	DRVNA SJEČKA	(M 30%)

Kako bi se MJ pretvorili u kWh i obrnuto, uzima se da je konverzijski faktor 3,6.

Primjer – pretvorba MJ-kWh
18,5 MJ : 3,6 = 5,14 kWh
4 kWh x 3,6 = 14,4 MJ
1 kWh/kg = 1 MWh/t

2.9. Gustoća energije

Izražava omjer između energetske vrijednosti goriva i volumena kojeg gorivo zauzima.

Tablica 2.9.1. **Energetska gustoća pri različitom udjelu vlage u različitim ogrjevnim drvima** [2]

Ogrjevno drvo	Količina	Vlaga	Masa	NOV	Energetska gustoća*		
		M%	kg	MJ/kg	MJ	kWh	1 litra nafte
Složene cjepanice							
Bukva, 33 cm	1 prostorni m^3	15	445	15,3	6.797	1.888	189
Bukva, 33 cm	1 prostorni m^3	30	495	12,1	6.018	1.672	167
Smreka, 33 cm	1 prostorni m^3	15	304	15,6	4.753	1.320	132
Smreka, 33 cm	1 prostorni m^3	30	349	12,4	4.339	1.205	121
Drvna sječka							
Bukva	1 nasipni m^3	15	295	15,3	4.505	1.251	125
Bukva	1 nasipni m^3	30	328	12,1	3.987	1.107	111
Smreka	1 nasipni m^3	15	194	15,6	3.032	842	84
Smreka	1 nasipni m^3	30	223	12,4	2.768	769	77
Drveni peleti	1 nasipni m^3	8	650	17,1	11.115	3.088	309

* U rasponu M 0–23%, primijenjeni su relativni faktori korekcije.

2.10. Energetski ekvivalent [3]

Goriva	Neto ogrjevna vrijednost (srednje vrijednosti)	
	MJ	kWh
Lož ulje, ekstra lako	36,17 MJ/l (42,5 MJ/kg)	10 kWh/l (11,80 kWh/kg)
Lož ulje, lako	38,60 MJ/l (41,5 MJ/kg)	10,70 kWh/l (11,50 kWh/kg)
Prirodni plin**	36,00 MJ/m3	10,00 kWh/m3
LPG***	24,55 MJ/l (46,30 MJ/kg)	6,82 kWh/l (12,87 kWh/kg)
Ugljen	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 struje	3,60 MJ	1 kWh
1 kg drva (M = 20%)	14,40 MJ/kg	4,00 kWh/kg

** 1 kg = 5,8 l (20 °C, 216 bara)

***1 m^3 LPG-a = 4 l = 2 kg

1 kg lož ulja ≈ 3 kg drva
1 l lož ulja ≈ 2,5 kg drva

Za približan izračun mogu se koristiti sljedeće odgovarajuće vrijednosti, koje ne uzimaju u obzir učinkovitost kotla.

1.000 litara lož ulja =	5–6 nasipnih m^3 cjepanica listača
	7–8 nasipnih m^3 cjepanica četinjača
	10–15 nasipnih m^3 drvne sječke
	2,1 t peleta

Primjer 2.9.1. – Izračun kotlovske potrošnje drvne sječke

Kotlovska potrošnja drvne sječke može se izračunati na temelju prethodne potrošnje fosilnih goriva.

a) Izračun toplinskih potreba na temelju prethodne potrošnje lož ulja (prosjek za posljednje tri godine)

– potrošnja lož ulja 23.530 l/godini
– NOV ulja: 10 kWh/l
– Učinkovitost postrojenja η_k: 85%
isporučenih kWh: (23.530 x 10) x 0, 85 = 200.000 kWh/godini

b) Izračun potrošnje drvne sječke

– toplina koju treba isporučiti: 200.000 kWh/godini
– NOV drvne sječke (M 30%): 3,4 kWh/kg
– Učinkovitost postrojenja η_k: 80%
Potrebe za drvnom sječkom: 200.000 / 3,4 / 0,80 = 73.530 kg (≈ 75 t)

c) Približan izračun kapaciteta kotla (1.500 radnih sati), Q(kW) = 200.000 kWh /1.500 h / 0,80 ≈160 kW

Za izračun potreba za drvnom sječkom u postrojenjima srednje veličine mogu se koristiti sljedeće empirijske formule:

Kapacitet kotla u kW x 2,5 = potrebe za drvnom sječkom u nasipnom m^3/godini (crnogorično drvo P45, M30)
Kapacitet kotla u kW x 2,0 = potrebe za drvnom sječkom u nasipnom m^3/godini (bjelogorično drvo P45, M30)

3. PROIZVODNJA CJEPANICA I DRVNE SJEČKE

3.1. Faze rada i radni sustavi

U eksploataciji šumske biomase moguće je razlikovati sljedeće faze rada:

- sječa drva: rezanje drva u panju i rušenje na tlo,
- obrada: uklanjanje granja (uklanjanje granja s debla i rezanje vrha) te poprečna sječa (sječa debla na potrebnu duljinu),
- slaganje: prijevoz drva iz zone sječenja na rute za odvođenje,
- tegljenje: prijevoz drva rutama za odvođenje do stovarišta,
- skidanje kore: djelomično ili potpuno uklanjanje kore s trupaca,
- prijevoz: transport drva šumskim i javnim cestama,
- transformiranje: reduciranje dimenzija drva za dostavu na odredišne lokacije (rezanje, cijepanje, proizvodnja drvne sječke).

Važnost proizvodnje drvne sječke proteklih je nekoliko godina rasla. Rezultat je to činjenice da izrada drvne sječke omogućuje iskorištavanje i potpunu uporabu drvene biomase koja je inače neiskorištena.

Dva su glavna radna sustava u eksploataciji šuma:

- Sustav niskih drva (engl. Short Wood System) – SWS: obrada se potpuno obavlja na sječini u šumi, a odvlače se komercijalni trupci,
- Sustav punih drva (engl. Full Tree System) – FTS: nakon sječe, odvozi se čitavo drvo, a obrada se odvija ili na šumskoj cesti ili na stovarištu.

Iako se u nekim zemljama, primjerice Italiji, najčešće koristi sustav SWS, sustav FTS postaje sve uobičajeniji, posebno u alpskom području, i to u radu s kabelskom dizalicom: ovom se metodom šumski ostaci (grane i krošnje) prikupljaju ili uz cestu ili na stovarištu i tamo se režu.

3.2. Uređaji i oprema

U tablici 3.2.1. dat je pregled najvažnijih uređaja i opreme koji se koriste u radnjama iskorištavanja šume, a pritom je referentni kontekst talijanski. Za svaki je podatak naznačen raspon najfrekventnijih vrijednosti, dok su ekstremne vrijednosti izostavljene. Kada je naveden, trošak po satu uključuje plaću tehničara. Sve su cijene izražene bez PDV-a.

Tablica 3.2.1.

Motorna pila
trošak nabave: 500–900 €
učinkovitost u visokoj šumi:
1–1,2 punih m^3/h (prorjeđivanje)
2–2,5 punih m^3/h (glavna sječa)
učinkovitost u niskoj šumi:
0,4–0,7 prostornih m^3/h (prosječno stanje)
0,8–1,8 prostornih m^3/h (dobro stanje)
potrošnja goriva po satu:
0,6–1 l (mješavina benzina i nafte)
trošak po satu: ≈ 18–20 €

Traktor i vitlo
trošak nabave traktora: 45.000–60.000 €
trošak nabave vitla: 3.000–4.200 €
učinkovitost u visokoj šumi: 2,5–6 m^3/h
učinkovitost u niskoj šumi: 3–7 složenih m^3/h
potrošnja goriva po satu: 4–9 l
trošak po satu: ≈ 45–50 € (2 tehničara)

Traktor i prikolica
trošak nabave traktora: 45.000–60.000 €
trošak nabave prikolice: 8.000–25.000 €
kapacitet utovara: 5–15 t
učinkovitost: 5–12 punih m^3/h
(ovisno o udaljenosti vučenja)
potrošnja goriva po satu: 5–10 l
trošak po satu: ≈ 40–50 €

Kabelska dizalica s pokretnim tornjem za prikupljanje

lagana
trošak nabave: 40.000–120.000 €
maks. vučna snaga: 2.000 daN
učinkovitost: 3–6 punih m^3/h
potrošnja goriva po satu: 5–6 l
trošak po satu: ≈ 25–40 €

srednja
trošak nabave: 100.000–220.000 €
maks. vučna snaga: 5.000 daN
učinkovitost: 3–12 punih m^3/h
potrošnja goriva po satu: 6–10 l
trošak po satu: ≈ 40–80 €

Sakupljač (Harvester)
trošak nabave: 300.000–370.000 €
maks. promjer sječe: 65–70 cm
maks. promjer uklanjanja granja: 45–60 cm
maks. prilagodljiv nagib: 35% (kotači)
60% (gusjenice)
(uz optimalni kapacitet nosivosti tla)
učinkovitost u visokim šumama: 8–20 punih m^3/h
potrošnja goriva po satu: 11–16 l
trošak po satu: ≈ 90–120 €

Izvlakač (Forwarder)
trošak nabave: 180.000–270.000 €
kapacitet utovara: 10–14 t
maks. prilagodljiv nagib: 30–35%
dužina trupaca: do 6 m
učinkovitost: 12–20 punih m^3/h
(ovisno o udaljenosti vučenja)
potrošnja goriva po satu: 7–11 l
trošak po satu: ≈ 65–80 €

Hibridni sakupljač (Hybrid Harvester)
trošak nabave: 240.000 €
maks. promjer sječe: 55 cm
maks. promjer uklanjanja granja: 50 cm
maks. prilagodljiv nagib: 45–50%
učinkovitost: 10–15 punih m^3/h
potrošnja goriva po satu: 10–12 l
trošak po satu: ≈ 80 €

Tegljač (Skider)
trošak nabave: 120.000–150.000 €
kapacitet tegljenja: do 3 t
maks. prilagodljiv nagib: 20%
učinkovitost: 8–12 punih m^3/h
(ovisno o udaljenosti vučenja)
potrošnja goriva po satu: 6–10 l
trošak po satu: ≈ 55–65 €

Prerađivač koji se instalira na traktor:
trošak nabave traktora: 30.000 €
trošak nabave prerađivača: 45.000 €
maks. promjer sječe: 48 cm
maks. promjer uklanjanja granja: 40 cm
učinkovitost: 10–15 punih m^3/h
potrošnja goriva po satu: 4–5 l
trošak po satu: ≈ 35 €

Prerađivač na bageru
trošak nabave bagera: 170.000 €
trošak nabave prerađivača: 60.000 €
maks. promjer sječe: 65 cm
maks. promjer uklanjanja granja: 60 cm
učinkovitost: 15–40 punih m^3/h
potrošnja goriva po satu: 15–17 l
trošak po satu: ≈ 85 €

Iverač
male snage
trošak nabave: 3.500–35.000 €
radni promjer: maks. 20 cm
učinkovitost: 2-3 t/h
potrošnja goriva po satu: 5-8 l
srednje snage
trošak nabave: 15.000-75.000 €
radni promjer: maks. 30 cm
učinkovitost: 4-7 t/h
potrošnja goriva po satu: 10-14 l
visoke snage
trošak nabave: 31.000-250.000 €
radni promjer: > 30 cm
učinkovitost: 13-20 t/h
potrošnja goriva po satu: 34-38 l
trošak po satu: ≈ 150-190 €

Pila
trošak nabave: 600-2.000 €
radni promjer: 14-25 cm

Kalač
trošak nabave: 1.500-14.000 €
radna dužina trupaca: 0,3-4 m

Kombinirano (pila-kalač)
trošak nabave: 7.000-70.000 €
radni promjer: 25-60 cm
radna dužina trupaca: 2-6 m
trošak po satu: ≈ 70-150 €

Kamion i prikolica (prijevoz trupaca)
trošak nabave traktora: 110.000-150.000 €
trošak nabave prikolice: 20.000-30.000 €
kapacitet utovara: 18-20 t
potrošnja goriva: 2,5-3,5 km/l
trošak po satu: ≈ 60-75 €

Kamion i prikolica (prijevoz drvne sječke)
trošak nabave traktora: 100.000-115.000 €
trošak nabave prikolice: 45 000 €
kapacitet utovara: 20-22 t (85-90 nasipnih m^3)
potrošnja goriva: 2,5-3,5 km/l
trošak po satu: ≈ 65-70 €

sa zahvatnom lopatom
trošak nabave: 205.000 €
kapacitet utovara: 81 nasipni m^3
trošak po satu: ≈ 70-75 €

Strojevi koji su na specifičan način uključeni u lanac opskrbe energijom iz drvene biomase koriste se u proizvodnji cjepanica i drvne sječke.

Strojevi za proizvodnju cjepanica

Nakon prve obrade motornom pilom, drvo se prevozi na radno mjesto gdje se reducira u formu koja je kompatibilna odredištu dostave goriva.

Sirovi materijal prolazi kroz tri različite faze:

- **odabir:** materijal se dijeli u vrste, ovisno o odredištu (dimnjak ili peć). Podjela se obično radi ručno,
- **rezanje:** skraćivanje trupaca na duljine od 25 do 100 cm rezanjem okomito na vlakna,
- **cijepanje:** smanjivanje širine lomljenjem trupaca primjenom mehaničke sile koja se primjenjuje paralelno vlaknima.

Ovisno o radnji, strojevi za proizvodnju cjepanica mogu se podijeliti na:

- **pila za trupce**: ako su temelji na tehnologiji tračne pile, mogu procesuirati promjere veće od 40 cm i imaju nizak gubitak u rezanju; ako se temelji na kružnoj pili, mogu procesuirati manje promjere i imaju veći gubitak u rezanju,
- **kalač:** opremljeni su ili klinom ili uređajem za lomljenje**.** Kalači s klinom za uporabu u domaćinstvu imaju klin s 2 ili 4 strane, a rade tako da trupac drže okomito i maksimalnog su radnog pritiska do 15 t, dok se u industrijskoj uporabi cjepanica drži vertikalno i gura se nasuprot klinu ili rešetki, klin ima do 16 strana i radni pritisak se kreće od 40–60 t. Kalači na principu vijka opremljeni su konusnim vijkom koji ulazi u drvo kako bi ga razdvojio. Brži su od prethodnih, ali su manje precizni. Iz sigurnosnih razloga najbolje rješenje je instalirati uređaj na krak (traktora, na primjer),
- **kombinirano** (pila-kalač): postoje mobilni modeli, no većinu čine stacionarni uređaji koji kombiniraju dvije radnje, dopuštajući viši stupanj automatizacije procesa i višu produktivnost, radeći i na trupcima i na velikim granama. Opremljeni su električnim motorom ili benzinskim motorom (do 55 kW), mogu obrađivati trupce dužine do 6 m i promjera od 60 cm te mogu proizvesti više od 12 t/h materijala.

Obrada bjelogorice zahtijeva više snage od obrade crnogoričnog drva, a sve vrste drva mogu se lakše lomiti kada su svježa negoli kada su sušena.

Iverači

Iverač je stroj koji je specijalno konstruiran da bi drvo reducirao do drvne sječke, a može biti stacionaran ili montiran na kola, prikolicu ili kamion, ili na stražnju trokraku kuku traktora. Može imati vlastiti motor ili se može pogoniti preko traktora.

Ovisno o jedinici koja se usitnjava, mogu se razlikovati:

- **iverači s diskom:** jedinica za usitnjavanje drva sastoji se od teškog zamašnjaka na koji su radijalno pričvršćene od dvije do četiri oštrice. Materijal dolazi u kontakt s diskom pod kutom od 30 do 40 stupnjeva prema plohi diska i rotirajućim oštricama, pri čemu se izrezuju komadi drveta i lome u sječku. Veličina drvne sječke obično je između 0,3 i 0,45 cm i može se modificirati prilagodljivom ležišnom oštricom.
- **iverači s bubnjem:** veći su i snažniji od iverača s diskom, mogu lako obrađivati i trupce i ostatke sječe. Jedinica za usitnjavanje sastoji se od čeličnog cilindra s maksimalno 12 instaliranih oštrica po obodu. Veličina drvne sječke je heterogenija, dužine do 6,5 cm. Oštrice se moraju mijenjati svakih 50-100 t (rad s bjelogoricom) ili 200-300 t (rad s crnogoričnim drvom).
- **iverač s dovodnim vijkom:** usitnjavanje vrši velika gusjenica spuštajućeg dijela s oštrim rubovima koja se rotira po horizontalnoj osi. U usporedbi s iveračima s diskom i bubnjem, ovi uređaji nisu pretjerano raširen, a uglavnom mogu prerađivati čitava drva ili trupce i proizvoditi veće drvne sječke (do oko 8 cm).

Ovisno o potrebnoj snazi, postoje tri kategorije:

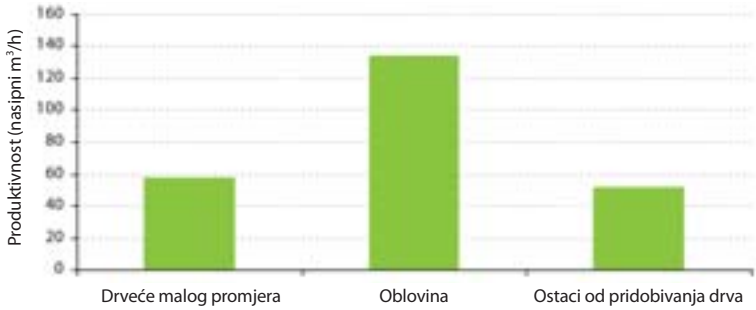
- **male snage:** obično instalirane na stražnju trokraku kuku traktora ili na prikolicu, ovi se iverači pogone putem traktora ili samostalnim motorom (~50 kW). Mogu obrađivati samo male promjere (maks. 20 cm), a dnevno mogu proizvoditi najviše 20 t.
- **srednje snage:** montirane na prikolicu, najčešće sa samostalnim motorom (50-110 kW), mogu usitniti promjere od 30 cm, a dnevno proizvoditi do 50 t.
- **visoke snage:** instalirane na prikolice ili kamione, ovi se iverači ponekad aktiviraju motorom kamiona, ali obično imaju autonomni motor (> 130 kW); mogu usitnjavati velike promjere (> 30 cm) i dnevno bez problema proizvode više od 60 t.

Sito je važan alat koji omogućuje separaciju drvne sječke tijekom izbacivanja, čime rafinira materijal, ali istovremeno i smanjuje produktivnost.

Kada se usitnjavanje vrši na mjestu koje nije krajnje postrojenje, drvna sječka se prevozi ili kamionom ili kamionom i prikolicom, a rijetko vozilom za kontejnerski prijevoz. Na kamion i prikolicu može se instalirati zahvatna korpa kako bi se omogućio autonomni utovar drvne sječke.

Austrijsko istraživanje pokazalo je da se produktivnost (nasipni m^3) iverača visoke snage razlikuje u skladu s vrstom materijala koji se treba usitniti[19]; vrijednosti prosječne produktivnosti (grafikon 3.2.1.) uključuju vrijeme čekanja dok kamion i prikolica ne istovare drvnu sječku. Izračunato je da to vrijeme obuhvaća otprilike 20% ukupnog vremena.

Grafikon 3.2.1.



3.3. Lanac opskrbe energetskim drvom i njegovi troškovi

Kao primjer, u nastavku se nalaze tri dijagrama mogućih lanaca opskrbe energetskim drvom za kotlove na drvnu sječku (s fiksiranom ili pokretnom rešetkom) koji su smješteni u planinskom području. Izračuni su izrađeni sa stajališta šumarskog poduzeća koje upravlja opskrbnim lancem.*

1. Prorjeđivanje neposječene crnogorične šume primjenom radnog sustava FTS. Odredište drvne sječke: kotao na drvnu sječku s fiksnom podlogom izgaranja (M 30%, P45; ref. tablica 4.4.1.). Cijena uz dostavu do postrojenja 18-20 €/nasipni m^3 (= 80 –90 €/t).

Faza rada	Oprema	Učinkovitost (nasipni m^3/h)	Trošak (€/nasipni m^3)
Sječa	2 motorne pile	35	0,5
Tegljenje čitavog drva	2 traktora i vitlo	17	5,9
Mehanizirano procesuiranje na mjestu sječe	prerađivač na traktoru	24,3	1,4
Utovar trupaca na kamion i prikolicu	kamion i prikolica	121,5	0,6
Prijevoz trupaca do sabirno-logističkog centra za biomasu (u oba smjera 90 km)	kamion i prikolica	36,5	2
Istovar trupaca na kamion i prikolicu	kamion i prikolica	145,8	0,5
Prirodno sušenje	—	—	0,3
Usitnjavanje trupaca	iverač visoke snage	100	1,4
Dostava drvne sječke (u oba smjera 90 km)	kamion i prikolica	24,4**	2,0
UKUPNO			14,6

Vrijednost trajnog drveća dodaje se ukupnoj vrijednosti (od 0 do 5 €/nasipni m^3 za radnje prorjeđivanja)
** Osušena drvna sječka (M 30%)

2. Prorjeđivanje neposječene crnogorične šume primjenom radnog sustava FTS. Odredište drvne sječke: kotao na drvnu sječku s pomičnom rešetkom (M 55%, P63; ref. tablica 4.4.1.). Cijena uz dostavu do postrojenja 10-13 €/nasipni m^3 (= 29-38 €/t). Ostaci iskorištavanja koji su ostavljeni na šumskoj cesti dostupni su bez troška jer se svi troškovi iskorištavanja naplaćuju na industrijskom deblu.

Faza rada	Oprema	Produktivnost (nasipni m^3/h)	Trošak (€/nasipni m^3)
Ostaci iskorištavanja usitnjavanjem	iverač visoke snage	55	2,6
Dostava drvne sječke (u oba smjera 90 km)	kamion i prikolica	22,1***	2,4
UKUPNO			5,0

*** Svježa drvna sječka (M 55%)

* Korištena je sljedeća jednakost 1 puni m^3 = 2,43 nasipna m^3 drvne sječke (volumetrijski indeks = 0,41 punog m^3/nasipni m^3).
1 nasipni m^3=223 kg (M 30%). 1 nasipni m^3=347 (M 55%).

3. Prorjeđivanje neposječene crnogorične šume primjenom radnog sustava FTS. Odredište drvne sječke: kotao na drvnu sječku s pomičnom rešetkom (M 55%, P63; ref. tablica 4.4.1.). Cijena uz dostavu do postrojenja 10-13 €/nasipni m^3 (= 29-38 €/t). Rezultati su u skladu s indikacijama pronađenima u dostupnoj literaturi, a prema njima, mogućnosti iskorištavanja u kojima je svježa drvna sječka (crnogoričnog ili bjelogoričnog drva) za primjenu u kotlovima s pomičnom rešetkom jedini proizvod, jedva su ekonomski održive. Proizvodnja ove vrste drvne sječke mora uključivati i druge mogućnosti proizvodnje, a ne biti ekskluzivna odnosno isključivati druge mogućnosti eksploatacije.

Faza rada	Oprema	Učinkovitost (nasipni m^3/h)	Trošak (€/nasipni m^3)
Sječa	2 motorne pile	35	0,5
Tegljenje čitavog drva	2 traktora i vitlo	17	5,9
Usitnjavanje čitavih drva	Iverač visoke snage	60	2,4
Dostava drvne sječke (u oba smjera 90 km)	kamion i prikolica	22,1*	2,4
UKUPNO			11,2

Vrijednost trajnog drveća dodaje se ukupnoj vrijednosti (od 0 do 5 €/nasipni m3 za radnje prorjeđivanja)

* Svježa drvna sječka (M 55%)

4. ZAHTJEVI KVALITETE I REFERENTNI STANDARDI

Europski odbor za normizaciju, CEN (TC335), trenutačno priprema 30 tehničkih specifikacija za kruta biogoriva. CEN/TC 335 tehnički je odbor koji razvija nacrte standarda kako bi se opisale sve vrste krutih biogoriva u Europi, uključujući drvnu sječku, drvne pelete i brikete, cjepanice, piljevinu i bale slame. Dvije najznačajnije tehničke specifikacije koje se razvijaju tiču se klasifikacije i specifikacije (CEN/TS 14961) i osiguranja kvalitete za kruta biogoriva (CEN/TS 15234). Klasifikacija krutih biogoriva temelji se na njihovom porijeklu i izvoru. Slijedi popis najvažnijih tehničkih specifikacija koje je pripremio Odbor CEN 335:

1. CEN/TS 14588:2003 Kruta biogoriva – Terminologija, definicije i opisi
2. CEN/TS 14961:2005 Kruta biogoriva – Specifikacije i klase goriva
3. CEN/TS 15234:2006 Kruta biogoriva – Osiguranje kvalitete goriva
4. CEN/TS 14774-1:2004 Kruta biogoriva – Metode za određivanje udjela vlage – Metoda sušenja u sušioniku – Prvi dio: Ukupna vlaga – referentna metoda
5. CEN/TS 14774-2:2004 Kruta biogoriva – Metode za određivanje udjela vlage – Metoda sušenja u sušioniku – Drugi dio: Ukupna vlaga – pojednostavljena metoda
6. CEN/TS 14774-3:2004 Kruta biogoriva – Metode za određivanje udjela vlage – Metoda sušenja u sušioniku –Treći dio: Vlaga u uzorku za opću analizu
7. CEN/TS 14778-1:2005 Kruta biogoriva – Uzorkovanje – Prvi dio: Metode uzorkovanja
8. CEN/TS 14918:2005 Kruta biogoriva – Metoda za određivanje ogrjevne vrijednosti
9. CEN/TS 15103:2005 Kruta biogoriva – Metoda za određivanje nasipne gustoće
10. CEN/TS 15296:2006 Kruta biogoriva – Izračun analiza različitih osnova

Kvalitativna klasifikacija krutih biogoriva definirana je na razini Europe Tehničkom specifikacijom CEN/TS 14961 *(Kruta biogoriva, specifikacija i razredi biogoriva* 2005.).

4.1. Tehničke specifikacije cjepanica i drvne sječke

Europska specifikacija CEN/TS 14961:2005 pruža regulatorne informacije koje treba uzeti u obzir pri sastavljanju bilo kakvih ugovora o nabavi Deklaracije o kvaliteti za isporučena biogoriva (Dodaci A1 i A2). U nastavku je reproduciran normativni dio specifikacija za trupce i drvnu sječku.

Tablica 4.1.1.

	Izvor: U skladu s tablicom 1 TS-a		Drvena biomasa (1.1.2.1., 1.1.2.2., 1.1.2.3.)
	Oblik kojim se trguje		CJEPANICE
NORMATIV	**Dimenzije** Duljina (L) Debljina (D) (maksimalni promjer jednog rezanja)		
	P200-	L < 200 i D < 20 (drvo za paljenje)	
	P200 P250 P330 P500 P1000 P1000+	L = 200 ± 20 i 40 ≤ D ≤ 150 mm L = 250 ± 20 i 40 ≤ D ≤ 150 mm L = 330 ± 20 i 40 ≤ D ≤ 160 mm L = 500 ± 40 i 60 ≤ D ≤ 250 mm L = 1000 ± 50 i 60 ≤ D ≤ 350 mm L > 1000 (mora se navesti prava vrijednost)	
	Vlaga (M)		
	M20 ≤ 20% M30 ≤ 30% M40 ≤ 40% M65 ≤ 65%	Cjepanica spremna za loženje Sušenje u spremištu Sušenje u šumi Svježe, nakon sječe u šumi	
	Drvo Treba navesti koristi li se crnogorično drvo, bjelogorično drvo ili njihova mješavina		

Tablica 4.1.2.

	Izvor: U skladu s tablicom 1 TS-a			Drvena biomasa (1.1.1., 1.1.2., 1.1.3., 1.1.4., 1.1.6., 1.2.1.1., 1.2.1.2., 1.2.1.4.)
	Oblik kojim se trguje			DRVNA SJEČKA
NORMATIV	**Dimenzije**			
		Glavni lom > 80% težine	Fini lom < 5%	Grubi lom < 1%
	P 16	3,15 mm ≤ P ≤ 16 mm	<1 mm >	45 mm, sve < 85 mm
	P 45	3,15 mm ≤ P ≤ 45 mm	<1 mm >	63 mm
	P 63	3,15 mm ≤ P ≤ 63 mm	<1 mm >	100 mm
	P 100	3,15 mm ≤ P ≤ 100 mm	<1 mm >	200 mm
	Vlaga (M) M20 ≤20% Osušeno M30 ≤30% Prikladno za skladištenje M30 ≤40% Ograničeno za skladištenje M55 ≤ 55% M65 ≤ 65%			
	Pepeo (% na s.o.) A0.7 ≤0,7% A1.5 ≤1,5% A3.0 ≤3,0% A6.0 ≤6,0% A10 ≤10,%			

4.2. Instrumenti za brzo određivanje vlage

Iako je gravimetrijska metoda (pogledati CEN/TS 14774-1) jedina priznata referentna metoda za točno određivanje vlage drva*, današnja tehnologija nudi seriju prenosivih praktičnih alata za brzo utvrđivanje potonje. Takvi su se alati pokazali posebno korisnima u implementaciji ugovora o nabavi po težini (pogledati poglavlje 5.2.). Točnost rezultata, naravno, ovisi o reprezentativnosti uzorka, ali i o pažljivosti kojom se mjerenje izvodi. Posebna se pozornost mora obratiti početnim postavkama uređaja i faktorima korekcije. Dostupni mjerni uređaji na tržištu mogu se podijeliti u kontaktne i igličaste.

Cjepanice i trupci

Za cjepanice i trupce malog promjera mogu se koristiti igličasti metri koji mjere električni otpor (provodnost) između dvije elektrode (čavli). Između električnog otpora i udjela vlage u drvetu postoji korelacija koja je maksimalna u higroskopskom području (M 0–23%). Mjerenje se provodi isključivo unutar prostora između dviju elektroda, na dubini njihova umetanja (do oko 5 cm).

Najnoviji specifični modeli mogu odrediti vlagu uzorka unutar raspona od M 10–60% (u 11–150%), s razlučivosti od 0,1% (www.humimeter.com).

Drvna sječka

Instrumenti koji se koriste za drvnu sječku su kontaktni instrumenti koji mjere dielektričnu konstantu (elektrostatički napon). Što je viši udio vlage, to će i dielektrična konstanta biti veća. U posljednjih su nekoliko godina razvijeni dielektrični higrometri posebno za drvnu sječku, piljevinu, strugotine, koru, pelete, a udovoljavaju Specifikaciji CEN/TS 14961 (www.schaller-gmbh.at). Takvi instrumenti mogu mjeriti drvnu sječku koja pripada razredima veličina P16 i P45, uz maksimalnu vlagu od 60%. Materijal se najprije važe kako bi se identificirala ispravna kalibracijska krivulja za instrument. Kad se to učini, drvna sječka se sipa u spremnik u kojem prolazi kroz slabo elektromagnetsko polje te na isto utječe vlagom. Nakon nekoliko sekundi na zaslonu se može očitati mjerenje vlage u uzorku.

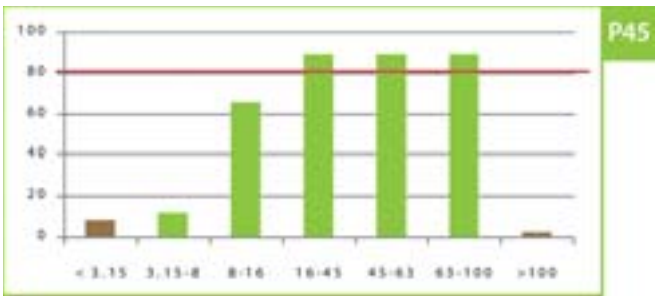
*Gravimetrijska metoda primjenjuje se u laboratoriju i sastoji se od mjerenja uzorka prije potpunog sušenja u kotlu na temperaturi od 103 °C i nakon njega. Potrebna su 24 sata da bi se izvela.

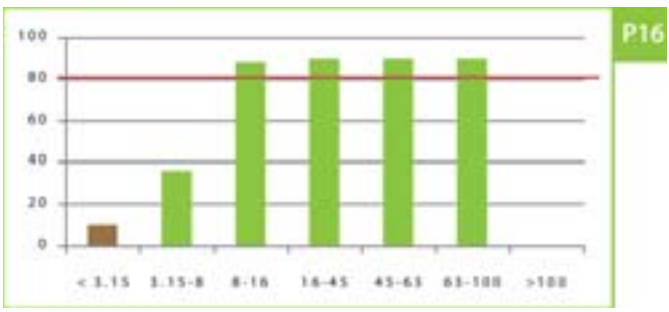
4.3. Određivanje dimenzija drvne sječke

Razred veličine određuje se u laboratoriju pomoću posebnih vibrirajućih sita postavljenih u serije koje udovoljavaju zahtjevima postavljenim u Standardu CEN/TS 14961.

Slika 4.3.1. **Uređaj za utvrđivanje veličine drvne sječke** (AIEL 2006)

Slika 4.3.2. **Primjer klasifikacije veličine u dvama uzorcima drvne sječke P45 i P16**





4.4. Kvalitativni zahtjevi kotlova

Glavne karakteristike ogrjevnog drva koje zahtijevaju kotlovi su: dimenzije te udjeli vlage i pepela. Tablica 4.4.1. daje indikativan pregled karakteristika koje od goriva zahtijevaju kotlovi na cjepanice i drvnu sječku.

Tablica 4.4.1.

Tipovi kotla	Kapacitet kWt	Rešetka	Sustav napajanja	Dimenzije (P)	Vlaga (M)	Pepeo (A)
Kotao na cjepanice	< 100	fiksirana	ručno	P330–1.000	M20	–
Kotao na drvnu sječku	< 150	fiksirana	vijak	P16–45	M20-M30	A1,5
	(30)150 –1.000	fiksirana/ djelomično pokretljiva	vijak	P16–45	M20-M40	A1,5–3,0
	> 1.000	pokretljiva	hidraulička poluga	P16–100	M30-M55	A3,0–10,0

Veličina potrebna za **kotlove na cjepanice** uz ručno dodavanje ovisi o veličini otvora za dodavanje goriva. Određeni modeli kapaciteta 100 kW i s većim otvorom za punjenje cjepanicama mogu biti napunjeni komadima dugim i do 1 m.
Kotlovi na cjepanice zahtijevaju korištenje razreda M20, inače ne dolazi do potpunog izgaranja jer energija koja je potrebna za isparavanje vode uzrokuje pad temperature u komori za izgaranje ispod minimalne razine potrebne za održavanje izgaranja. Korištenje cjepanica vlažnosti iznad M20 uzrokuje značajno povećanje faktora emisije.

Kotlovi na drvnu sječku s fiksiranom rešetkom zahtijevaju veoma homogen materijal (P16 i P45) zbog rešetke male veličine i zbog činjenice da preveliki komadi mogu blokirati pužni transporter. Nasuprot tome, kotao većeg kapaciteta s instaliranim hidrauličkim cilindrima odnosno pokretnom rešetkom mnogo je fleksibilniji. Vlažnost drvne sječke u kotlovima s fiksiranom rešetkom ne smije biti iznad 30% (M30). Ovi kotlovi imaju toliko nisku termalnu inerciju da su volumeni komore za izgaranje i vode u izmjenjivaču topline ograničeni. Stoga bi uvođenje materijala visoke vlažnosti značajno snizilo temperaturu izgaranja. Štoviše, previše vlage može ugroziti početnu fazu jer kotlovi imaju automatski (električni) uređaj za paljenje. Vlažnost drvne sječke trebala bi biti što homogenija. Što je vlaga heterogenija, to će viši biti i kapitalni trošak za tehnologiju koja je sposobna upravljati čak i najkompleksnijim proce-

som izgaranja koji može proizaći iz toga. U kotlovima s pomičnom rešetkom može gorjeti svježa drvna sječka; međutim, što je drvna sječka vlažnija, to će proces energetske konverzije više gubiti na učinkovitosti. Dio energije mora se 'potrošiti' na evaporaciju vode iz drveta. Nadalje, uporaba drvne sječke niske kvalitete (npr. drvna sječka koja je isključivo dobivena iz ostataka od pridobivanja crnogoričnog drva i koju većinom čine iglice) povećava troškove održavanja (fuzijska troska, čišćenje izmjenjivača) i proizvodi značajan pad u radu generatora, uz posljedičan rast krajnjih troškova energije[14].

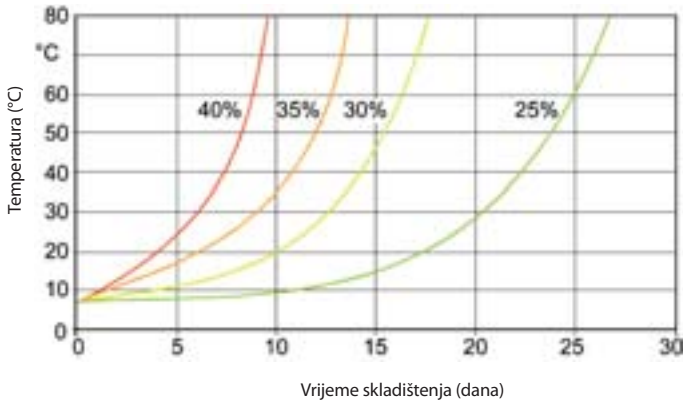
4.5. Procesi sušenja drva

Samozagrijavanje

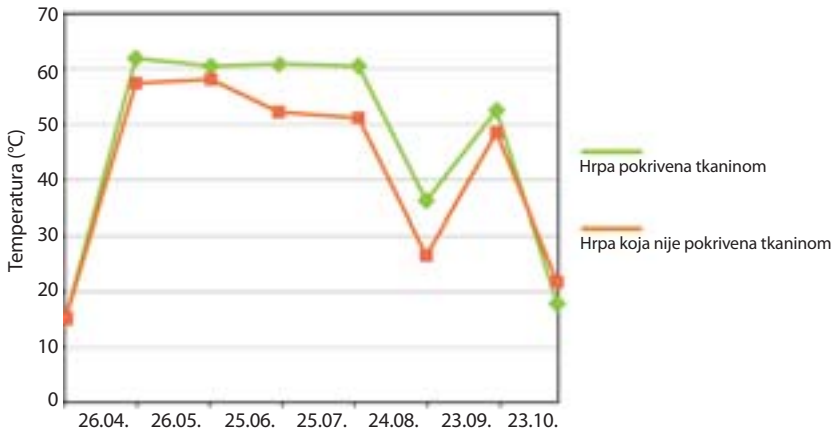
Tijekom pohrane, svježa lignocelulozna biomasa postaje toplija zbog procesa respiracije parenhimskih stanica koje su još uvijek žive. Ti procesi prestaju kad temperatura dosegne 40°C. Daljnji rast temperature drvene mase može se pripisati metabolizmu gljiva i bakterija. Dok gljive mogu preživjeti i do temperature od otprilike 60°C, aktivnost termofilnih bakterija počinje na 75 do 80°C. Pod posebnim uvjetima, zagrijavanje biomase može dosegnuti i temperaturu od otprilike 100°C. Međutim, razlozi koji uzrokuju ovaj daljnji rast temperature još nisu objašnjeni. Na temperaturi iznad 100°C počinju neki od procesa termokemijske transformacije koji, iako veoma rijetko, mogu uzrokovati fenomen spontanog izgaranja. Takav se fenomen općenito događa s veoma finim drvenim materijalom (fina piljevina) i korom.

Kad su uvjeti za rast bakterija i gljiva optimalni (npr. M 40%), drvo se počinje zagrijavati već nakon nekoliko sekundi. Nasuprot tome, mikroorganizmi se ne aktiviraju u uvjetima trajno niskih temperatura (zimi), osim ako se prethodno nisu aktivirali (slike 4.5.1. i 4.5.2.).

Slika 4.5.1. Temperaturni trendovi u hrpi drvne sječke različitog sadržaja vlage. Što je razina vlage viša, to će se hrpa prije zagrijati[2]



Slika 4.5.2. Razvoj temperature (od travnja do studenog) u dvije hrpe drvne sječke, prekrivene i nepokrivene prozračnom tkaninom (TOPTEX) [12]



Gubitak drvene tvari

Zbog intenzifikacije metaboličkih aktivnosti gljiva i bakterija dolazi do dekompozicije drvene tvari što kao posljedicu ima gubitak organske mase goriva. Kako bi se minimalizirali takvi gubici, biološka aktivnost mora se što je moguće više držati pod kontrolom. U nastavku je popis mjera koje se mogu poduzeti, posebno za drvnu sječku i koru na koje, među gorivom, takvi problemi najčešće utječu.

- Pohranite materijal koji sadrži što je manje moguće vlage i držite ga na mjestu koje nije izloženo kiši,
- Prednost dajte prirodnoj ventilaciji: ona ubrzava gubitak topline i vode,
- Imajte na umu da gruba i uobičajena veličina materijala potiče unutrašnju ventilaciju,
- Koristite alate za rezanje odgovarajuće oštrine (uobičajene veličine),
- Na minimum svedite prisutnost iglica i lišća koje mikroorganizmi često napadaju,
- Minimalizirajte trajanje pohrane,
- Odaberite idealnu visinu hrpe.

Nije uvijek moguće usvojiti sve navedene taktike. Stoga se u obzir mora uzeti i određeni gubitak drvene tvari. Neke indikativne vrijednosti navedene su u tablici 4.5.1.[2]

Tablica 4.5.1.

Materijal/Tip spremnika	Godišnji gubitak (wt% d.b.)
Drvna sječka šumskog drveća, svježa, nepokrivena	20 do > 35
Drvna sječka šumskog drveća, fina, sušena, pokrivena	2–4
Gruba drvna sječka šumskog drveća (7-15 cm), svježa, pokrivena	4
Kora, svježa, nepokrivena	15–22
Trupci (bukva, smreka) nakon 2 godine, pokriveni	2,5
Trupci (bukva, smreka) nakon 2 godine, nepokriveni	5–6
Trupci (smreka, jela), svježi, nepokriveni	1–3
Mlada cijela drva (jablan, vrba), svježa, nepokrivena	6–15

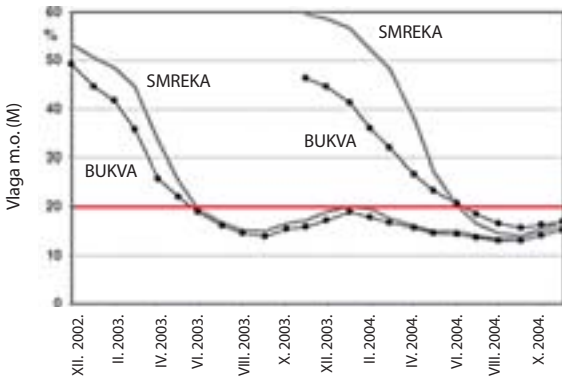
Gubitak drvene tvari, barem djelomično, može se uravnotežiti smanjenjem vlažnosti u materijalu na mjestu pohrane; to uključuje povećanje neto ogrjevne vrijednosti (uzimajući u obzir masu od 1 kg, uključujući i vodu). Čak i kad su podvrgnuti sušenju (zagrijanim zrakom), predviđa se ukupni gubitak suhe tvari od otprilike 4%. Ako su, tijekom određenog razdoblja, podvrgnuti forsiranoj ventilaciji (nezagrijanim zrakom) koja omogućuje samozagrijavanje mase, gubitak se udvostručuje i raste do oko 7-8%[2].

4.6. Sušenje cjepanica

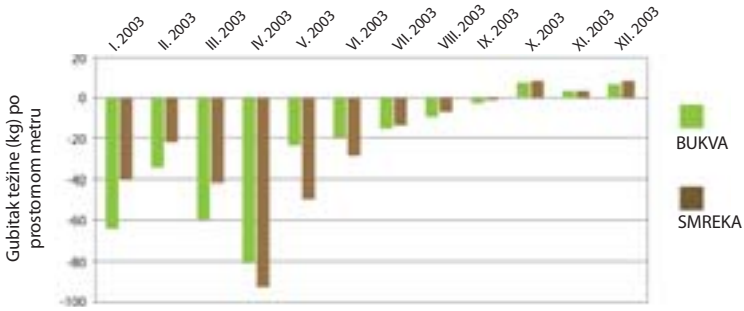
Cjepanice vodu počinju gubiti u zimi, ali najveći gubitak vode bilježe u ožujku (otprilike 10%). Tijekom posebno toplih ljeta (npr. ljeto 2003., slika 4.6.1.), svježe drvo posječeno u prosincu i pohranjeno pod pokrovom može već u lipnju dosegnuti vlažnost od 20% (M20), što ga čini pogodnim za komercijalizaciju kao cjepanica spremnih za loženje. Međutim, u slučaju vlažnih ljeta (npr. ljeto 2003., slika 4.6.1.), uočljive razlike su minimalne, a vrijednost M 20% dostiže se samo mjesec dana kasnije. Počevši od svibnja,

drvo smreke suši se mnogo brže od drva breze iako se potonja na prvi pogled čini sušom od smreke zbog svoje niže početne vlage i bržeg gubitka vode. U svakom slučaju, objema vrstama potrebno je otprilike jednako vremena da bi dostigle M20. Količina vode koja ispari iz drva na svom je maksimumu u travnju, a vrhunac iznosi otprilike 90 l/prostorni m^3/mjesec. Počevši od rujna, voda ponovno dobiva vlagu iz zraka i kiše; procjenjuje se da od listopada do prosinca drvo ponovno dobije 5 l/nasipni m^3/mjesec (slika 4.6.2.).

Slika 4.6.1. **Proces sušenja iverica i složenih trupaca, sušenih na zraku i pod pokrivačem[4]**



Slika 4.6.2. **Mjesečna stopa sušenja vlažnog, rascijepljenog i složenog jednometarskog drva za ogrjev, sušenog na otvorenom i pod pokrivačem [4]**



Cjepanica spremljena pod pokrivačem suši se donekle brže tijekom mjeseci rane zime. Ovu prednost pokrivenih drva nepokrivena drva kompenziraju tijekom ljetnih mjeseci. Na veoma kišovitim mjestima, preporučljiva je drvarnica jer doprinosi povratu krajnje granice vlage tijekom sljedećeg jesensko-zimskog razdoblja. Ako je struktura primjereno prozračna (zidovi s prorezima), nadasve se preporučuje pohrana pod pokrivalom.

U usporedbi s rascijepljenim cjepanicama, nerascijepljene cjepanice dosežu M20 dva mjeseca kasnije. Stoga, kako bi se M20 dostigao s većim stupnjem sigurnosti i kako bi se takva vlažnost zadržala do jeseni, savjetuje se niskokvalitetne trupce promjera većeg od 10 cm sjeći prije sezone sušenja.

Preporuke za skladištenje cjepanica

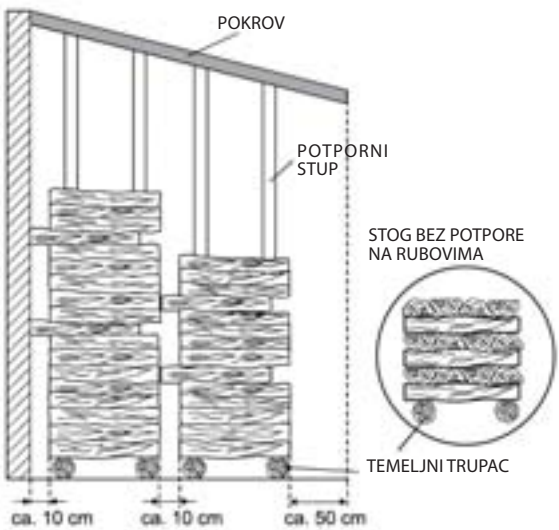
Tijekom obrade drva i pripreme slaganja cjepanica važno je, što je moguće više, izbjegavati 'prljanje' trupaca. Mjesto obrade mora imati čvrst i stabilan pod (betonski ili asfaltni).

Cjepanice se mogu sušiti ili na otvorenome ili pod prozračnim pokrovom, ali u svakom slučaju moraju biti zaštićeni od vlage tla i od kiše.

Glavne preporuke za skladištenje cjepanica:

- Tlo (pod) se mora održavati suhim; ako je to moguće, potrebno je osigurati cirkulaciju zraka na način da se složena drva odignu sa tla uz pomoć greda ili trupaca.
- Preferira se pohranjivanje drva na mjestima koja su otvorena zraku i suncu (npr. na rubu šume, u dvorištu),
- Udaljenost između pojedinačnog stoga i između stogova i zidova skladišta za pohranu mora iznositi najmanje 10 cm,
- Vanjski zidovi skladišta moraju se držati otvorenima (prorezi),
- Kad god je to moguće, cjepanice za dnevno korištenje potrebno je pohranjivati u prostoriju s kotlom kako bi se prethodno zagrijali.

Slika 4.6.3. **Primjer rasporeda i prostora trupaca pod krovom** [2]



Spremnici za pohranu, sušenje i prijevoz trupaca

Na tržištu su dostupne različite vrste spremnika za pohranu, sušenje i prijevoz rascijepljenih cjepanica. Među najzanimljivijima, i s ekonomskog gledišta, su spremnici od osnovne drvene palete kojoj je pridružena kvadratna isprepletena čelična mreža koja služi kao zid; gornji je dio prekriven drugom paletom koja je s vanjske strane izolirana najlonom. Takva je struktura visoka 2 m i može sadržavati nasipni m^3 rascijepljenih cjepanica. Spremnik se puni direktno putem transportera (slika 4.6.1.).

Slika 4.6.4.

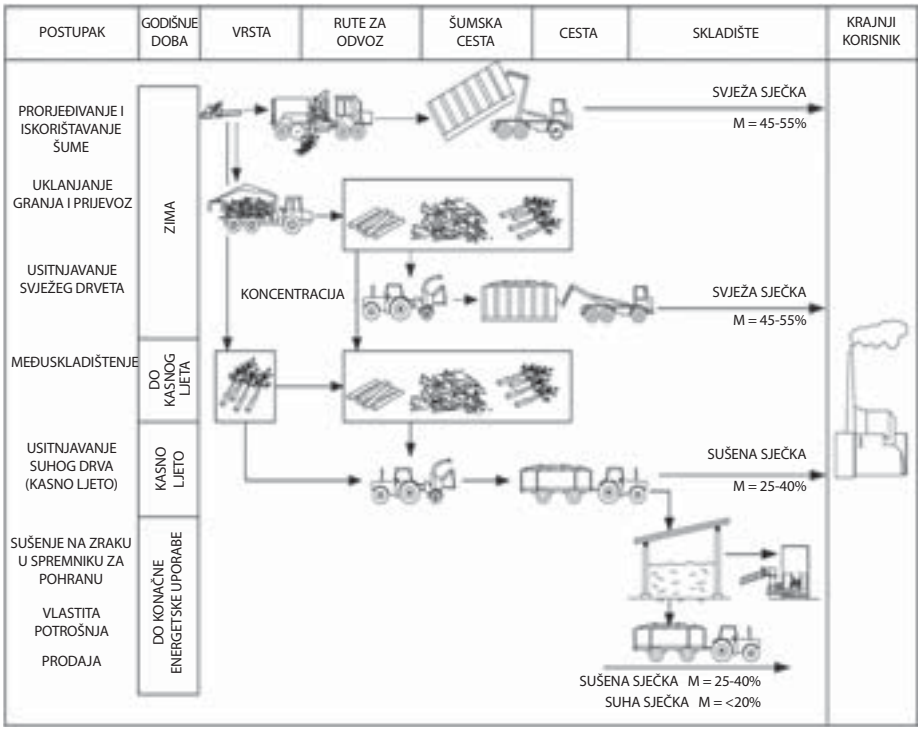
Druga funkcionalna i jeftina mogućnost jest ponovno korištenje metalne konstrukcije koja je instalirana na drvenu paletu kao potpora za plastične spremnike od 1 m^3 za pohranu tekućina (slika 4.6.2.).

Slika 4.6.5.

4.7. Sušenje drvne sječke

Da bi se proizvela drvna sječka odgovarajuće kvalitete kako bi se mogla koristiti u kotlovima niske i srednje snage (s fiksiranom rešetkom), koristi se sljedeći sirovi drveni materijal: crnogorični trupci bez grana, usjeke i ploče crnogoričnog drva i listača, trupci listača (s granama ili bez njih) i ostaci od pridobivanja listača, ako je moguće promjera od najmanje 5 cm kako bi se ograničio sadržaj pepela čiji je postotak viši u kori nego u drvu.

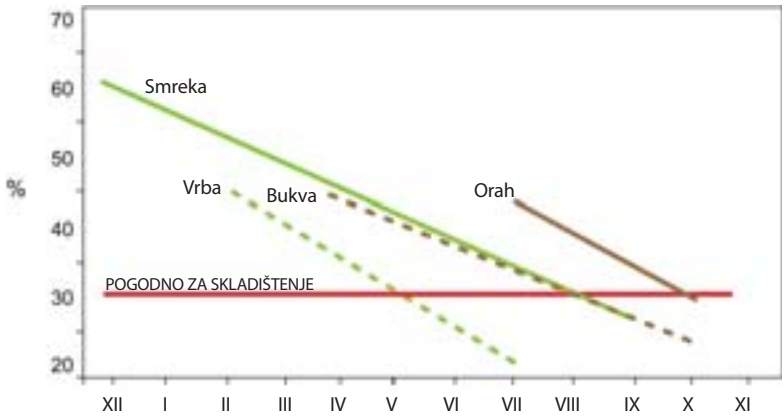
Slika 4.7.1. **Logistika, organizacija vremena i odredište šumske drvne sječke**[2]



Ovaj materijal treba proći fazu sušenja, uz prijelaznu pohranu na uzvišenom tlu izvan šume prije nego li se, u kasno ljeto/jesen preradi u sječku (slika 4.7.1.). Sušenje se mora odvijati tijekom ljeta uz korištenje besplatne energije sunca i vjetra, koja omogućava prirodno sušenje drva. Gubitak vlage u listačama tijekom sušenja općenito varira između 40 i 50%. Ako su posječene u svibnju, a pritom još uvijek imaju lišće, biljke ubrzavaju prirodno sušenje drva. Isto vrijedi i za crnogorično drvo (smreku i

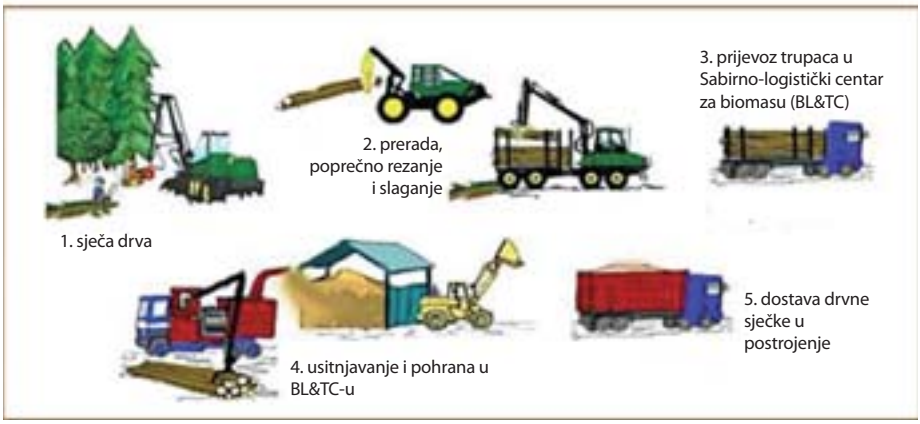
jelu) koja se reže tijekom razdoblja od kasne jeseni do prosinca te koja se kasnije slaže na povišeno tlo.
Ostavljanjem srušenih trupaca u sjenovitom okruženju u šumi ne postiže se značajan gubitak vlage u drvu. Zbog toga bi se materijal uvijek trebao sušiti u dostatno osunčanom i, po mogućnosti, dobro prozračenom mjestu[3]. Kada se izveze na sunčano povišeno tlo izvan šume, takvo drvo (slika 4.7.2.), od trenutka sječe, u kasno ljeto dostiže vlagu ispod 30% te je stoga spremno za usitnjavanje[3].
Vrijednost M 30% definira se kao **pogodna za pohranu.** Drvne sječke ispod ove granice klasificirane su kao pogodne za pohranu bez ikakvih problema stabilnosti (ÖNORM M 7133).

Slika 4.7.2. **Proces sušenja u različitim vrstama drveća**[3]



Sušenje materijala se može odvijati i na rubu ceste, uz pretpostavku da je povišeno tlo izloženo suncu i prikladne veličine; u suprotnome, materijal se treba prevesti do logističkog područja gdje se sječe i pohranjuje pod pokrivačem (slika 4.7.3.).
Kad se sušenje odvija u sabirno-logističkom centru za biomasu, dobro je pravilo „rascijepiti" najveće trupce (ø > 35-40 cm) posebnim kliještima za rascjepljivanje trupaca (slika 4.7.4.) kako bi se ubrzao gubitak vode u trupcima.

Slika 4.7.3. Proizvodnja šumske drvne sječke nakon sušenja sirovog materijala ili na mjestu sječe ili u sabirno-logističkom centru za biomasu [13]

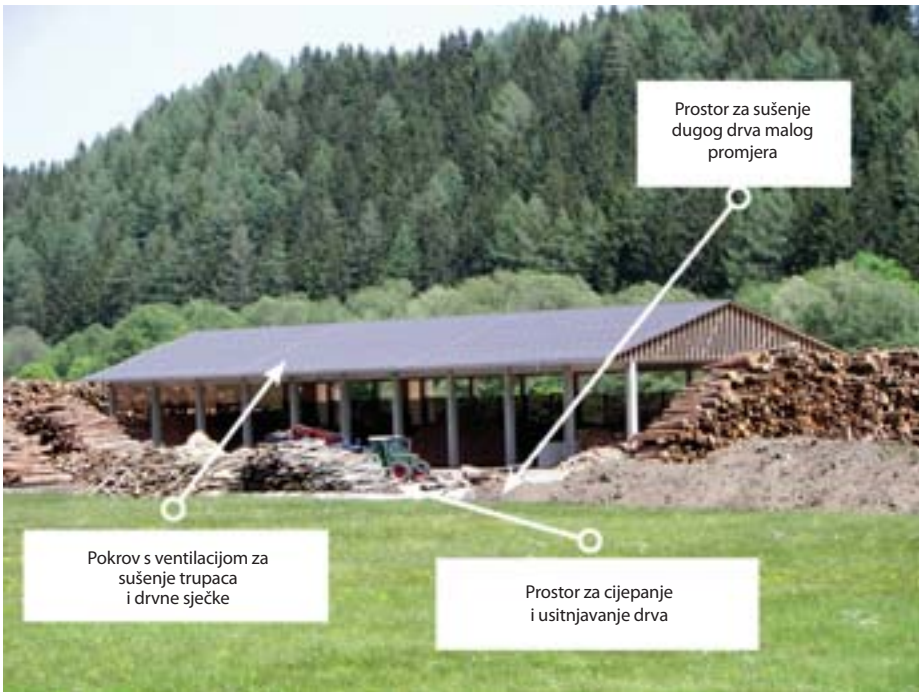


Slika 4.7.4.

4.8. Sabirno-logistički centri za biomasu (BL&TC)

BL&TC je fizička lokacija utvrđena na temelju šumarskih i proizvodnih karakteristika dobavljačkog područja (nabava) te lokalizacije i tipologije kupaca (potražnja). Sadrži prostor za prvu pohranu i sušenje drva kao takvih te natkriven prostor za pohranu i sušenje drvne sječke i cjepanica. (slika 4.8.1.) BL&TC je infrastruktura koja je osnovna u proizvodnji i profesionalnom oglašavanju ogrjevnog drva kao takva te koja omogućuje tržišnu dostupnost proizvoda koji udovoljavaju tehničkim specifikacijama.

Slika 4.8.1. **BL&TC Polstal (Štajerska-Austrija)**



Pokrovi za pohranu i sušenje drvne sječke

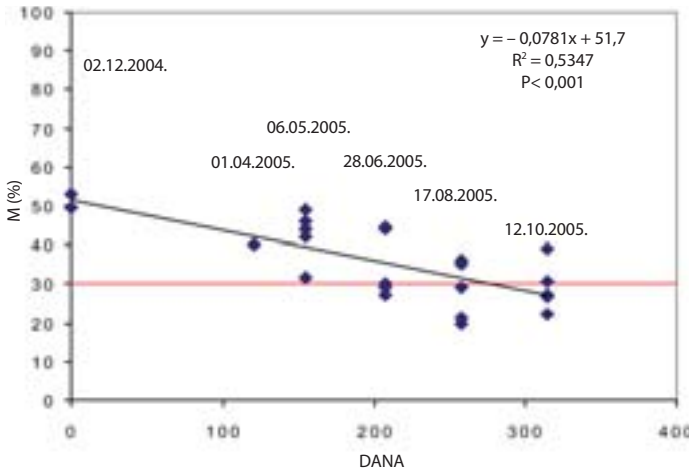
Najbolji način pohrane i sušenja drvne sječke jest rasprostrti ju na vodootpornu površinu (cement i/ili asfalt) zaštićenu pokrovom te smještenu na sunčanom i prozračnom mjestu. Arhitektonska struktura pokrova (slika 4.8.2.) trebala bi maksimalizirati prozračivanje pohranjenog materijala i olakšati radnje preokretanja i rukovanja drvnom sječkom.

Slika 4.8.2 **Primjeri arhitektonske strukture u dvama BL&TC-ovima, u Austriji (Polstal, Štajerska) i u Italiji (Deutschnofen, Bozen)**

Zaštitna tkanina za prekrivanje drvne sječke

Na tržištu je dostupna zaštitna tkanina specifična za drvnu sječku (www.tencate.com). Dokazano je učinkovita i za sušenje svježe drvne sječke i za pohranu drvne sječke s M<30 (slika 4.8.3.).

Slika 4.8.3. **Drvo platane posječeno u prosincu i svježe nasječeno dostiže M30 nakon 9 mjeseci** [15]



Tkanina je prozračna i omogućuje odbijanje zraka zasićenog vodom tijekom faze samozagrijavanja mase. Drvna sječka mora biti položena na vodootpornu površinu, a nakupina mora biti konična kako bi održavala pad kišnice na površini tkanine (slika 4.8.4.).

Slika 4.8.4. **Nakupina drvne sječke prekrivena tkaninom**

4.9. Sustavi sušenja

Sušenje potaknuto toplinom iz procesa fermentacije

Toplina koja potječe iz procesa razbijanja drvene tvari prisutne u nakupinama drvne sječke stvara konvektivno kretanje. Posljedica toga je hladan zrak koji se povlači od ispod i sa strana. Stoga, prozračni pod posebno je pogodan za korištenje u pokrivalima za pohranu. Kad je riječ o drvnoj sječki srednje do fine veličine, samozagrijavanje ima značajan učinak na sušenje drvne sječke ako se kombinira sa sustavima forsirane ventilacije. Zrak zasićen vodom koji potječe iz topline nastale samozagrijavanjem mase drži se podalje, a rezultat toga je hlađenje mase.

U strukturama u kojima se koriste sustavi forsiranog protoka zraka, ciklusi ventilacije regulirani su temperaturnim razlikama. Temperaturna razlika unutarnjeg i vanjskog zraka od 5 do 10°C dovoljna je da bi očuvala prirodni protok zraka i uslijed toga smanjila količinu energije koja je potrebna da bi se forsirala cirkulacija zraka.

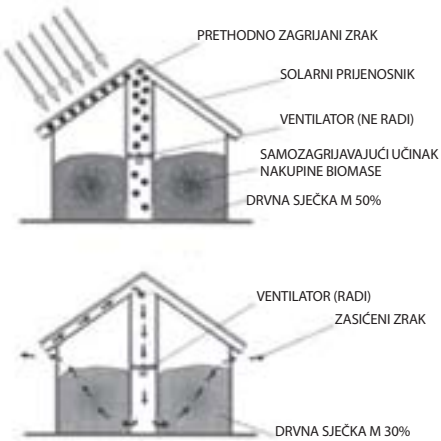
Forsirana ventilacija zrakom prethodno zagrijanim solarnom energijom

Bez obzira na to koja se tehnička (vanjska) mjera poduzme radi povećanja, ma kako malog, temperature zraka unutar mase drvne sječke, stvara se cirkulacija zraka čime se olakšava sušenje drva.

Ako se pokrovi najčešće koriste za sušenje drvne sječke, njihova se konstrukcija valja planirati na način da su opremljeni sustavima forsirane ventilacije s prethodno zagrijanim zrakom koji je smješten u posebni zračni prostor pod krovom. Zrak koji je pret-

hodno zagrijalo sunce tada se upuhuje u ventilacijski dimnjak i ventilatorom forsira s donje strane u nakupine drvne sječke (slike 4.9.1. i 4.9.2.). Zahvaljujući ovakvim sustavima, moguće je smanjiti sadržaj vlage 150 nasipnih m^3 drvne sječke s otprilike M 50% na M 30% u jednom tjednu (u proljeće/ljeto).

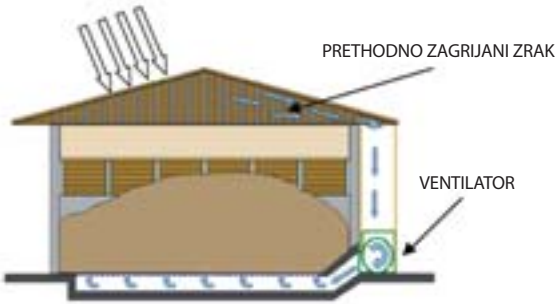
Slika 4.9.1. **Dijagram principa procesa sušenja pulsirajuće solarne biomase** [6]



1. KORAK
– zagrijavanje unutarnjeg zraka pomoću solarnih prijenosnika
– učinak samozagrijavanja nakupine biomase

2. KORAK
– prethodno zagrijani zrak upuhuje se kroz nakupine biomase
– voda iz biomase odnosi vlagu van zračnim putem

Slika 4.9.2. **Sustav prethodnog zagrijavanja i forsirane ventilacije u BL&TC Polstal (Štajerska-Austrija)**



Tijekom noći, kada je relativna vlažnost zraka viša, savjetuje se obustaviti forsiranu ventilaciju kako drvna sječka ne bi apsorbirala vlažnost. Za procjenu potrebnog kapaciteta zraka može se referirati na površinu koju zauzima nakupina. Ta se količina izražava u terminima brzine zraka koja, u ovisnosti o drvnoj sječki, varira unutar raspona od 180 do 540 m^3/h (= 0,05 do 0,15 m/s) po m^2 površine prekrivene nakupinom.
Te količine mogu biti izražene i u volumetrijskim terminima (stopa ventilacije). Procjenjuje se da je za sušenje drvne sječke potrebno osigurati 40 m^3/h zraka po m^3 (punog) drva koje se treba osušiti. Da bi se ubrzao proces sušenja, uobičajena je praksa povećati stopu ventilacije do 150 m^3/(h m^3)[2].

Sustavi forsirane ventilacije za cjepanice

Cjepanice se suše u stakleniku opremljenom sustavom forsirane ventilacije koji značajno smanjuje razdoblje sušenja. Količina od 200 prostornim m^3 svježih cjepanica može u 15 dana doseći M20. Ventilator olakšava cirkulaciju zraka kojeg primarno zagrijava sunce, iako se zimi kao zamjena suncu koristi kotao na drvnu sječku/pelete. Automatsku promjenu unutarnjeg zasićenog zraka omogućuje aktivacija krovnih otvora. Sama konstrukcija (slika 4.9.3.) stoji otprilike 150.000 €, a troškovi proizvodnje cjepanica povećavaju se za otprilike 15 €/stera. Međutim, taj iznos neutralizira manje potrebnog prostora i mogućnost reklamiranja M20 cjepanica osam i pol mjeseci unaprijed.

Slika 4.9.3. **Staklenici za sušenje cjepanica u Biomassehof Allgau (Bayern – DE)**

Sušenje vrućim zrakom

Učinak sušenja značajno je poboljšan korištenjem zraka kojeg zagrijava generator. Radna temperatura može varirati od 20 do 100°C. I u ovom se slučaju zrak uvodi u cjepanice/nakupinu drvne sječke pomoću ventilatora.

Ukupna toplina potrebna za sušenje iznosi otprilike 3 do 4 MJ po kg vode, od čega je 2,5 MJ/kg potrebno za prethodno zagrijavanje i evaporaciju vode. Uz ugrađene sustave za proizvodnju topline, vrijedi iskoristiti prednost jeftine (ili besplatne) topline iz kogeneracijskog postrojenja na bioplin ili sječku. Ta toplinska energija koja se tijekom ljeta najčešće potpuno rasipa može, stoga, biti iskorištena za sušenje drvne sječke ili cjepanica.

Pojednostavljeni uređaji za sušenje

Predložene strukture za sušenje drvne sječke i cjepanica su jednostavne konstrukcije (fiksne ili mobilne) s dvostrukim temeljnim podom kroz čije rupe se uvodi topli zrak. Sustav distribucije topline sastoji se od serija krutih cijevi koje se jednostavno instaliraju u sušilicu koja se može izvesti ili iz pokretnog spremnika ili iz traktorske prikolice (slike 4.9.4. i 4.9.5.).

Uz pojednostavljene sušilice, danas su na tržištu dostupni napredniji uređaji kako bi se iskoristio višak topline postrojenja bioplina (slika 4.9.6.).

Slika 4.9.4 **Spremnik: stoji otprilike 50.000 € i može pohraniti 22 nasipna m³. Preostali prostor zauzima sustav ventilacije i upravljačka ploča. Vrijeme sušenja: otprilike 5 dana da bi se doseglo M20** [16]

Slika 4.9.5. Traktorska prikolica: stoji otprilike 1.500 – 2.000 €. Topao zrak dolazi iz postrojenja bioplina kroz izmjenjivač topline: dvije fleksibilne cijevi dovode topao zrak (80 °C) u ravno dno (debljine 10 cm) kamiona ispunjenog drvnom sječkom. Tijekom procesa sušenja drvnu sječku ne treba okretati te je nakon dva-tri dana spremna za isporuku (M30) [17]

Slika 4.9.6. Horizontalne bubnjaste sušilice pogodne za sušenje kako trupaca, tako i drvne sječke (www.s-und-ue.de) [18]

5. TROŠKOVI ENERGIJE, TRENDOVI I USPOREDBE

Tržišna cijena za goriva, bilo drva ili fosilna goriva, izražena je u različitim mjernim jedinicama (ponderiranim i volumetrijskim) te je karakterizirana značajno različitim ogrjevnim vrijednostima. Sve to otežava trenutačnu usporedbu. Parametar koji omogućuje uspoređivanje cijene goriva su troškovi primarne energije (€/MWh), tj. trošak energije sadržane u gorivima prije konverzije u finalnu energiju. Tablica 5.1. pokazuje usporedbu između troškova energije za različita goriva (prosinac 2008.). Njihova veza sa drvnom sječkom izračunata je na temelju tri različita troška primarne energije: 20 i 25 €/MWh. Cijene se odnose na talijansko tržište.

Tablica 5.1. **Troškovi primarne energije na temelju troškova drvne sječke (PDV nije uključen)**

	MWh	Cijena €	Energetska cijena €/MWh	Omjer
1 t drvne sječke (M30, P45)	3,40	68	20,00	1,00
1 t drvne sječke (M40, P45)	2,81	56	20,00	1,00
1 t trupaca (M20, P330)	3,98	130	32,66	1,63
1 t peleta (M10) rastresitih	4,70	150	31,91	1,60
1 t peleta (M10) vreća od 15 kg	4,70	180	38,30	1,91
100 mc prirodnog plina "posluženog"	1,00	70	70,00	3,50
1 t lož ulja (staklenik)	11,7	448	38,39	1,92
1 t lož ulja (uporaba u domaćinstvu)	11,7	863	73,95	3,70
1.000 l LPG-a (vlastiti spremnik)	6,82	1020	149,56	7,48

	MWh	Cijena €	Energetska cijena €/MWh	Omjer
1 t drvne sječke (M30, P45)	3,40	85	25,00	1,00
1 t drvne sječke (M40, P45)	2,81	70	25,00	1,00
1 t trupaca (M20, P330)	3,98	130	32,66	1,31
1 t peleta (M10) rastresitih	4,70	150	31,91	1,28
1 t peleta (M10) vreća od 15 kg	4,70	180	38,30	1,53
100 mc prirodnog plina "posluženog"	1,00	70	70,00	2,80
1 t lož ulja (staklenik)	11,7	448	38,39	1,54
1 t lož ulja (uporaba u domaćinstvu)	11,7	863	73,95	2,96
1.000 l LPG-a (vlastiti spremnik)	6,82	1020	149,56	5,98

5.1. Troškovi krajnje energije

Važan aspekt bilo kakve ekonomske procjene je izračun troškova krajnje energije koji uključuju troškove ulaganja i troškove povezane s radom postrojenja. Troškovi proizvodnje šest različitih energetskih sustava s kotlovima od 100 kW i jednakim godišnjim omjerom rada (1.300 sati) izračunati su i usporedno prikazani u nastavku. Gruba je procjena da (u sjevernoj Italiji) objekt od otprilike 100 m^2, kojeg nastanjuje troje ljudi, godišnje potroši otprilike 10-15 MWh. Takva toplina može indikativno opskrbljivati zgradu koja ima šest stanova (tablica i dijagram 5.1.1.).
Iznesene pretpostavke (npr. izbor kamata, trajanje investicije, prosječna godišnja potrošnja generatora itd.) i korištene vrijednosti odnose se na prosječne uvjete.

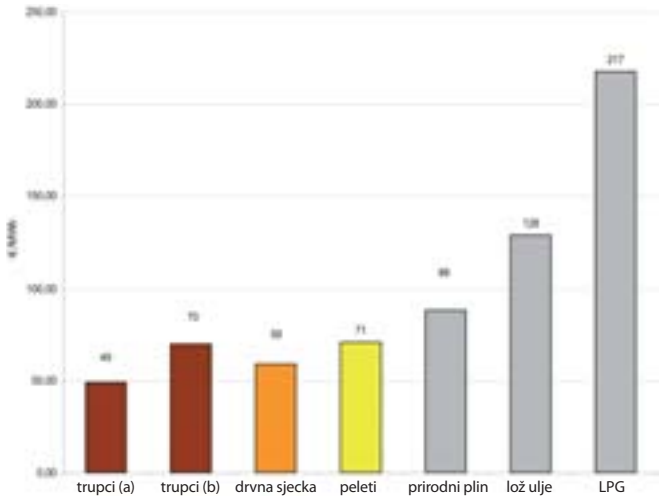
Tablica 5.1.1. **Kategorije troška i njihove vrijednosti (prosinac 2008., Italija)**

KATEGORIJE TROŠKA	JEDINICA	CJEPANICA (a)	CJEPANICA (b)	DRVNA SJEČKA	PELETI	PRIRODNI PLIN	LOŽ ULJE	LPG
Kamatna stopa	%	5	5	5	5	5	5	5
Trajanje investicije (godine)	y	20	20	20	20	20	20	20
Kapacitet kotla	kW	100	100	100	100	100	100	100
Godišnji rad (sati)	h	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300
Proizvodnja primarne energije	MWh/g	130	130	130	130	130	130	130
Sezonska globalna učinkovitost	%	75%	75%	79,0%	84%	90%	85%	90%
Proizvodnja krajnje energije*	MWh/g	97,50	97,50	102,70	109,20	117,00	110,50	117,00
Troškovi investiranja (uklj. PDV)	€	45.000	45.000	65.000	40.000	13.000	18.000	13.000
Amortizacija	€/G	1.361	1.361	1.966	1.210	393	544	393
Godišnja potreba za gorivom	u.m.*	32,7	32,7	38,2	28,3	13.542	13.000	19.062
Trošak/cijena goriva**	€/u.m.	77	130	88	216	0,72	1,04	1,22
Trošak godišnje potrošnje goriva (a)	€/g	2.944	4.971	3.365	6.104	9.750	13.463	24.863
Trošak struje (b)	€/g	50	50	200	100	30	30	30
Trošak rada (O = a + b)	€/g	2.994	5.021	3.565	6.204	9.780	13.493	24.893
Trošak čišćenja (c)	€/g	130	130	130	130	60	60	60
Troškovi održavanja (d)	€/g	300	300	400	200	95	95	95
Troškovi rada (E = c + d)	€/g	430	430	530	330	155	155	155
Godišnji TROŠKOVI (R+O+E)	€/g	4.785	6.812	6.060	7.744	10.328	14.192	25.441
TROŠKOVI KRAJNJE ENERGIJE	€/MWh	49,08	69,87	59,01	70,92	88,27	128,44	217,44

* Korištene ogrjevne vrijednosti: cjepanice M20, 3,98 MWh/t, drvna sječka M30, 3,4 MWh/t, peleti M10 4,6 MWh/t, prirodni plin, 9,6 kWh/ m3, lož ulje 10 kWh/l, LPG, 6,82 kWh/l

** Cijene (uključujući PDV. PDV za ogrjevno drvo iznosi 10%, osim za pelete, za koje iznosi 20%).

Grafikon 5.1.1. **Energetski sustavi i povezani energetski troškovi**



Inicijali – Trupci (a): samostalno proizvedeni, željene veličine; Trupci (b): kupljeni na lokalnoj tržnici (P500); drvna sječka: M30 P45.

5.2. Prodaja cjepanica i drvne sječke

Trupci i drvna sječka prodaju se ili po težini (€/t) ili po volumenu (€/prostorni m^3 ili €/nasipni m^3). Profesionalni će prodavači kupcu pružiti važne informacije o fizikalno-energetskim karakteristikama goriva kako bi omogućili objektivnu ekonomsku procjenu predložene ponderirane ili volumetrijske cijene. Stoga, u trgovanju ogrjevnim drvom posebno je važna primjena Europskih tehničkih specifikacija. Prisutnost profesionalnih proizvođača na tržištu omogućuje razvoj praktičnih i transparentnih sustava kupnje i prodaje koji konzumentu ne pružaju samo povjerenje, već prednost daju i razvoju tržišta.

Cjepanice

Regulatorne informacije koje se trebaju specificirati pri prodaji cjepanica nalaze se u tablici 4.1.1. U najnaprednijim Sabirno-logističkim centrima za biomasu (npr. www.holzbrennstoffe.de, www.ofen-holz.at) suhe cjepanice (M20) prodaju se po steričkom volumenu; uz vlagu, specificiraju se razred, sastav i dimenzije. U dodatku A4 dat je primjer kako sastaviti cjenik za profesionalnu prodaju cjepanica.

Još je uvijek čest slučaj da je specificiran samo sastav cjepanica, ali ne i vlaga, te se u tim slučajevima preporučuje kupnja po volumenu umjesto po težini. Razlog je tome

niži stupanj nesigurnosti kojim je moguće odrediti energetski trošak, posebno pri kupnji nesušenog materijala[5].

Danas se složene cjepanice često prodaju po paletama od 1 x 1 x 1,8 m, sa specificiranim sastavom. Povremenim korisnicima su suhe cjepanice (M20) dostupne u kutijama ili mrežastim vrećama te se prodaju po težini (6–17 kg), uz navedene vrste drva.

Primjer 5.2.1. – Izračun energetske cijene cjepanica

Uz pretpostavku da želimo kupiti određenu količinu cjepanica za opskrbu modernog kotla za cijelu sezonu, željeli bismo naći cijenu energije da bismo usporedili različite ponude. Proizvođač ogrjevnog drva određuje sljedeće cijene za cjepanice od jednog metra (P1000) ili za dvije različite vrste:

Bukva 62€/prostorni m^3
Smreka 46€/prostorni m^3

1) Za izračun težine cjepanica (M20, P1000) dviju vrsta koriste se tablice 1.7.2. i 1.7.3.
Bukva → 453 x 0,81 = 367 kg/prostorni m^3
Smreka → 315 x 0,86 = 271 kg/prostorni m^3

2) energetski trošak (M20) s NOV_{20} = 4 kWh/t
Bukva → 62 : [(367 x 4) : 1.000] = **42,2 €/MWh** (11,7 €/GJ)
Smreka→ 46 : [(367 x 4) : 1.000] = **42,4 €/MWh** (11,8 €/GJ)
Po predloženim cijenama i cjepanicama za korištenje u modernom kotlu, dva navedena proizvoda su energetski ekvivalentna.

Drvna sječka

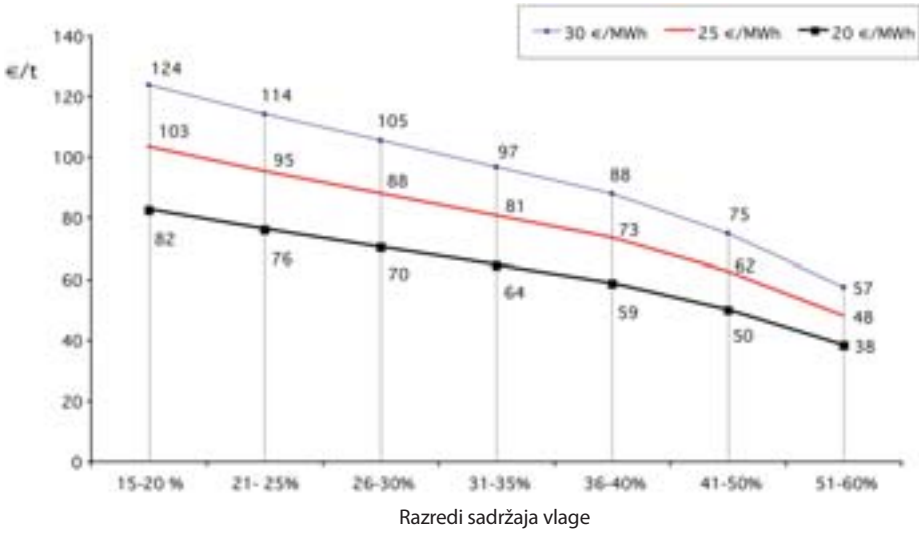
U središnjoj sjevernoj Europi, u slučaju da se drvna sječka prodaje izravno iz pilane, sastav je općenito poznat. Stoga, prodavanje po volumenu, čak i kad vlaga nije izričito naznačena, omogućuje dovoljno precizno određivanje energetskog troška. Nasuprot tome, u središnjem dijelu južne Europe, u slučaju kad proizvođači rade s miješanim šumskim drvećem, gotovo je nemoguće znati sastav drvne sječke. U tom je slučaju bolje drvnu sječku kupovati i prodavati po težini, mjereći njezinu vlagu. Zapravo, dovoljno je znati težinu i vlagu: iako razlika u sadržaju može biti velika, varijacija u energetskom sadržaju veoma je mala jer, kako je već istaknuto, NOV0 drveća gotovo je jednak u svim različitim vrstama[14].

Općenito, praksa je da se stranke cjenkaju oko ciljne cijene drvne sječke s najmanje vlage, na temelju čega se izračunava cijena primarne energije. U ovom se trenutku kreira tablica u kojoj je drvnoj sječki dana cijena na temelju razreda vlage, dok je cijena energije ostala konstantna (tablica 5.4.1.).

Tablica 5.2.1. **Cijena drvne sječke u vezi s razredima vlage pri cijeni energije od 25 €/MWh**

Sadržaj vlage (razredi)	M (%)	€/t	
		Ne uključujući PDV	Uključujući PDV
M 20	≤ 20	103	114
M 25	≤ 25	95	105
M 30	≤ 30	88	97
M 35	≤ 35	81	89
M 40	≤ 40	73	81
M 50	≤ 50	62	69
M 60	≤ 60	48	53

Grafikon 5.2.1. **Varijacija u cijeni drvne sječke u skladu s tri različite energetske cijene**



U dodatku A1 nalazi se nacrt ugovora o prodaji drvne sječke s energetskom vrijednošću.

5.3. Potrošnja energije i emisije CO_2

Kako bi se prihvatili sustavi održive energije, korisno je i ispravno posjedovati komparativne evaluacije o potrošnji neobnovljive energije koja je potrebna za napajanje, uz energiju i sirove materijale, čitavog procesa proizvodnje finalne energije (lanac proizvodnje). Analiza energije* obuhvaća svu neobnovljivu energiju koja se konzumira u lancu: ekstrakciju, procesuiranje, pohranu, energetsku konverziju goriva, uključujući energetski trošak uređaja i alata koji se koriste u pojedinačnim fazama. Tablica 5.3.1. prikazuje potrošnju energije izraženu kao postotak neobnovljive energije potrošene za proizvodnju korisne termalne energije (CER**).

Potrošnja energije za proizvodnju i krajnju uporabu goriva obuhvaća emisiju određene količine ugljičnog dioksida (CO_2) u atmosferu, kao i ostalih vrsta stakleničkih plinova koji su izraženi u agregatnom obliku, uz ekvivalentni CO_2 parametar.

* Ova je analiza provedena upotrebom baze podataka GEMIS (engl. Global Emission Model for Integrated Systems – Globalni model emisije za integrirane sustave – verzija 4.42, Öko- Institut e.V. Darmstadt (Njemačka) www.oeko.de).

** CER (engl. Cumulated Energy Requirement – zahtjev kumulativne energije) mjeri ukupnu količinu izvora (primarne) energije koja je potrebna za opskrbu jedinice finalnom termalnom energijom.

Vrijednosti navedene u tablici 5.3.1. omogućuju izračun smanjenje emisija CO_2 do kojeg može doći upotrebom goriva iz drvne biomase umjesto fosilnih goriva.

Tablica 5.3.1. **Energetska potrošnja i emisije CO_2**

Sustav zagrijavanja	CER %	CO_2 kg/MWh	ekv. CO_2 kg/MWh
Cjepanice (10 kW)	3,69	9,76	19,27
Šumska drvna sječka (50 kW)	7,81	21,12	26,04
Šumska drvna sječka (1 MW)	8,61	21,13	23,95
Drvna sječka kulture kratkih ophodnji jablana (50 kW)	10,44	27,39	40,16
Pelet (10 kW)	10,20	26,70	29,38
Pelet (50 kW)	11,08	28,95	31,91
Lož ulje (10 kW)	17,33	315,82	318,91
Lož ulje (1 MW)	19,04	321,88	325,43
LPG (10 kW)	15,03	272,51	276,49
Prirodni plin (10 kW)	14,63	226,81	251,15
Prirodni plin (1 MW)	17,72	233,96	257,72

Primjer 5.5.1. – Procjena smanjenja CO_2

U nastavku je ilustriran postupak koji se treba slijediti kako bi se procijenila količina CO_2 koja se može uštedjeti konvertiranjem kotla na prirodni plin u kotao na drvnu sječku. U sljedećem se primjeru kao referenca uzima područna toplana snage 500 kW na drvnu sječku.

1) Izračun konačne količine energije kao godišnje proizvodnje energije postrojenja: Registrirana 2-godišnja termalna proizvodnja: (556 + 603)/2 = 580 MWh/godina (prosjek)
2) Izračun godišnjih emisija CO_2 i ekv. CO_2 korištenjem prirodnog plina: (tablica 5.3.1.)
   Prirodni plin: (580 x 233,96): 1.000 = 135,7 t CO_2
   Prirodni plin: (580 x 257,72): 1.000 = 149,5 t ekv. CO_2
3) Izračun godišnjih emisija CO_2 i ekv. CO_2 korištenjem drvne sječke: (tablica 5.3.1.)
   Šumska drvna sječka: (580 x 21,13): 1.000 = 12,3 t CO_2
   Šumska drvna sječka: (580 x 23,95): 1.000 = 13,9 t ekv. CO_2
4) Izračun izbjegnutih emisija ekv. CO_2 korištenjem drvene drvne sječke umjesto prirodnog plina radi proizvodnje topline
   135,7 – 12,3 = 123,4 t CO_2/godina
   149,5 – 13,9 = 135,6 t ekv. CO_2/godina
   Uz pretpostavku da je životni vijek postrojenja 20 godina, može se izračunati emisija od 2.468 t CO_2.
   Vozač koji godišnje u prosjeku prijeđe 25.000 km emitira otprilike 3,5 do 4 t CO_2. Stoga, postrojenje u ovom slučaju može zamijeniti oko 30 automobila, ukupno pokrivajući 830.000 km/godina.
5) Izračun novčane vrijednosti uštede ugljikova dioksida
   Danas se na međunarodnom tržištu (BlueNext – EUA) jedna tona CO_2 procjenjuje na otprilike 15 € (prosinac 2008.) 123,4 x 15 = 1.851 €/godina.

DODACI

A1. Nacrt ugovora o prodaji drvne sječke s energetskom vrijednošću

(pogledati CEN/TS 14961:2005)

Ugovorne strane

Ovaj se ugovor sklapa između sljedećih ugovornih strana:
dobavljača, *Cooperativa Agroforestale- Viale Universita 14, 32021 Agordo (BL) VAT01237780265*, u daljnjem tekstu: **FO**
i kupca,
Wood chips district heating Ltd., u daljnjem tekstu: **TE.**

Čl. 1. Predmet ugovora

Predmet ovog ugovora je isporuka drvne sječke dobivene usitnjavanjem neprerađenog drva FO-a TE-u. Drvna sječka će služiti kao gorivo za grijanje okruga koji je vlasništvo TE-a.

Čl. 2. Vrijeme isporuke

FO se obvezuje isporučiti svaki tovar goriva unutar 6 radnih dana od primitka pisanog zahtjeva TE-a poslanog faksom ili e-poštom. TE će također obavijestiti FO o entitetu punjenja koji će biti isporučen, izraženo u tonama.

Čl. 3. Godišnje potrebe

Količina drvne sječke koja će biti isporučena tijekom razdoblja važenja ovog ugovora jednaka je količini drvne sječke koju će postrojenje uistinu konzumirati tijekom sezone grijanja. Na temelju izračuna energije, procijenjeno je da će ta količina iznositi 500 tona (uz referentnu vlagu (M) od 30%).

Čl. 4. Podrijetlo goriva iz biomase

Dostavljena drvna sječka bit će proizvod mehaničkog procesuiranja materijala od neprerađenog drva, kako je navedeno u tehničkoj specifikaciji CEN/TS 14961.
Drvna sječka će biti dobivena usitnjavanjem: trupaca crnogoričnog drva ili listača bez grana, bezlisnih trupaca listača bez grana, ostataka listača nakon rezanja (bez listova ili suhih listova), usjeka i ploča te ostalih otpadnih proizvoda primarne konverzije od kojih se može dobiti visokokvalitetna drvna sječka.

Čl. 5. Dimenzije

Kad je riječ o dimenzijama drvne sječke, referentne su tehničke specifikacije CEN/TS 14961. Isporučena drvna sječka pripadat će razredu P45.

Razredi dimenzija drvne sječke u skladu s tehničkom specifikacijom CEN/TS 14961

Razredi dimenzija (mm)	Sastav veličine čestica (%)		
	Glavna količina >80% m.u.	Fina čestica < 5%	Gruba čestica < 1%
P16	3,15 ≤ P ≤ 16	< 1 mm	< 45 mm sve < 85 mm
P45	3,15 ≤ P ≤ 45	< 1 mm	> 63 mm
P63	3,15 ≤ P ≤ 63	< 1 mm	> 100 mm
P100	3,15 ≤ P ≤ 100	< 1 mm	> 200 mm

Čl. 6. Čistoća

Isporučena drvna sječka neće sadržavati strane tvari, poput čavala, žica i vijaka, ili kakve druge metalne predmete.

Čl. 7. Vlaga i težina punjenja

Vlagu (M) i težinu punjenja određuje FO.

Čl. 8. Odredbe i uvjeti izdavanja računa

Račun za isporučenu drvnu sječku izdaje se uz referencu na njezinu energetsku vrijednost, tj. na njihov NOV_M izražen u MWh/t, izračunat na temelju težine (t) i vlage (M) punjenja, a u skladu sa sljedećom formulom:

$$NOV_M = \frac{NOV_0 \times (100 - M) - 2{,}44 \times M}{100} \times 0{,}278$$

FO će TE-u za svaku isporuku izdati deklaraciju o kvaliteti drvne sječke (vidjeti A2).

Čl. 9. Cijena dostave iz postrojenja za grijanje

TE će FO-u platiti ciljnu cijenu za drvnu sječku koja će biti jednaka 85,00 €/t (+ PDV od 10%) za M30, ex postrojenje (24,15 €/MWh). Cijena varira ovisno o vlazi isporučene drvne sječke. Isporučena drvna sječka nikad ne smije biti vlažnija od 35%.

Sljedeća tablica pokazuje varijaciju u cijeni u skladu s 4 razreda vlage.

Energetska cijena	€/MWh 24,15	€/t	
Sadržaj razreda vlage		Ne uključujući PDV	Uključujući PDV
M 20	15–20%	€ 95	€ 104,5
M 25	21–25%	€ 90	€ 99,0
M 30	26–30%	€ 85	€ 93,5
M 35	31–35%	€ 75	€ 82,5

Čl. 11. Plaćanje

TE će izvršiti uplatu za isporučenu drvnu sječku u roku od 30 dana od datuma izdavanja računa od FO. U slučaju da ne plati u skladu s dogovorenim uvjetima, FO zadržava pravo obustavljanja usluge isporuke i traženja kamata na zakašnjelo plaćanje, u skladu s trenutačnim pravilima.

Čl. 12. Neprihvatljive isporuke

TE neće platiti niti jednu isporuku neprihvatljive drvne sječke.

Čl. 13. Rok važenja

Valjanost ovog ugovora počinje na dan kad ga ugovorne strane potpišu i nastavit će se u punoj snazi i s punim učinkom kroz razdoblje od 3 godine.
U slučaju da postrojenje prestane s radom zbog bilo kojeg razloga koji se ne može pripisati ugovornim stranama, TE zadržava pravo da trajno raskine ovaj ugovor unutar 6 mjeseci.

Čl. 14. Posebne odredbe

1. U slučaju bilo kakvog spora ili potraživanja koji proizađu iz ovog ugovora ili su s njim u vezi, uključujući, bez ograničavanja, bilo kakvo pitanje koje se odnosi na njegovo važenje, interpretaciju i ispravno provođenje, ugovorne strane se slažu da se takvi sporovi ili zahtjevi konačno riješe arbitražom Suda u ……..
2. Ovaj je ugovor pravovažeći i punog učinka od i nakon datuma kad ga potpišu obje ugovorne strane.

3. Ugovor je sačinjen u dva primjerka, a svaka ugovorna strana zadržava po jedan primjerak.
4. Druga će strana o bilo kakvim promjenama u uvjetima i odredbama ovog ugovora biti obaviještena pisanim putem.
5. Bilo kojoj trećoj strani koja preuzima bilo koju od ugovornih strana bit će dodijeljena prava i obveze koje proizlaze iz ovog ugovora.
6. Ugovorne strane pristaju jednako dijeliti troškove nacrta ovog ugovora, pri čemu svaka ugovorna strana plaća 50% ukupnog troška.

Mjesto, datum pečat i potpis pravnog zastupnika FO-a	Mjesto, datum pečat i potpis pravnog zastupnika TE-a

A2. Primjer Deklaracije o kvaliteti goriva za drvnu sječku

(pogledati CEN/TS 15234:2006)

Podnositelj zahtjeva: Cheap-Wood Chips District heating Ltd.

DEKLARACIJA O KVALITETI GORIVA ZA DRVNU SJEČKU TEMELJENA NA STANDARDU CEN/TS14961	
Dobavljač	SOLID WOOD-FUELS Cooperative p.p. 110 CB 10 1HL – SAFFRON WALDEN Essex (UK) Tel. +44.01799 5165689 Faks +44.01799 5165690 Osoba za kontakt: g. Peter Wood Adresa e-pošte: Delivering@solid.wood-fuels.co.uk Broj za kontakt: N. 0015/a
Sirovi materijal	Crnogorični trupci, postranke i okresline (1.1.2.2., 1.2.1.2.)
Porijeklo	Uttlesford, Okrug Essex
Količina za dostavu	10 t (vidjeti priloženu potvrdu o težini)
Svojstva	
Veličina čestica	P45
Vlaga (M)	M30
Udio pepela (m.u.% s.o.)	A3.0
Nasipna gustoća (kg/nasipni m^3)	230
Ogrjevna vrijednost (MJ/kg)	12,2
Gustoća energije (MJ/nasipni m^3)	2806

Mjesto i datum

Potpis opunomoćenika

A3. Granične vrijednosti za koncentraciju teških metala u pepelu biomase koji se koristi na poljoprivrednim zemljištima u Austriji[9, 10]

Metali	Granična vrijednost mg/kg_{db}	Količina širenja g/ha/godina	
		Obradiva zemlja	Livada-pašnjak
Cink (Zn)	1.500	1.500	1.125
Bakar (Cu)	250	250	190
Krom (Cr)	250	250	190
Olovo (Pb)	100	100	75
Vanadij (V)	100	100	75
Kobalt (Co)	100	100	75
Nikal (Ni)	100	100	75
Molibden (Mo)	20	20	15
Arsenij (As)	20	20	15
Kadmij (Cd)	8	8	6
PCDD/F (dioksin)	100 ng TE/kg_{db}	100 µg/ha	75 µg/ha

PCDD/F – poliklorirani dibenzodioksini/furan

ET: Ekvivalent toksičnosti

A4. Primjer cjenika za profesionalnu trgovinu cjepanicama

Cjenik u nastavku samo je indikativan.

CJENIK 2007./08.

Važi do 31. srpnja 2008.

Iz trgovine, PDV uključen

CJEPANICE SMREKE i BUKVE – SPREMNE ZA LOŽENJE (M20)

→ Cijene za složeni i nasipni m^3, 1 prostorni m3 ~ 1,4 nasipna m^3
→ NOV_{20} = 4 kWh/kg
→ ~ 450 kg bukve ~ 300 kg smreke M20 = 1 prostorni m^3 P330 (L=33 cm)

	Dužina (L)	do 7 nasipnih m^3	do 5 složenih m^3	Na više od 5 složenih m^3 popust od 5%
Bukva (uz kvotu drugih vrsta bjelogoričnog drveća) 1 prostorni m^3 = 450 kg 1 nasipni m^3 = 320 kg	100 cm (P1000)	–	79,00 €	75,05 €
	50 cm (P500)	–	84,00 €	79,80 €
	33 cm (P330)	59,70 €	84,00 €	79,80 €
	25 cm (P250)	63,30 €	89,00 €	84,55 €
Smreka (uz kvotu drugih vrsta bjelogoričnog drveća) 1 prostorni m^3 = 300 kg 1 nasipni m^3 = 215 kg	Dužina (L)	do 7 nasipnih m^3	do 5 složenih m^3	Na više od 5 složenih m^3 popust od 5%
	100 cm (P1000)	–	69,00 €	65,55 €
	50 cm (P500)	–	74,00 €	70,30 €
	33 cm (P330)	53,00 €	74,00 €	70,30 €
	25 cm (P250)	56,60 €	79,00 €	75,05 €

A5. Kratice i simboli

m^3: puni kubni metar
prostorni m^3: prostorni metar
nasipni m^3: nasipni metar
u: vlaga na suhoj osnovi [%]
M: vlaga na mokroj osnovi [%]
Mv: kruta gustoća [volumetrijska masa] [kg/m^3]
Ms: prostorna i nasipna gustoća [kg/msa, kg/msr]
Ww: mokra težina [kg, t]
W0: suha težina [kg, t]
d.b.: suha osnova [kg, t]
w.b.: vlažna osnova [kg, t]
BOV: bruto ogrjevna vrijednost [MJ/kg, kWh/kg]
NOV_M: neto ogrjevna vrijednost [MJ/kg, kWh/kg]
toe: tona naftnog ekvivalenta
Q: termalni kapacitet kotla [kW]
Q_B: bruto kapacitet kotla [kW]
Q_N: nominalni terminalni kapacitet [kW]
η_K: učinkovitost [%]
$ß_V$: smanjivanje volumena [%]
a_V: bubrenje volumena [%]
KKO: kulture kratkih ophodnji

A6. Međunarodni sustav jedinica

10^n	Prefiks	Simbol	Skala	Decimala
10^{15}	peta	P	Bilijarda	1 000 000 000 000 000
10^{12}	tera	T	Bilijun	1 000 000 000 000
10^{9}	giga	G	Milijarda	1 000 000 000
10^{6}	mega	M	Milijun	1 000 000
10^{3}	kilo	k	Tisuća	1 000
10^{2}	hekto	h	Sto	100
10	deka	da	Deset	10
10^{-1}	deci	d	Desetina	0,1
10^{-2}	centi	c	Stoti dio	0,01
10^{-3}	mili	m	Tisućiti dio	0,001
10^{-6}	mikro	µ	Milijunti dio	0,000 001

REFERENCE

1. GIORDANO, G., 1988. – *Tecnologia dellegno,* UTET, Milano
2. HARTMANN, H. (Hrsg.), 2007. – *Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen* (2. Auflage), Sonderpublikation des Bundesministeriums fur Verbraucherschutz, Ernahrung und Landwirtschaft (BMVEL) und der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), Gulzow (DE) 224 S., ISBN 3-00-011041-0
3. JONAS, A., HANEDER, H., FURTNER, K., 2005. – *Energie aus Holz*. Landwirtschaftskammer Niederosterreich St. Polten (AT)
4. HOLDRICH, A., HARTMANN, H., DECKER, T., REISINGER, K., SOMMER, W., SCHARDT, M., WITTKOPFT, S., OHRNER, G., 2006. – *Rationelle Scheitholzbereitstellungsverfahren* Technologie- und Forderzentrum (TFZ) Straubing (DE)
5. HELLRIGL, B., 2006. – *Elementi di xiloenergetica. Definizioni, formule e tabelle* Ur. AIEL, Legnaro (PD)
6. LOO VAN, S., KOPPEJAN, J., 2003. – *Handbook of Biomass Combustion and Co-Firing*, Ur. Twente University Press (NL).
7. FRANCESCATO, V., ANTONINI, E., PANIZ, A., GRIGOLATO, S., 2007. – *Vitis Energetica, valorizzazione energetica deisarmentidi vite in provincia di Gorizia*, Informatore Agrario br. 10.
8. OBERNBERGER, I., 1995. – *Logistik der Aschenaufbereitung und Aschenverwertung*, Bundesministerium fur Ernahrung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn (DE)
9. BUNDESMINISTERIUM FUR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, 1997. – *Der sachgerechte Einsatz von Pflanzenaschen im Wald*, Beč (AT)
10. BUNDESMINISTERIUM FUR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, 1998. – *Der sachgerechte Einsatz von Pflanzenaschen im Acker-* und Grunland, Beč (AT)
11. AA.VV. Projekt BIOCEN, 2004. – *Gestione e valorizzazione delle ceneri di combustione nella filiera legno-energia*. Regija Lombardija
12. BURGER, F., 2005. – *Wood Chip Drying Pilot Study "Wadlhausen"*, Bayerische Landesanstalt fur Wald und Forstwirtschaft, Freising (DE)
13. ITEBE, 2004. – *Produire de la plaquette forestiere pour l'energie*, Bonne pratique n°1 du bois dechiquete, Lons Le Saunier (FR)
14. FRANCESCATO,V., ANTONINI, E., MEZZALIRA G., 2004. – *L'energia del legno, Nozioni, concetti e numeri di base*, Regija Pijemont
15. FRANCESCATO, V., PANIZ, A., ANTONINI, E., CORREALE, S.F., AGOSTINETTO, L., 2007. – *Stagionatura e caratterizzazione qualitativa del cippato di legno*, Rivista Tecnica AGRIFORENERGY br. 2. Ur. AIEL, Legnaro (PD)
16. FLORIAN, G., 2006. – *Nicht langer das Aschenputtel der Holzbranche*, Energie Pflanzen br. 6. Das Fachmazin fur nachwachsende Rohstoffe und erneuerbare Energien ScheeRel-Hetzwege (DE)
17. DANY, C., 2007. – *Allgauer Hackschnitzel*, Energie Pflanzen br. 6. Das Fachmazin fur nachwachsende Rohstoffe und erneuerbare Energien ScheeRel-Hetzwege (DE)
18. BIERNATH, D., 2006. – *Brennholztrocknung mit der Biogasanlage*, Energie Pflanzen br. 2. Das Fachmazin fur nachwachsende Rohstoffe und erneuerbare Energien ScheeRel-Hetzwege (DE)
19. STAMPFER, K., KANZIAN, C., 2006. – *Current state and development possibilities of wood chip supply chains in Austria*, Hrvatski časopis o šumskom inženjeringu, 27(2): str.135.-144.
20. CEN/TS 14961, 2005. – *Tehnička specifikacija – Kruta biogoriva – specifikacije i klase goriva*

Tiskano u ožujku 2012.

Autori snose svu odgovornost za sadržaj ove publikacije. Pritom ona nužno ne odražava mišljenje Europske zajednice. Europska komisija nije odgovorna ni za kakvu upotrebu ovdje sadržanih podataka.