



Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet



PRIRUČNIK



Krička i suradnici

**Tehnologija uzgoja, dorade i skladištenja
energetske kulture
Sida hermaphrodita (L.) Rusby**

Autori

Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet:

- Prof. dr. sc. Tajana Krička
- Prof. dr. sc. Josip Leto
- Doc. dr. sc. Nikola Bilandžija
- Mateja Grubor, mag. ing. agr.
- Doc. dr. sc. Vanja Jurišić
- Doc. dr. sc. Ana Matin
- Izv. prof. dr. sc. Neven Voća

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje:

- Izv. prof. dr. sc. Damir Dović
- Ivan Horvat, mag. ing. mech.

Lektura:

- Lovorka Kovačić, prof.

Zahvaljujemo Ministarstvu poljoprivrede – Vijeću za istraživanja u poljoprivredi što je kroz financiranje projekta „Potencijal energetske kulture Sida hermaphrodita na ekološkom poljoprivrednom gospodarstvu“ omogućilo tiskanje ovoga priručnika.

Predgovor

Do otkrića nafte, čovjek je za potrebe transporta ili rada u polju ili šumi koristio snagu životinja. Pri tome je za potrebe uzgoja žitarica, a poglavito ječma i zobi, za ishranu životinja, koju je često puta nazivao i „blagom“, koristio oko 30% obradivih površina.

Danas, čovjek umjesto životinjskih konjskih snaga koristi konjske snage motora te bi za potrebe uzgoja žitarica i uljarica te energetske kulture trebao izdvojiti oko 10% obradivih površina.

Kako do sada nisu propisane kvote i kakvoće poljoprivrednih tala za potrebe uzgoja energetske kulture, danas u Svijetu dolazi do velikih rasprava o preuzimanju tala za potrebe uzgoja energetske kulture na štetu proizvodnje hrane.

Na temelju toga, posljednjih desetak godina istražuje se mogućnost iskorištenja kultura koje nisu za prehranu i koje mogu uspjevati na lošijim tlima. Tako je istraživana cijela niz kultura (tzv. brzorastuće višegodišnje energetske kulture) kao što su *Miscanthus x giganteus*, sudanska trava, *Arundo donax* i slično. Jedna je od takvih kultura i *Sida hemaphrodita* poznatija kao „Virginia Mallow“ koja pripada porodici sljezova.

U ovom priručniku, uz opću upotrebu korištenja energetske kulture, prikazana je i tehnologija uzgoja, dorade i skladištenje kulture *Sida hemaphrodita* te mogućnosti korištenja kao krutog goriva za izravno izgaranje u pećima.

Autori najljepše zahvaljuju recenzentima ovog priručnika, prof. dr. sc. Darku Kišu sa Sveučilišta J.J.Strossmayera u Osijeku Poljoprivrednog fakulteta te izv.prof. dr. sc. Zoranu Iličkoviću sa Sveučilišta u Tuzli Tehnološkog fakulteta, koji su uložili veliki trud i rad u korekciji priručnika.

Posebna zahvala Ministarstvu poljoprivrede Republike Hrvatske koji je uz istraživanja za VIP projekt „Potencijal energetske kulture *Sida hermaphrodita* na ekološkom poljoprivrednom gospodarstvu“ financirao i ovaj priručnik. Također, zahvaljujemo ekološkom imanju „Eko Sever“ i tvrtki „Šulog“ d.o.o. na materijalnoj i financijskoj pomoći.

Autori

Sadržaj

1. Biomasa 1	
1.1 Općenito o biomasi	1
1.2 Poljoprivredna biomasa	3
2. Energetske kulture	4
3. Fizikalna svojstva biomase (mjerne jedinice)	6
3.1 Volumen biomase	6
3.2 Masa (težina) biomase	6
3.3 Gustoća biomase	7
4. Mjerne jedinice energije	8
5. Energetska svojstva biomase	9
5.1 Negorive tvari	9
5.1.1 Vlaga	9
5.1.2 Dušik	10
5.1.3 Pepeo	10
5.1.4 Fiksirani ugljik	11
5.1.5 Koks	11
5.2 Gorive tvari	12
5.2.1 Suha tvar	12
5.2.2 Ugljik	12
5.2.3 Vodik	12
5.2.4 Kisik	13
5.2.5 Sumpor	13
5.2.6 Hlapljive tvari	13
5.3 Ogrjevna vrijednost (ogrjevna moć)	15
5.4 Mikro i makroelementi	16
5.5 Lignocelulozni sastav biomase	16
5.5.1 Lignin	17
5.5.2 Celuloza	17
5.5.3 Hemiceluloza	17
6. Dorada i skladištenje biomase	18
6.1 Sušenje	18
6.2 Peletiranje/briketiranje	23
6.3 Skladišta i silosi	27

7. Laboratorij – oprema i norme za vrednovanje krute biomase	30
7.1 Utvrđivanje negorivih svojstava	30
7.2 Utvrđivanje gorivih svojstava	31
7.3 Utvrđivanje ogrjevnih vrijednosti	33
7.4 Utvrđivanje mikro- i makroelemenata	34
7.5 Utvrđivanje lignoceluloznog sastava	34
8. Toplinski uređaji na poljoprivrednu biomasu	35
8.1 Izgaranje biomase	35
8.1.1 Općenito o izgaranju	35
8.1.2 Emisije onečišćujućih tvari	37
8.1.3 Problemi izgaranja poljoprivredne biomase – niska temperatura taljenja pepela	40
8.2 Vrste i karakteristike toplinskih uređaja na biomasu	41
8.2.1 Peći, kamini, štednjaci	43
8.2.2 Toplovodni kotlovi – mali do srednji	45
8.2.3 Mali toplovodni sustavi	47
8.2.4 Veliki toplovodni kotlovi	49
8.2.5 Kogeneracijska postrojenja	55
8.2.6 Dimenzioniranje kotla	57
8.2.7 Minimalni zahtjevi za toplovodne kotlove	57
9. Sida hermaphrodita	58
9.1 Taksonomija	58
9.2 Porijeklo i opis	59
9.3 Morfologija	60
9.4 Biologija	62
9.5 Ekološki zahtjevi	64
9.6 Agrotehnika	65
9.6.1 Obrada tla	65
9.6.2 Zasnivanje nasada (sadni materijal)	66
9.6.3 Gnojidba	68
9.7 Štetočine i bolesti	69
9.8 Prinos i žetva	71
10. Literaturni navodi	74

1. Biomasa

1.1 Općenito o biomasi

Biomasa se prema Direktivi 2001/77/EC definira kao biorazgradivi dio proizvoda, otpada i ostataka iz poljoprivrede (uključujući biljne i životinjske supstance), šumarstva i drvne industrije, kao i biorazgradivi dio industrijskog i komunalnog otpada. Pod pojmom biomasa podrazumijevaju se različite vrste organskog materijala, s energetsom vrijednošću koja je podložna pretvorbi u gorivo ili neposredno u toplinu.

Biomasa je nekada bila primarni i gotovo jedini izvor energije, zbog čega je njezina potrošnja bila iznimno velika, a iskorištavanje vrlo neučinkovito pa su u nekim dijelovima svijeta šume posve uništene (Labudović, 2012). Napretkom tehnologije fosilno gorivo dobiva na važnosti do te mjere da uzrokuje poremećaj u njegovoj opskrbi i podizanje cijena, što je uzrokovalo poremećaje u ukupnim nacionalnim gospodarstvima pa se početkom 90-ih kao odgovor na probleme koji su zapaženi na cijeloj Zemlji pojavljuje ideja o održivom razvitku (Čakija, 2007). Biomasa predstavlja pohranjenu energiju koja se može crpiti po potrebi. Takve sirovine imaju tri glavne primjene:

- stvaranje topline i/ili električne energije,
- gorivo za transport i
- za kemijsku industriju.

Prije energetskog iskorištenja potrebno je obaviti žetvu i/ili prikupljanje, transport te eventualno sušenje i skladištenje. Biomasi je moguće pretvoriti u energiju korištenjem različitih procesa ovisno o vrsti i kvaliteti sirovine; željenom obliku proizvedene energije; načinu upotrebe; okolišnim normama te ekonomskim mogućnostima. Najčešći odlučujući **čimbenici** su željeni oblik energije te vrsta i kvaliteta sirovine. Postoje tri osnovna načina pretvorbe biomase:

- termokemijska,
- biokemijska i
- mehanička ekstrakcija s esterifikacijom.

Biokemijske pretvorbe uključuju anaerobnu digestiju i alkoholnu fermentaciju, dok termokemijske uključuju izgaranje, pirolizu, uplinjavanje te likvefakciju (McKendry, 2002). Mehanička ekstrakcija podrazumijeva tehnološki postupak tiješnjenja/peršanja uljarica u proizvodnji biodizela.

Biomasa, kao i njezini produkti nije samo obnovljiva, nego i dovoljno slična krutim i, nakon prerade, tekućim fosilnim gorivima te je moguća njihova izravna zamjena (Krička i sur., 2007). Trenutno, biomasa predstavlja četvrti najveći izvor energije, odmah nakon nafte, plina i ugljena te se iz nje proizvodi oko 14 % ukupne godišnje potrebe za energijom s tendencijom rasta u razvijenim zemljama (Garcia i sur., 2012). Prema podacima iz 2015. potencijal bio-

mase kao obnovljivog izvora energije proizlazi iz tri sektora: poljoprivrede (21 %), šumarstva (41 %) i otpada (38 %) (AEBIOM, 2015). Uzimajući u obzir da je Republika Hrvatska zemlja s izrazito velikim teoretskim potencijalom biomase za proizvodnju energije (oko četiri milijuna tona godišnje, trenutno dostupnih) ona bi mogla zamijeniti do 25 % ukupno utrošene energije (Krička i sur., 2007).

Svaka sirovina u proizvodnji energije pa tako i biomasa, ima svoje prednosti i nedostatke.

Prednosti biomase:

- mogućnost iskorištenja u raznim oblicima, ovisno o vrsti same biomase i načinu prikupljanja i/ili dorade,
- velike raspoložive količine na godišnjoj razini,
- smatra se neutralnom u smislu emisije stakleničkih plinova u atmosferu, posebno ugljikovog dioksida koji sudjeluje u procesu fotosinteze,
- sadrži niske razine sumpora i dušika u svome sastavu (uslijed fotosinteze) te se na taj način smanjuje emisija štetnih sumporovih i dušičnih oksida,
- najčešće se nalazi na mjestu potrošnje ili u njegovoj blizini te time pozitivno utječe na lokalnu energetska neovisnost i samodostatnost i
- proizvodnja biomase potiče zapošljavanje i izvor dodatne zarade u šumarstvu, poljoprivredi i drvenj industriji te tako bitno utječe na socijalno-gospodarsku sliku područja u kojem se proizvodi (BIOEN, 2001; Novković i Đević, 2000; Krička, 2006; Šljivac i Šimić, 2009; Demibras i sur., 2009; Voća, 2011; Garcia i sur., 2012).

Nedostatci biomase:

- periodičnost nastajanja, koja kod određenih tipova biomase (npr. komina grožđa i masline) zahtijeva trenutno zbrinjavanje iste,
- nepovoljni kemijski sastav može uzrokovati probleme tijekom energetskog iskorištenja (npr. povećani udio silicija utječe na stvaranje šljake u ložištima tijekom procesa izgaranja) i
- velike količine nastale biomase često su povezane s problemima transporta, rukovanja i skladištenja proizvedenih količina (Novković i Đević, 2000; Šljivac i Šimić, 2009; Voća, 2011; Garcia i sur., 2012).

1.2 Poljoprivredna biomasa

Poljoprivreda je jedna od važnijih gospodarskih grana u Europskoj uniji i Hrvatskoj i dobro gospodarenje poljoprivredom, time i poljoprivrednom biomasom od strateške je važnosti. Potencijal poljoprivredne proizvodnje u Hrvatskoj znatno je veći od iskorištenog s obzirom na to da postoji veliki postotak neobrađenih površina. Poljoprivreda je veliki potrošač energije, ali korištenjem ostataka proizvodnje može biti i veliki proizvođač s obzirom na to da svake godine ostanu velike količine neiskorištene biomase koja bi se mogla upotrijebiti u energetske svrhe (Jelčić, 2016). Prema Statističkom ljetopisu Republike Hrvatske (2015), ukupno korištene poljoprivredne površine u Hrvatskoj 2014. godine zauzimale su 1.508,885 ha. Vinogradi, maslinici i voćnjaci uzgajali su se na površinama od ukupno 76.970 ha, a ratarske kulture, pšenica, ječam, kukuruz, soja, suncokret i uljana repica zauzimale su površine od 559.961 ha, što je sveukupno 42,2 % od ukupnih poljoprivrednih površina.

Postoje velike mogućnosti iskorištenja poljoprivredne biomase, kao što su proizvodnja humusa (zaoravanjem), stajnjaka, hrane za životinje, transportnih goriva te toplinske i/ili električne energije (Brkić, 2007). Poljoprivredna lignocelulozna biomasa ima znatan energetski potencijal jer predstavlja ostatke primarne poljoprivredne proizvodnje, odnosno nusproizvode nakon dorade/prerade poljoprivrednih sirovina u prehrambenoj industriji (Krička i sur., 2014). Međutim, potrebno ju je koristiti na način koji će biti energetski učinkovitiji i održljiviji nego dosad, kao što je to odavno postalo pravilo u zemljama Europske unije. Iskustva iz razvijenih zemalja Europske unije pokazuju kako se radi o vrijednom izvoru energije koji se nikako ne bi trebao zanemariti (Šljivac i Šimić, 2009).

Poljoprivredna biomasa često se definira koristeći pojam biogoriva koji se proizvodi od same biomase. Postoje dvije osnovne podjele biogoriva i to s obzirom na oblik krajnjeg korištenja i vrstu sirovine od koje se proizvode. Prema obliku krajnjeg korištenja biogoriva su podijeljena na **kruta, tekuća i plinovita**. Najčešće korištena kruta goriva su sječka, peleti i briketi; tekuća su biodizel i bioetanol te plinovito je bioplina. Nadalje, ovisno o vrsti korištene sirovine u proizvodnji, biogoriva se mogu podijeliti na: prvu, drugu i treću generaciju. U odnosu na prvu generaciju biogoriva (dobivena iz sjemenke ili ploda), tijekom proizvodnje druge generacije ne koriste se sirovine koje su ujedno hrana za ljude i životinje, već se dobivaju isključivo iz ostataka poljoprivredne proizvodnje (Bilandžija i Voća, 2015), dok se za proizvodnju treće generacije najčešće koriste alge. Poljoprivredna biomasa za proizvodnju biogoriva može se podijeliti na (Bilandžija, 2015):

- biomasu ratarske proizvodnje (sijeno, slama, stabljike, kukuruzovina, oklasak, ljuske),
- biomasu voćarsko vinogradarske proizvodnje (orezani ostatci trajnih nasada),
- biomasu iz dorade i prerade poljoprivrednih sirovina u prehrambenoj industriji (komina grožđa, komina masline, komina uljarica, koštice voća, ljuske jezgričavog voća),
- biomasu iz povrćarstva i ukrasne hortikulture (otpad iz vrtova i parkova),
- biomasu stočarske proizvodnje (gnoj, gnojnica, klaonički otpad, otpad u ribarstvu, mesno – koštano brašno) i
- biomasu energetskih kultura.

2. Energetske kulture

Energetske kulture su one kulture koje se uzgajaju isključivo u svrhu proizvodnje velikih količina biomase po jedinici površine, a dijele se na poljoprivredne i šumske. Poljoprivredne energetske kulture mogu biti jednogodišnje ili višegodišnje biljke. Za razliku od jednogodišnjih (npr. kukuruz, uljana repica), višegodišnje energetske kulture (npr. *Miscanthus x giganteus*, divlje proso) nemaju veće zahtjeve tijekom uzgoja i to prvenstveno u smislu agrotehnike i kvalitete poljoprivrednog tla (Đonlagić, 2005; Bilandžija, 2015).

Prednosti uzgoja višegodišnjih energetskih kultura:

- obrada tla samo u prvoj godini uzgoja, niski zahtjevi za gnojidbom,
- povećanje plodnosti tla,
- pozitivan utjecaj na biološku raznolikost,
- smanjenje erozije,
- izražena sekvencijacija ugljika u biljku i tlo i
- mogućnost proizvodnje CO₂ neutralnog goriva.

Nedostaci uzgoja očituju se kroz:

- konkurentnost u proizvodnji hrane,
- relativno visoka početna ulaganja i
- opasnost od požara u nasadu s niskim udjelom vlage.

S obzirom na to da se radi o proizvodnji višenamjenske lignocelulozne biomase, poljoprivredne energetske kulture sve više dobivaju na važnosti. Na području Europske unije, najzastupljenije višegodišnje poljoprivredne energetske kulture su divlje proso (*Switchgrass*), *Miscanthus x giganteus* i blještac (*Reed Canary grass*) na približno 110.000 ha (AEBIOM, 2014). U tablici 1 prikazane su osnovne značajke navedenih energetskih kultura. Međutim, i ostale energetske kulture poput sudanske trave, konoplje, divovske trske, ali i kulture *Sida hermaphrodita* pokazuju značajan potencijal u proizvodnji lignocelulozne biomase. Na slikama 1, 2, 3 prikazane su najzastupljenije energetske kulture u EU.



Slika 1. *Miscanthus*



Slika 2. Divlje proso



Slika 3. Blještac

Tablica 1. Osnovne značajke energetskih kultura *Miscanthus x giganteus*, Blješćac (*Reed Canary grass*), Divlje proso (*Switchgrass*)

Kultura	<i>Miscanthus x giganteus</i>	Blješćac	Divlje proso
Prosječan prinos suhe tvari cijele biljke t ST/ha	10 - 20	7-16	10 - 13
Gnojivba (okvirma)	50 kg – 60 kg/ha N, 21 kg/ha P ₂ O ₅ i 45 kg/ha K ₂ O.	100 - 150 kg/ha N, 90 - 150 kg/ha P ₂ O ₅ i 120 - 180 kg/ha K ₂ O.	0 - 90 kg N/ha/god. P i K na oranžnim tlima ima uglavnom dovoljno.
Plodored	Jednom posađen traje >20 godina.	Jednom posađen traje >10 godina	Višegodišnja vrsta.
Posebni rizici	Osjetljiv na sušu u južnim područjima RH. Nisu pogodna prevlažna i močvarena tla.	Najbolje raste u hladnim, vlažnim uvjetima duž obala jezera i rijeke i jedna je od najboljih vrsta trava za slabo drenirana tla. Jako je otporan na hladnoću.	Tolerantna biljka na sušu. Vegetacija traje do pojave mraza u jesen.
Specifičnost	Značajan potencijal u Hrvatskoj	Sjeme nije dostupno u našim trgovinama.	Sjeme nije dostupno u našim trgovinama.
Korištenje stabljike	Prvenstveno za izgaranje, ali i 2. generaciju u biogoriva.	Prvenstveno za izgaranje, ali i 2. generaciju biogoriva.	Prvenstveno za izgaranje, ali i 2. generaciju biogoriva.
Dodatni potencijal korištenja u HR	Proizvodnja peleta i papira.	Proizvodnja papira.	Krma biljka.
Trenutna rasprostranjenost u EU (ha)	39.513	19.519	50.200
Utjecaj na okolinu	Nema negativnih utjecaja na okoliš.	Nema negativnih utjecaja na okoliš.	Nema negativnih utjecaja na okoliš.
Gornja ogrjevna vrijednost MJ kg ⁻¹	18	16,9	-
Donja ogrjevna vrijednost MJ kg ⁻¹	16,6 do 17,5	-	17,0

3. Fizikalna svojstva biomase (mjerne jedinice)

Za potrebe dorade, skladištenja i transporta potrebno je definirati više mjernih jedinica i to:

- volumen,
- masa (težina) i
- gustoća,

3.1 Volumen biomase

Volumen poljoprivredne biomase (izuzevši stočarsku biomasu) razlikuje se ovisno o obliku, veličini i rasporedu (pojedinačnih komada) sirovine. Stoga se razlikuju:

- volumen pojedinačnog komada i
- volumen naslagane biomase (bez obzira na to koliko je zgusnuta).

U tu svrhu koriste se jedinice:

- kubni metar (m^3),
- prostorni metar (složeni m^3) i
- nasipni metar (nasipni m^3).

Kubni metar (m^3) mjerna je jedinica koja se koristi za izražavanje volumena biomase bez šupljina.

Prostorni metar (složeni m^3) mjerna je jedinica za naslaganu biomasu, uključujući šupljine između pojedinih komada biomase, a koja ima volumen od jednog kubnog metra.

Nasipni metar (nasipni m^3) mjerna je jedinica koja se najčešće koristi za sječku, a odnosi se na volumen koji zauzima biomasa zajedno sa zračnim prostorom (Francescato i sur., 2008).

3.2 Masa (težina) biomase

Masa (SI jedinica - kg) osnovno je fizikalno svojstvo svih tijela, odnosno veličina koja karakterizira količinu tvari u tijelu. Mjerne jedinice koje se koriste su kilogram (kg) i tona (t). Masa biomase se izražava na suhu tvar ili u svježem stanju.

3.3 Gustoća biomase

Gustoća (SI jedinica - kg/m^3) biomase omjer je mase prema volumenu i što je masa veća tijelo je gušće. Za izražavanje gustoće biomase razlikuju se pojmovi:

- osnovna gustoća,
- ukupna gustoća i
- gustoća čestica.

Osnovna gustoća omjer je apsolutno osušene biomase (suha tvar) u odnosu na svježju (vlažnu) biomasu. Izražava se u kg/m^3 .

Ukupna (nasipna) gustoća omjer je svježe biomase u odnosu na volumen prostora u koji se sprema biomasa. Izražava se u kg/prostornom ili kg/nasipnom m^3 ovisno o tome kako je spremljena biomasa.

Gustoća čestica predstavlja gustoću pojedinih čestica materijala.

Osnovna (masena) gustoća nekih poljoprivrednih vrsta prikazana je u tablici 2, a u tablici 3 dan je prikaz ukupne (nasipne) gustoće nekih krutih biogoriva.

Tablica 2. Osnovna gustoća nekih poljoprivrednih vrsta (Francescato i sur., 2008)

Vrsta biomase	kg/m^3
Drvo trešnje	600
Drvo bazge	620
Ljeska	670
Orah	700
Bukva	750
Hrast lužnjak	770
Maslina	920

Tablica 3. Ukupna (nasipna) gustoća nekih krutih biogoriva ($w = 15\%$) (Francescato i sur., 2008)

Vrsta biomase	kg/nasipnom m^3
Stelja	110
Bale Miscanthusa	140
Piljevina	160
Drvena sječka	223 - 328
Triticale	759

4. Mjerne jedinice energije

Svaka biomasa, pa tako i poljoprivredna, u sebi sadrži određenu količinu energije (SI jedinica - J) tzv. primarnu energiju. Osnovni je cilj u proizvodnji biomase tu energiju pretvoriti u neku poželjnu, krajnju energiju, koja se koristi za željenu svrhu. Za potrebe proizvodnje goriva toplinska energija je krajnja energija.

Džul (J) je mjerna jedinica za energiju, a rad je brzina prelaska energije iz jednog oblika u drugi i po jedinici je ekvivalent energiji, dok se brzina rada naziva snaga i izražava se u vatima ($W = J/s$). Stoga se, ponekad, kao jedinica mjere za energiju koristi i jedinica vat - sat (Wh). Zbog različitosti prikaza vrijednosti energije koriste se koeficijenti konverzije jedinica. U tablici 4 dan je prikaz koeficijenata konverzije jedinica toplinske energije (Ražnjević, 1975).

Tablica 4. Omjeri najčešće korištenih mjernih jedinica i reda iz jedinica joule i wattsat (Ražnjević, 1975)

Jedinica	Kratica	J	kJ	MJ	kWh	MWh
1 joule	J	1	10^{-3}	10^{-6}	$2,77778 \times 10^{-7}$	$2,77778 \times 10^{-10}$
1 kilojoule	kJ	10^3	1	10^{-3}	$2,77778 \times 10^{-4}$	$2,77778 \times 10^{-7}$
1 megajoule	MJ	10^6	10^3	1	$2,77778 \times 10^{-1}$	$2,77778 \times 10^{-4}$
1 kilowattsat	kWh	$3,6 \times 10^6$	$3,6 \times 10^3$	3,6	1	10^{-3}
1 megawattsat	MWh	$3,6 \times 10^9$	$3,6 \times 10^6$	$3,6 \times 10^3$	10^3	1

Uz navedene vrijednosti, često se koristi jedinica tone ekv. nafte. **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 ($1 \text{ kJ} = 23,88 \times 10^{-9}$; $1 \text{ kWh} = 86 \times 10^{-6}$)

5. Energetska svojstva biomase

Energetska svojstva biomase predstavljaju smjesu složenih kemijskih spojeva koja procesom izgaranja razvija određenu količinu energije. Kemijski sastav, ali i građa stanične stijenke, primarni su pokazatelji energetske vrijednosti biomase.

Pri tome, pod energetske svojstvima, ubrajaju se **negorive** (vlaga, pepeo, fiksirani ugljik, koks) i **gorive tvari** (suha tvar, ugljik, vodik, kisik, sumpor, hlapljive tvari) te **ogrjevna vrijednost** (donja i gornja). **Mikro- i makroelementi** u sastavu biomase utječu na pogodnost korištenja pojedinih tipova biomase. Nadalje, pod građom stanične stijenke valorizira se **lignocelulozni sastav** (lignin, celuloza, hemiceluloza) (Bilandžija, 2014). Općenito, sastav je dobivene biomase važan ovisno o tome u koju će se svrhu biomasa koristiti (Jurišić, 2012).

5.1 Negorive tvari

Negorive tvari naročito su izražene kod krutih goriva, dok su manje izražene kod tekućih te minimalno kod plinovitih goriva.

5.1.1 Vlaga

Sadržaj vlage u bilo kojoj tvari, pa tako i u biomasi, može se definirati kao vlaga izražena na suhu tvar (ST) u odnosu na vlagu izraženu na mokroj osnovi, odnosno u svježoj masi, a izračunava se u postocima (%).

Vlaga na suhoj osnovi pokazuje prisutnu masu vode u odnosu na masu suhe biomase, dok se vlaga na mokroj osnovi prikazuje kao prisutna masa vode u odnosu na masu svježije biomase.

$$\text{Vlaga na suhoj osnovi (\%)} = \frac{\text{svježa masa} - ST}{ST} * 100$$

$$\text{Vlaga na mokroj osnovi (\%)} = \frac{\text{svježa masa} - ST}{\text{svježa masa}} * 100$$

Vlaga na mokroj osnovi poznatija je pod nazivom sadržaj vode. Ova vrijednost opisuje kvantitet vode u svježoj masi i koristi se u prodaji.

5.1.2 Dušik

Dušik (N) ne sudjeluje u procesu izgaranja i ne razvija toplinu te stoga smanjuje ogrjevnju vrijednost goriva. Nalazi se u manjim količinama u gorivu i to od 0,7 % do 1,3 %, kao ostatak proteinskih tvari biljnog i životinjskog porijekla. U gorivima se nalazi u obliku dušikovih organskih spojeva te zbog svoje slabe aktivnosti negativno utječe na aktivnost drugih elemenata s kojima se nalazi u spoju. Postotni udio dušika u šumskoj biomasi kreće se od 0,1 % do 1,9 %, a u poljoprivrednoj od 0,2 % do 2,2 %.

Osim što negativno utječe na proces izgaranja, izrazito je važan njegov prihvatljivi udio u biomasi s obzirom na to da njegovim izgaranjem dolazi do formiranja dušikovih oksida (NO_x), koji imaju negativan utjecaj na okoliš. Osim samog tipa korištene biomase, na formiranje NO_x također, utječe utrošak zraka, konstrukcija i tip peći tijekom samog izgaranja. NO_x tijekom izgaranja postaje plinovit i ne ostaje u pepelu (Jenkins i sur., 1998; McKendry, 2002; Van Loo i Koppejan, 2008; Khan i sur., 2009; Vassilev i sur., 2010; Telmo i sur., 2010; Garcia i sur., 2012; Greenhalf i sur., 2012).

5.1.3 Pepeo

Pepeo pripada u primjese anorganskog porijekla koje se nalaze u biomasi, a nazivaju se još i mineralne primjese. Neizbježan je sastojak svih oblika goriva (primarni pepeo, unutarnji ili vezani pepeo i slobodni pepeo).

Među ostalim, kvaliteta se goriva određuje količinom pepela te što ga je manje gorivo je kvalitetnije. Pepeo ima katalitički utjecaj na termičku razgradnju, odnosno više koncentracije pepela rezultiraju većim koncentracijama ugljena i plinova. Poljoprivredna biomasa ima relativno nisko talište (do 1000 °C), pojava taljenja pepela tijekom toplinskog procesa uzrokuje nastanak „šljake“, koja taloženjem u ložištima ili kotlovima uzrokuje smanjenje primarnog protoka zraka i ukupno smanjenje učinkovitosti izgaranja. Nadalje, udio pepela u gorivu utječe na tehnologiju zbrinjavanja pepela, kao i na tehnologiju izgaranja. Transport i skladištenje proizvedenog pepela, također, ovisi o količini pepela u gorivu. Goriva s nižim udjelom pepela bolja su za termičko iskorištenje, jer manje količine pepela olakšavaju njegovo uklanjanje, transport i skladištenje, kao i iskorištenje i odlaganje.

Nadalje, utvrđena je negativna korelacija između ogrjevnih vrijednosti i pepela. Svakim povećanjem udjela pepela od 1 % dolazi do smanjenja ogrjevnih vrijednosti za 0,2 MJ kg⁻¹. Viši udio pepela u gorivu obično vodi do većih emisija prašine, ima utjecaj na konstrukciju izmjenjivača topline i na čišćenje izmjenjivača topline te na tehnologiju prikupljanja pepela. Pepeo se u šumskoj biomasi kreće u rasponu od 0,2 % do 2,8 %, a u poljoprivrednoj biomasi od 1,4 % do 7,1 % (McKendry, 2002; Obernberger i Thek, 2004; Cassida i sur., 2005; Van Loo i Koppejan, 2008; Khan i sur., 2009; Telmo i sur., 2010; Hodgson i sur., 2010; Krička, 2010).

5.1.4 Fiksirani ugljik

Fiksirani ugljik (C_{fix}) predstavlja količinu fotosintezom vezanog ugljika u biomasi. Pojam fiksirani ugljik odnosi se na čvrstu frakciju koja ostaje nakon isparavanja hlapljivih komponenti. Sastoji se, uglavnom, od ugljika, ali i određene količine vodika, kisika, sumpora i dušika. Povećanjem fiksiranog ugljika povećava se ogrjevna vrijednost energenta. Fiksirani se ugljik u šumskoj biomasi nalazi od 12,4 % do 22,5 %, a u poljoprivrednoj od 11,33 % do 22,14 % (McKendry, 2002; Obernberger i Thek, 2004; Telmo i sur., 2010; Krička, 2010).

5.1.5 Koks

Koks je ostatak suhe destilacije i što ga ima više, gorivo je kvalitetnije. Koks šumske i poljoprivredne biomase kreće se od 11,4 % do 24,19 % (Krička, 2010). U tablici 5 prikazane su negorive tvari različitih tipova biomase izražene na suhu tvar.

Tablica 5. Negorive tvari različitih tipova biomase

Biomasa	Dušik (%)	Pepeo (%)	*C _{fix} (%)	Koks (%)	Izvor
Vrba	1,9	5,4	16,0	-	c
Hrast	0,7	0,4	11,0	11,4	e, f
<i>Divovska trska (Arun- do donax)</i>	0,8	2,0	9,7	11,7	h
Slama pšenice	0,7	7,1	18,1	22,3	a, f
Ljuska lješnjaka	1,4	1,5	21,4	24,1	g
Koštica šljiva	0,9	1,8	21,2	-	b
Orezana vinova loza	0,6	2,1	19,0	24,2	d
<i>Sida hermaphrodita</i>	0,2	2,9	5,1	8,1	i

Izvor: [a] Vassilev i sur. (2010); [b] Garcia i sur. (2012); [c] Greenhalf i sur. (2012); [d] Bilandžija i sur. (2012); [e] Krička i sur. (2012); [f] Krička (2010); [g] Matin i sur. (2013); [h] Jurišić i sur. (2014) [i]; vlastita istraživanja Krička i sur. (2017).

5.2 Gorive tvari

Gorive tvari su tvari koje, dovedene na svoju temperaturu zapaljenja, u prisutnosti kisika iz zraka, uz stvaranje plamena ili žara, prelaze u plinovite spojeve i nesagorive ostatke (Dimitrijević, 1984).

5.2.1 Suha tvar

Suhu tvar (ST) predstavlja postotak vode u razlici od 100 što čini udio suhe tvari, a definira se kao jedan od važnijih parametara tijekom određivanja kvalitete biomase. Viši udio suhe tvari, odnosno niži vode poboljšava kvalitetu biomase tijekom procesa izravnog sagorijevanja. Učinkovitost se sustava za izgaranje smanjuje povećanjem vlage goriva, stoga je pri izgaranju vlažnije biomase (50 – 55 % vlage) potrebno koristiti dodatni energent, jer se ne oslobađa dovoljno energije. Također, emisije su štetnih plinova veće kad se koristi vlažno gorivo jer je pri tome izgaranje nepotpuno. Udio suhe tvari u biomasi varira u širokim granicama, od 20 % pa sve do 97 % (Jenkins i sur., 1998; Van Loo i Koppejan, 2008; Vassilev i sur., 2010).

5.2.2 Ugljik

Ugljik (C) je osnovni i najvažniji element svih vrsta goriva s maksimalnim udjelom od čak 95 %. Količina ugljika u gorivu određuje kvalitetu istog te što ga je više energent je kvalitetniji. Goriva s višim udjelom ugljika izgaraju s malim plamenom ili bez plamena. Kod izgaranja, složeni se spojevi razgrađuju i oslobađaju ugljik. U gorivu se ugljik ne nalazi u slobodnom obliku, nego u spojevima s vodikom, kisikom, dušikom i sumporom. Ugljik je u biomasi prisutan u djelomično oksidiranom obliku, što objašnjava nižu ogrjevnu vrijednost goriva iz biomase, u usporedbi s ugljenom. Šumska biomasa prosječno sadrži 50,1 % ugljika, čime predstavlja nešto kvalitetnije gorivo u odnosu na poljoprivrednu biomasu koja prosječno sadrži 47,6 % ugljika (Dimitrijević, 1984; Obernberger i Thek, 2004; Vassilev i sur., 2010; McKendry, 2002; Krička i sur., 2012).

5.2.3 Vodik

Vodik (H), uz ugljik, čini osnovni sastav gorive tvari svakog goriva, a povećani udio vodika poboljšava kvalitetu goriva, odnosno povećava ogrjevnu vrijednost. Vodik se u gorivu nalazi u obliku raznih spojeva, a najčešće u ugljikovodiku i vodi. Vodik se u spoju s kisikom naziva vezanim, a količina vezanog vodika određena je sadržajem kisika u gorivu. Kod čvrstih goriva sadržaj vodika iznosi od 4 do 7 %, ali samo je slobodan vodik važan s aspekta gorivih vrijednosti. Vodik i ugljik oksidiraju tijekom izgaranja egzotermičkim reakcijama, formirajući H_2O i CO_2 . Šumska biomasa prosječno sadrži 6,32 % vodika, dok je u poljoprivrednoj biomasi vodik prosječno zastupljen s 5,59 % (Dimitrijević, 1984; McKendry, 2002; Obernberger i Thek, 2004; Demirbas, 2004; Vassilev i sur., 2010; Krička i sur., 2012).

5.2.4 Kisik

Kisik (O) je element čija je prisutnost u gorivu nepoželjna jer isti može uzeti učešće u izgaranju, pri tome zamjenjujući dio kisika iz zraka koji je neophodan za izgaranje. Nalazi se u gorivu u obliku spojeva s drugim elementima, čineći ih manje-više ili sasvim negorivim. Kisik smanjuje sadržaj gorivih elemenata s kojima je u spoju, što u konačnici rezultira smanjenjem ogrjevne vrijednosti goriva. Organski vezan kisik, koji se otpušta termalnom razgradnjom biomase, pokriva dio ukupnog kisika potrebnog za izgaranje, a ostatak se u ložištima doprema injektiranjem zraka. Šumska biomasa prosječno sadrži 43,3 % kisika, a poljoprivredna 45,4 % (Dimitrijević, 1984; Obernberger i Thek, 2004; Vassilev i sur., 2010; McKendry, 2002; Van Loo i Koppejan, 2008; Krička i sur., 2012).

5.2.5 Sumpor

Sumpor (S) se u gorivu nalazi kao sporedni sastojak u udjelu od 1 do 2,5 %. Međutim, s ekološkog aspekta, izuzetno je bitan njegov prihvatljivi udio u korištenom energentu. Sumpor se u gorivu dijeli na koristan (gorivi) i nekoristan (negorivi) sumpor. Gorivi sumpor zajedno s ugljikom i kisikom stvara sumporni dioksid i određenu količinu topline. U negorivi sumpor spadaju sulfatni spojevi u kojima je sumpor u vezi s kisikom, tako da je njegovo izgaranje onemogućeno. Sumpor formira plinovite komponente: sumpor dioksid i sumpor trioksid (SO_2 , SO_3) te alkalne sulfate tijekom izgaranja, što rezultira isparavanjem većeg dijela sumpora. SO_2 može se vezati na čestice lebdećeg pepela reakcijama sulfizacije. U većini slučajeva šumska i poljoprivredna biomasa sadrže male i ekološki prihvatljive udjele sumpora (0,02 – 0,23 %). U odnosu na fosilna goriva, izgaranjem biomase mogu se smanjiti emisije SO_2 do 75 %, iako se većina sumpora (40 – 90 %) veže u pepelu. Važnost prihvatljivog udjela sumpora, osim kroz smanjenje emisije štetnih plinova, očituje se i u procesima tijekom stvaranja korozije na ložištima za biomasu (Dimitrijević, 1984; Obernberger i Thek, 2004; Vassilev i sur., 2010; McKendry, 2002; Van Loo i Koppejan, 2008; Saidur i sur., 2011; Krička i sur., 2012).

5.2.6 Hlapljive tvari

Hlapljive su tvari (HT) u uskoj vezi s kisikom te ako se smanjuje sadržaj kisika smanjuje se i sadržaj hlapljivih tvari u gorivu. Pojam hlapljivih tvari odnosi se na komponente goriva koje se oslobađaju kada se gorivo zagrijava na visokim temperaturama, uključujući vodenu paru. Hlapljiva tvar sadrži zapaljive (CO i H_2) i nezapaljive plinove (CO_2 , SO_2 i NO_x). Biomasa, općenito, ima vrlo visoki sadržaj hlapljivih tvari, s vrijednostima oko 70 %, ali one mogu narasti do 90 %, ovisno o sirovini. Zbog visokog sadržaja hlapljivih tvari, kruta biogoriva lako su zapaljiva, čak i pri relativno niskim temperaturama, u usporedbi s drugim fosilnim gorivima poput ugljena. Kao rezultat visokog udjela hlapljivih tvari, veći dio biomase ishlapi prije nego što počne homogena faza izgaranja, a preostali ugljenizirani ostatak tada ulazi u heterogenu reakciju izgaranja. Stoga udio hlapljivih tvari značajno utječe na termičku razgradnju i ponašanje biomase tijekom izgaranja. Šumska biomasa sadrži prosječno 72,8 %

hlapljivih tvari, dok udio hlapljivih tvari u poljoprivrednoj biomasi prosječno iznosi 84,4 % (Jenkins i sur., 1998; McKendry, 2002; Van Loo i Koppejan, 2008; Khan i sur., 2009; Vassilev i sur., 2010; Saidur i sur., 2011; Krička i sur., 2012; Jurišić i sur., 2014). U tablici 6 prikazane su gorive tvari različitih sirovina za proizvodnju biomase (na suhu tvar).

Tablica 6. Gorive tvari različitih tipova biomase

Biomasa	*ST (%)	Ugljik (%)	Vodik (%)	Sumpor (%)	Kisik (%)	*HT (%)	Izvor
Vrba	89,1	48,4	5,7	0,03	44,0	78,6	b,d
Hrast	80,0	37,9	5,9	0,21	55,2	77,0	b,c
Divovska trska (<i>Arundo donax</i>)	52,0	48,7	4,0	0,12	46,4	89,8	b,f
Slama pšenice	89,9	42,1	6,5	0,32	41,0	64,0	b,a
Ljuska lješnjaka	92,8	51,5	5,5	0,04	41,6	77,1	b
Koštica šljiva	-	50,0	6,7	0,08	42,4	80,8	b
Orezana vinova loza	-	47,4	6,8	0,02	44,9	73,2	e
<i>Sida hermaphrodita</i>	75,1	42,2	4,2	0,2	53,1	88,9	g

*ST - Suha tvar; *HT - Hlapljive tvari

Izvor: [a] Cuiping i sur. (2004); [b] Vassilev i sur. (2010); [c] Garcia i sur. (2012); [d] Greenhalf i sur. (2012); [e] Bilandžija i sur. (2012); [f] Jurišić i sur. (2014); [g]; vlastita istraživanja Krička i sur. (2017).

5.3 Ogrjevna vrijednost (ogrjevna moć)

Ogrjevna vrijednost ili kalorijska vrijednost energija je goriva, a izražava se u J (*Joule*) na jedinicu mase (J kg^{-1} ili MJ kg^{-1}). Na ogrjevnu vrijednost utječu vlažnost, kemijski sastav i gustoća energenta. Razlikuju se **gornja** (H_g) i **donja** (H_d) **ogrjevna vrijednost**. Gornja ogrjevna vrijednost definira sadržaj energije goriva koji uključuje kondenzacijsku toplinu vodene pare sadržane u dimnim plinovima.

Donja ogrjevna vrijednost označava sadržaj energije goriva bez kondenzacijske topline vodene pare sadržane u ispušnim plinovima. Stoga, donja je ogrjevna vrijednost e uvijek manja od gornje ogrjevne vrijednosti. Kod biomase, razlika između vrijednosti u prosjeku iznosi oko 7 %, što predstavlja gubitak ispušnih plinova kod uobičajenih kotlova koji ne iskorištavaju toplinsku energiju vodene pare sadržane u dimnim plinovima. Ogrjevne su vrijednosti osnovni parametri za proračun energije i potencijala biomase, kao i temeljni parametar za klasifikaciju kvalitete samog energenta (Jenkins i sur., 1998; Holtz, 2006). U odnosu na poljoprivrednu biomasu, šumska biomasa sadrži nešto više ogrjevne vrijednosti. Donja i gornja ogrjevna vrijednost kod šumske biomase se u prosjeku kreće od 16,5 do 18,2 MJ kg^{-1} (H_d), odnosno od 16,0 do 20,7 MJ kg^{-1} (H_g), dok se kod poljoprivredne biomase one kreću u prosjeku od 14,61 do 17,77 MJ kg^{-1} (H_d), odnosno od 15,8 do 19,9 MJ kg^{-1} (H_g) (Telmo i sur., 2010; Krička, 2010; Krička i sur., 2012). U tablici 7 prikazane su ogrjevne vrijednosti različitih tipova biomase (na suhu tvar).

Tablica 7. Donja i gornja ogrjevna vrijednost (MJ kg^{-1}) različitih tipova biomase

Biomasa	Donja ogrjevna vrijednost	Gornja ogrjevna vrijednost	Izvor
Vrba	17,5	19,1	c
Hrast	17,2	18,7	d
Divovska trska (<i>Arundo donax</i>)	16,3	17,2	f
Slama pšenice	16,5	18,1	b
Ljuska lješnjaka	18,5	19,9	e
Koštica šljiva	15,0	17,7	a
Orezana vinova loza	16,4	18,8	d
<i>Sida hermaphrodita</i>	17,2	18,1	g

Izvor: [a] Garcia i sur. (2012); [b] Krička i sur. (2012); [c] Greenhalf i sur. (2012); [d] Krička (2010); [e] Matin i sur. (2013.); [f] Jurišić i sur. (2014); [g]; vlastita istraživanja Krička i sur. (2017).

5.4 Mikro i makroelementi

Mikro i makroelementi (anorganski elementi) koji se najčešće nalaze u sastavu biomase su natrij (Na), kalcij (Ca), kalij (K), magnezij (Mg), krom (Cr), kobalt (Co), olovo (Pb), mangan (Mn), željezo (Fe), kadmij (Cd), nikal (Ni), cink (Zn), silicij (Si), klor (Cl), bakar (Cu) i titan (Ti). Navedeni elementi, neposredno nakon procesa izgaranja, čine sastav proizašlog pepela. Svi oni, ali i pepeo, pojavljuju se tijekom izgaranja biomase te neki mogu uzrokovati niz ozbiljnih problema u ložištima, koji uzrokuju šljaku, koroziju i prljavštinu (Cuiping i sur., 2004.; Cassida i sur., 2005). S obzirom na to da sastav biomase utječe na sastav pepela, koji među ostalim čine i teški metali (Cr, Co, Pb, Mn, Fe, Cd, Ni, Zn, Si, Cl, Cu i Ti), poželjan je što niži udio istih i to prvenstveno radi krajnjeg, ekološki prihvatljivog, zbrinjavanja pepela nakon izgaranja. Neki od spomenutih mikro- i makroelementa, u različitim tipovima biomase, prikazani su u tablici 8 (na suhu tvar).

Tablica 8. Mikro i makroelementi u različitim tipovima biomase (mg kg⁻¹)

Elementi/Biomasa	Slama pšenice	Kukuruzovina
Kadmij (Cd)	0,46	0,55
Kobalt (Co)	1,09	1,50
Krom (Cr)	11,70	23,18
Bakar (Cu)	65,89	-
Mangan (Mn)	94,52	103,00
Nikal (Ni)	10,10	16,70
Olovo (Pb)	13,73	14,36
Cink (Zn)	29,36	69,69
Kalcij (Ca)	6 527,87	9 226,17
Željezo (Fe)	2 918,81	4 867,45
Kalij (K)	15 659,31	14 320,99
Magnezij (Mg)	2 491,50	4 767,23
Natrij (Na)	319,17	571,28
Fosfor (P)	1 122,85	1 849,85

Izvor: Cuiping i sur. (2004)

5.5 Lignocelulozni sastav biomase

Najvažnija su svojstva lignocelulozne biomase vrlo dobra čvrstoća, zapaljivost, biorazgradivost i reaktivnost (Olesen i Plackett, 1999). Lignoceluloza se sastoji od 75 % ugljikohidrata i u skoroj će budućnosti postati neophodan izvor ugljikohidrata za fermentaciju (Jørgensen i sur., 2007). Vlaknasti je materijal koji čini osnovu stanične stijenke biljke (biljnog tkiva), a sastoji se od tri glavne komponente: **lignina**, **celuloze** i **hemiceluloze**. Hemiceluloza i celuloza se zajednički nazivaju holoceluloza. Prosječne vrijednosti lignoceluloznog sastava biomase su: 40 – 60 % celuloze, 20 – 40 % hemiceluloze, 10 – 25 % lignina (USDE, 2004).

5.5.1 Lignin

Lignin je učvršćujući materijal koji se uglavnom nalazi između celuloznih mikrovlakana, obavlja celulozu i time pruža zaštitu protiv njene mikrobne i kemijske razgradnje (Thomsen i sur., 2005). Sastoji se od trodimenzionalnog polimera (fenil - propanska jedinica) koji je umetnut i vezan za hemicelulozu te pruža čvrstoću strukturi (Lange, 2007). Lignin je kompleksna molekula sastavljena od polimeriziranih fenol alkila, a predstavlja najzastupljeniju nepolisaharidnu frakciju u lignocelulozi (Jørgensen i sur., 2007). Biomasa s višim udjelom lignina pogodnija je za proizvodnju električne i/ili toplinske energije procesom izravnog sagorijevanja (Predojević, 2010; Hodgson i sur., 2010).

5.5.2 Celuloza

Celuloza je najraširenija sastavnica građe stanične stijenke. Sastoji se od polimera glukoze visoke molekularne mase, koji se čvrsto drže kao svežnjevi vlakana kako bi osigurali čvrstoću materijala (Jørgensen i sur., 2007). Celuloza ima višu koncentraciju kisika u odnosu na lignin pa je ogrjevna vrijednost celuloze manja od lignina (Lewandowski i sur., 2003).

5.5.3 Hemiceluloza

Hemiceluloza se sastoji od kraćih polimera raznih šećera koji sljeppljuju svežnjeve celuloze zajedno. Uloga je hemiceluloze pružiti vezivo između celuloze i lignina. Ipak, za razliku od celuloze, ima heterogenu i razgranatu strukturu koja se sastoji od pentoznih šećera (Thomsen i sur., 2005). Hemiceluloza ima višu koncentraciju kisika u odnosu na lignin pa je ogrjevna vrijednost hemiceluloze manja od lignina (Lewandowski i sur., 2003).

Sadržaj celuloze, hemiceluloze i lignina značajno se razlikuje između različitih tipova biomase (Jørgensen i sur., 2007), a navedeno potvrđuju vrijednosti prikazane u tablici 9.

Tablica 9. Građa staničnih stijenki različitih lignoceluloznih sirovina (%)

Biomasa / Analiza	Celuloza	Hemiceluloza	Lignin	Izvor:
Slama pšenice	56,1	22,7	20,1	a
Ljuska lješnjaka	26,8	30,4	42,9	b
Divlje proso	30 - 50	10 - 40	5 - 20	c
Orezana maslina	20,2	10,7	-	d
<i>Sida hermaphrodita</i>	43,9	30,1	23,7	e

Izvor: [a] Grubor i sur. (2015); [b] Demirbas (2003); [c] McKendry (2002) [d] Garcia–Maraver i sur. (2013); [e] vlastita istraživanja Krička i sur. (2017).

6. Dorada i skladištenje biomase

6.1 Sušenje

Svi kvarljivi proizvodi moraju se konzervirati. Pod konzerviranjem podrazumijeva se završna operacija kojom se ili zaustavljaju prisutni mikroorganizmi ili se zaustavlja njihovo razvijanje i razmnožavanje. Ova operacija osigurava očuvanje proizvoda i na taj način omogućava korištenje kroz potrebno razdoblje. Zadatak je konzerviranja proizvodu sačuvati njegova karakteristična prvobitna svojstva i produžiti trajnost. Sušenje je jedan od najstarijih načina konzerviranja.

Sušenje je postupak kojim se iz svježe biomase odstranjuje voda isparavanjem pod prirodnim ili kontroliranim uvjetima i to: temperature, vlage i zraka do trenutka koji osigurava potrebnu kvalitetu.

Gibanje vode u biomasi tijekom sušenja odvija se pomoću nezasićenog zraka okoline. Pri tome se suši:

- voda s površine biomase i
- voda koja se probija iz unutrašnjosti biomase na površinu.

Osnovni je čimbenik za odnošenje vode s površine brzina zraka i njegova zasićenost, a osnovni su čimbenici za odnošenje vode iz unutrašnjosti biomase osmotski i kapilarni tlak te brzina djelovanja u samoj biomasi u odnosu na zrak.

Princip i način sušenja određuje se prema namjeni osušene biomase. Sušenje se može obaviti nezagrijanim i zagrijanim zrakom.

Sušenje se nezagrijanim zrakom najčešće primjenjuje tamo gdje je biomasa već smještena u svoje konačno spremište. Zbog male brzine sušenja ovaj se sustav ne isplati ukoliko se naknadno transportira na konačno odredište.

Ovisno o vremenu žetve poljoprivredne biomase, a poglavito energetskih kultura, vlaga u njima često prelazi ravnotežnu i mora se nakon košnje ili žetve osušiti. Sušenje se obavlja zagrijanim zrakom i ovisno o daljini rada mehanizacije instalira se određeni kapacitet sušare.

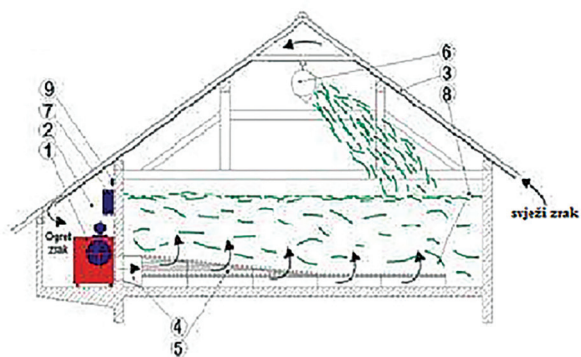
Sušenje biomase može se obaviti:

- prirodnim putem,
- u ventilatorskoj sušari,
- u nisko-temperaturnoj kontinuiranoj sušari,
- u rotacijskoj sušari
- u modularnoj sušari za sušenje bala.

Proces sušenja prirodnim putem započinje tako da se biomasa rasprostire po vodoravnoj površini (beton, asfalt) smještenoj na sunčanoj i prozračnoj strani. Nakon što se biomasa prosuši postavlja se u konični oblik i prekriva zaštitnom tkaninom (Francescato i sur., 2008).

Ventilatorska sušara (slika 4) sastoji se od rešetkastog poda, glavnog kanala i ventilatora. Bale (najčešće četvrtaste) jednolično se slože po čitavoj sušari u visini do dva metra. Kako bi se osiguralo sigurno sušenje, sušara posjeduje automatiku koja isključuje i uključuje ventilator, odnosno određuje režim rada. Ventilator se uključuje kad zrak može apsorbirati vodu iz biomase.

Glavni kanal služi za prijam i dovod zraka od ventilatora, a rešetkasti pod postavlja se s obje strane glavnog kanala, kako bi jednolična količina zraka doprla do biomase.



Legenda:

- | | | |
|-------------------------------------|--|----------------------------------|
| 1. radijalni ventilator | 3. krovni otvor (krovište, krovna greda) | 6. automatski rasipač biomase |
| 2. hermetički ventilatorski prostor | 4. hermetički kanal | 7. automatika |
| | 5. ravne i kose rešetke | 8. senzor za temperaturu biomase |
| | | 9. senzor za vlagu zraka |

Slika 4. Ventilatorska sušara

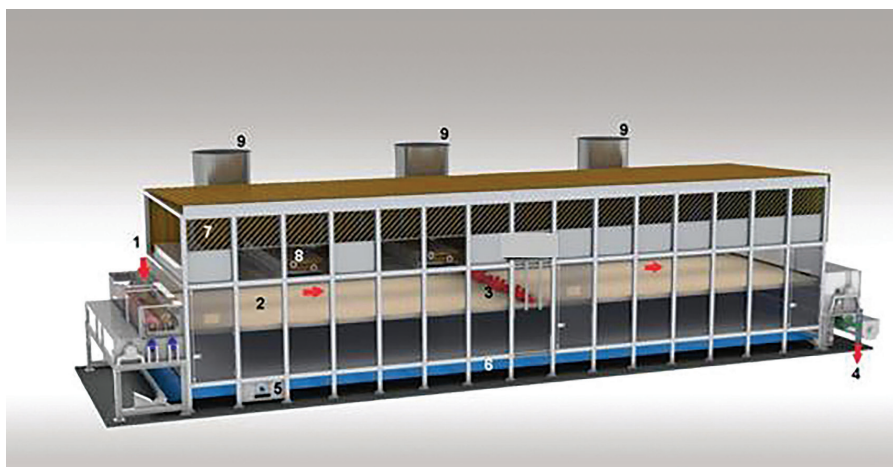
Nisko-temperaturna kontinuirana sušara je sušara u kojoj se vlažna biomasa kontinuirano dodaje u sušaru. Sastoji se od dva prijenosnika koji ravnomjerno distribuiraju vlažnu biomasu. Dubina sloja varijabilno je podesiva i na taj se način e može optimalno prilagoditi odgovarajućim zahtjevima. Nakon distribucije, biomasa se transportira u zonu sušenja. Unutar sušare nastali vrući zrak struji kroz uređaj. Vrući zrak generiran je pomoću izmjenjivača topline iz dostupnih ogrjevnih medija. Tijekom strujanja vrućeg zraka kroz sloj biomase, vlaga se suši konvekcijski i prelazi na protok zraka koji se hladi povlačenjem potrebne topline.

Radijalni ventilatori osiguravaju količinu zraka duž ukupne dužine sušare. Više je zraka po-

trebno u zoni punjenja uzorka (mokra zona) nego u zoni ispuštanja.

Sloj biomase ventilira se od vrha do dna. Sitne čestice (nečistoće) odvajaju se same kroz fluidizirajući sloj proizvoda.

Kako bi se postigla homogenizacija suhe biomase, sloj se biomase pomiče i miješa na kontroliran način te se nakon pola dužine sušare okreće pomoću uređaja, kako bi postojala ravnoteža između suhog gornjeg sloja i vlažnijeg donjeg sloja. Nakon što je prošla zonu sušenja, biomasa pada s beskonačne trake u pužni transporter i transportira se u silos/skladište. Na slici 5. prikazana je nisko-temperaturna kontinuirana sušara.

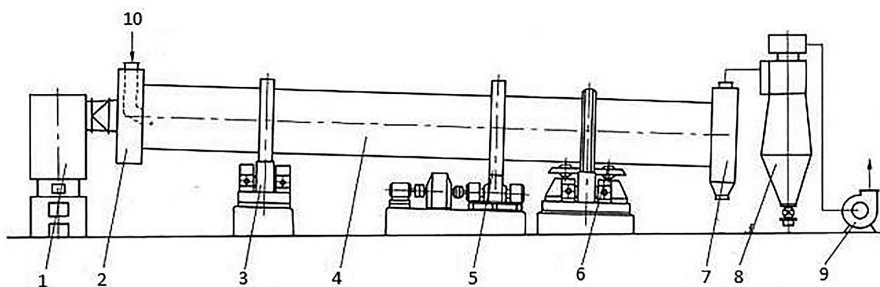


Legenda:

- | | | |
|-------------------------------------|--|----------------------------------|
| 1. radijalni ventilator | 3. krovni otvor (krovište, krovna greda) | 6. automatski rasipač biomase |
| 2. hermetički ventilatorski prostor | 4. hermetički kanal | 7. automatika |
| | 5. ravne i kose rešetke | 8. senzor za temperaturu biomase |
| | | 9. senzor za vlagu zraka |

Slika 5. Nisko-temperaturna kontinuirana sušara

Rotacijska sušara (slika 6) vrsta je industrijske kontinuirane sušare koja se upotrebljava za smanjivanje sadržaja vlage pri čemu biomasa dolazi u izravni kontakt sa zagrijanim zrakom. Rotacijske sušare imaju višestruku namjenu. Koriste se za sušenje pijeska, vapnenca, gnojiva, sječke biomase, ugljen, kanalizacijski mulj. Može se, također, koristiti u prehrambenoj industriji, kao i za zrnate materijale, poput žitarica, mahunarki, zrna kave, fermentiranog čaja lišća, itd.



Legenda:

1. Plamenik 2. Usipni koš 3. Uređaj za okretanje 4. Bujanj 5. Zupčanik 6. Uređaj za upravljanje zupčanikom 7. Ispust 8. Ciklonski separator 9. Ventilator 10. Punjenje

Slika 6. Rotacijska sušara

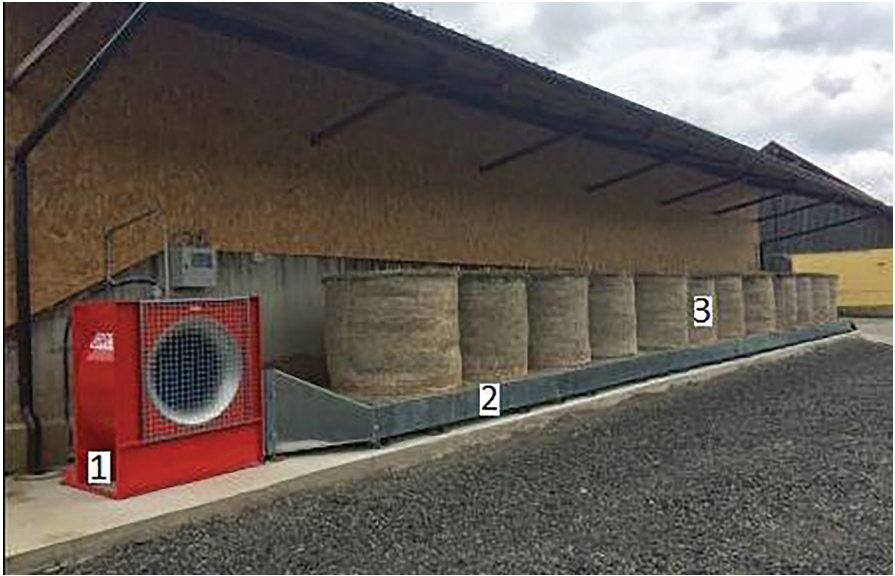
Sušara se sastoji od velike, rotirajuće cilindrične cijevi koju obično podržava betonski stup ili čelične grede. Sušara ima blagi pad tako da je na kraju sušara niža kako bi se gravitacijskom silom biomasa lakše transportirala. Biomasa, koju treba osušiti, ulazi u sušaru i prilikom rotacije bubnja biomasa se podiže pomoću niza unutarnjih rebara koji se nalaze na stijenkama bubnja. Kada postigne maksimalnu visinu materijal s rebra pada na dno sušare, prilikom čega prolazi kroz vrući zrak. Vrući zrak može se kretati od mjesta punjenja prema izlazu (istosmjerni protok) ili od izlaza prema mjestu punjenja (protusmjerni protok).

Sušara je direktna i u tom slučaju je vrući zrak mješavina zraka i plinova iz plamenika. Alternativno se može javiti mješavina zraka i drugog (ponekad) inertnog plina koji se prethodno zagrijava.

Modularna sušara za sušenje bala

Nakon baliranja, ako se bala suši na modularnoj sušari, bala (najčešće okrugla) mora biti balirana pod srednjim tlakom s mekom unutrašnjošću kako bi se omogućio najučinkovitiji protok zraka kroz bala.

Sama sušara sastoji se od kanala za sušenje s otvorima promjera bale koja se stavljaju predviđeni otvor. Bala se na kanalu za sušenje prekrije metalnim poklopcem kako bi se spriječio protok zraka, kroz njezinu unutrašnjost, u visinu. Na taj se način zrak usmjerava po cijeloj bali. Osnova sušenja sustava bale je ventilator (najčešće radijalni) koji osigurava kvalitetno i ravnomjerno sušenje bala. Osnovni dijelovi sušare za sušenje bala su radijalni ventilator, plamenik, kanal za sušenje, kanal za bale, poklopac za bale, ravne i kose rešetke automatika, a neki od navedenih dijelova vidljivi su na slici 7.



Legenda:

1. Radijalni ventilator 2. Kanal za sušenje 3. Bale

Slika 7. Modularna sušara s metalnim kanalima

6.2 Peletiranje/briketiranje

Peletiranje je termoplastični proces oblikovanja materijala istiskivanjem, u kojem se čestice materijala formiraju u kompaktnu pelete pogodnu za rukovanje (Katić i sur., 1992). Pritom je promjer peleta od 4 do 10 mm uz duljinu do 50 mm (slika 8).

Briketiranje je termoplastični proces zbijanja materijala u strojevima za briketiranje klipne ili pužne izvedbe, odnosno mehaničkog ili hidrauličkog pogona. Pri tome se materijal tlači u cilindar određenog oblika, najčešće kružnog pogona između 20 do 120 mm i duljine do 400 mm (slika 9).



Slika 8. Peleti



Slika 9. Briketi

Za potrebe peletiranja poljoprivredne biomase optimalna je vlaga sirovine do 17 %. Ako vlažnost biomase nije veća od 22 %, uvođenje procesa sušenja u obradu biomase se smatra neracionalnim.

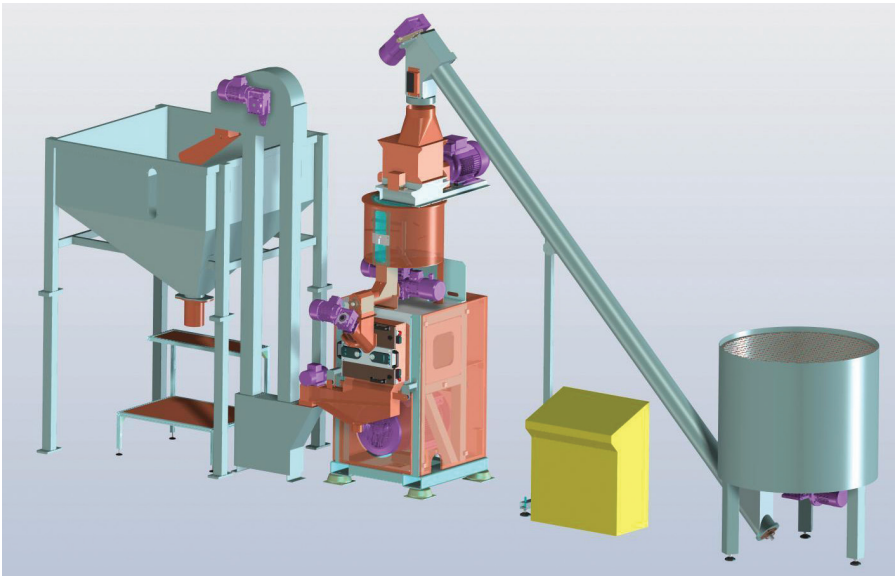
Kako bi se mogao proizvesti kvalitetni pelet, postoji potpuna oprema prije peletiranja, samo peletiranje i oprema nakon peletiranja (slika 10). Sam je proces kontinuiran, tj. biomasa stalno ulazi u uređaj, a pelete stalno izlaze.

Specifikacija opreme:

1. Sekcija pripreme biomase
 - transporter s grabljama za unos sirovine,
 - razlagač bala za dobivanje rastresite forme,
 - mlin za biomasu za usitnjavanje i
 - pneumatski transporter usitnjenog materijala.
2. Sekcija za peletiranje/briketiranje
 - silos za suhu usitnjenu biomasu,
 - mjerna traka s dozatorom i
 - peletirka/briketirka (preša).

-
3. Sekcija za hlađenje
- selektor za pelete,
 - kontraprotočni hladnjak,
 - sustav za pakiranje,
 - vibrirajuće sito za selektiranja peleta i
 - silos za pelete / jumbo vreće.

Na slici 10. prikazana je linija za peletiranje manjeg kapaciteta (250 kg/h).



Slika 10. Shematski prikaz linije za proizvodnju peleta

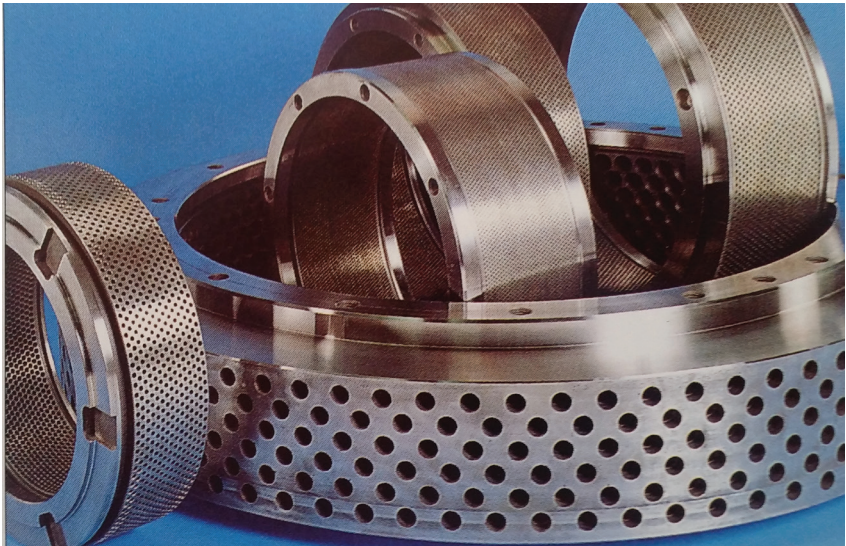
Peletirka je najvažniji dio linije za proizvodnju peleta. Peletirka je stroj kojim se oblikuje istisnuti materijal (slika 11). Veličina peletirke mora biti takva da učinkovito ispunjava sve zahtjeve za kvalitetno peletiranje. Za peletirku neophodni su sljedeći elementi:

- matrica,
- sklop i broj valjaka,
- pogonski motor i
- potrebna snaga (Katić i sur., 1992).



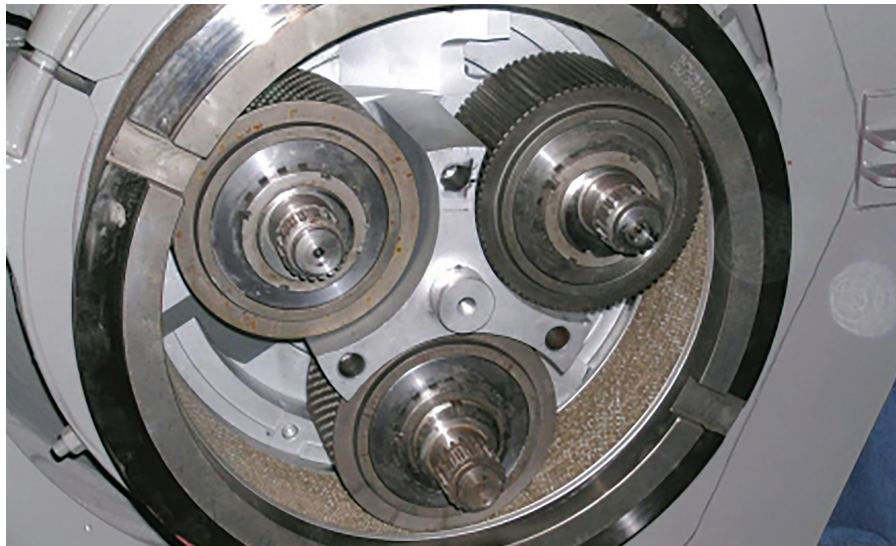
Slika 11. Peletirka

Matrica je glavni dio postrojenja za peletiranje (slika 12). Kakav će oblik imati pelet i koliki će biti kapacitet ovisi o promjeru i širini matrice, broju provrta u matrice, obliku provrta, debljini matrice i kakvoći površine.



Slika 12. Matrice za peletirku

Sklop i broj valjaka utiskuju materijal u matricu (slika 13) kojanajčešće ima dva ili tri valjka. To znači da se u kućište peletirke smješta dvo ili trovaljčasti sustav. Prednost sustava s tri valjka u odnosu na dva je ujednačenija je raspodjela čestica pri formiranju peleta.

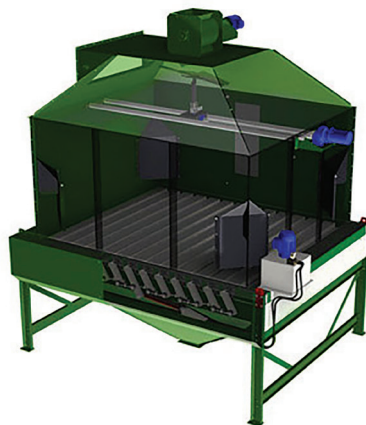


Slika 13. Valjci za peletirku

Pogonski motor mora udovoljavati zahtjevima proizvodnog procesa. Određuje se na temelju poznavanja specifičnog koeficijenta postrojenja i mora se izvesti u „S“ sigurnosnoj izvedbi.

Potrebna snaga uglavnom ovisi o karakteristikama biomase i o specifičnom kapacitetu, a izražava se u kg/kWh.

U procesu peletiranja neobično je važan i sam hladnjak (slika 14). Naime, neposredno na izlazu iz peletirke pelete su vrlo visoke temperature (oko 60 °C) te u takvom stanju pelete su krte i nije moguće nikakvo grublje rukovanje. Stoga se pelete moraju ohladiti i to na maksimalno 5 - 6 °C od temperature okoline. Vrijeme hlađenja ovisi o tipu hladnjaka i promjeru peleta.



Slika 14. Hladnjak za hlađenje peleta

6.3 Skladišta i silosi

Skladišta i silosi stalni su ili privremeni gospodarski objekti zatvorenog ili otvorenog tipa, u obliku monolitnih ili montažnih konstrukcija različitog građevinskog materijala, a vremenski povezuju fazu proizvodnje i potrošnje.

Kao i svi drugi objekti koji se podižu zbog gospodarskih potreba i skladišta i silosi moraju zadovoljavati zahtjeve funkcionalnosti, racionalnosti, sigurnosti i etike.

Ovisno o potrebama, skladišta mogu biti podijeljena (Mastilović i sur., 2011):

- po tipu konstrukcije skladišta,
- po vrsti materijala od kojega je skladište izgrađeno,
- po namjeni i funkciji te
- po biomasi koja će se skladištiti.

Ovisno o tipu konstrukcije, skladišta se dijele na:

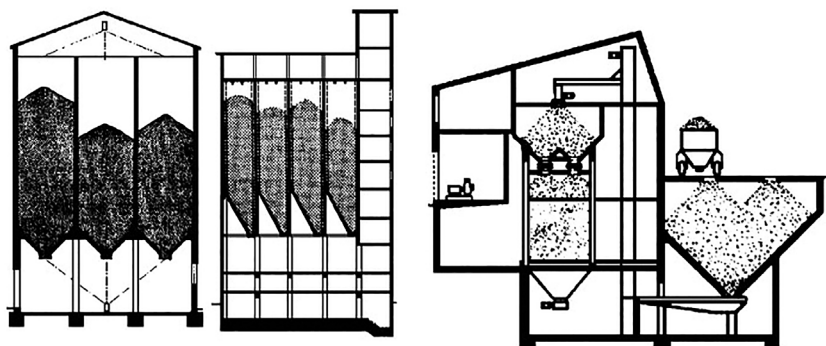
- podna nemehanizirana skladišta,
- podna mehanizirana skladišta ili spremišta (bunkere) i
- silose.

Podna skladišta (nemehanizirana i mehanizirana) zidani su objekti od betonskih elemenata ili cementiranog betona. Mehanizirana skladišta sadrže i sustav aktivne ventilacije i kanal za mehaniziran istovar mase. U ovakav tip skladišta može se skladištiti biomasa u rinfuzi, sječka biomase, kao i bale (četvrtaste ili okrugle). Na slici 15 prikazano je podno skladište.



Slika 15. Podno skladište

Silos/ bunker su objekti za čuvanje mase koji imaju različit odnos visine i najveće dimenzije poprečnog presjeka. Tako silosi imaju veću visinu prema širini za razliku od bunkera kojima je visina prema širini manja. Oni predstavljaju kompleksne objekte sa složenom opremom i instalacijama sa svrhom kako skladištenja, tako i dorade biomase (sušenje, peletiranje, briktiranje i sl.), a s ciljem povećanja tehnološke vrijednosti biomase. Na slici 16 prikazan je shematski prikaz silosa i bunkera.



Slika 16. Shematski prikaz silosa i bunkera

Sastavljanjem više ćelija/spremnika u građevnu cjelinu nastaje postrojenje naziva silosi. Materijali za izgradnju silosa/bunkera su beton, čelik, plastika i drvo. Po obliku, za skladištenje biomase, mogu biti kružni ili pravokutni. Na slici 17 prikazani su silosi za biomasu.



Slika 17. Silosi za biomasu

U svrhu poboljšanja prijамne kontrole, utvrđivanja kvalitete biomase koja će biti uskladištena i utvrđivanja mjesta skladištenja biomase u samom skladištu te utvrđivanja potrebnog kapaciteta skladišta ovisno o kvaliteti biomase potrebno je obaviti određene predradnje i to (Francescato i sur., 2008):

- uzorkovanje biomase na polju,
- utvrditi kvalitetu biomase s polja i
- utvrditi operativni plan prijama biomase.

Takav sustav uzgoja, dorade i skladištenja biomase u Europskoj uniji, odnosno udruživanja, formira se kao „Centar za biomasu“. Centar je zamišljen kao nova mogućnost za potrošače jer se nude ekološki prihvatljiva goriva dostupna na centralnoj lokaciji.

7. Laboratorij – oprema i norme za vrednovanje krute biomase

Analize sastava biomase provode se u Laboratoriju za istraživanje biomase i energetske iskoristivost u poljoprivredi, Zavoda za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport na Sveučilištu u Zagrebu Agronomskom fakultetu. Analize biomase za potrebe definiranja njenog energetskog potencijala obuhvaćaju utvrđivanje njenih gorivih i negorivih svojstava.

7.1 Utvrđivanje negorivih svojstava

Udio dušika

Određivanje sadržaja ukupnog dušika provodi se metodom suhog spaljivanja na elementarnom analizatoru Vario MACRO (Elementar, Njemačka; slika 18) prema standardnoj metodi HRN EN ISO 16948:2015.



Slika 18. Elementarni analizator

Udio pepela

Određivanje sadržaja pepela provodi se u mufolnoj peći (Nabertherm, SAD; slika 19), prema standardnoj metodi HRN EN ISO 18122:2015.



Slika 19. Mufolna peć

Udio koks

Sadržaj koks određuje se u mufolnoj peći (Nabertherm, SAD), prema metodi za određivanje koks CEN/TS 15148:2009.

Udio fiksiranog ugljika

Sadržaj fiksiranog ugljika određuje se računski u skladu s EN 15148:2009.

Fiksirani ugljik (%) = koks (%) – pepeo (%)

7.2 Utvrđivanje gorivih svojstva

Od gorivih tvari utvrđeni su sadržaji suhe tvari (ST), ugljika (C), vodika (H), kisika (O), sumpora (S) i hlapljivih tvari (HT).

Udio vode

Sadržaj vode određuje se u laboratorijskoj sušnici (INKO, Hrvatska; slika 20) prema HRN EN 18134-2:2015 metodi.



Slika 20. Laboratorijska sušnica

Udio ugljika, vodika i sumpora

Određivanje sadržaja ukupnog ugljika, sumpora i vodika, također se provodi metodom suhog spaljivanja na CHNS analizatoru (Elementar, Njemačka; slika 18), prema protokolu HRN EN ISO 16948:2015 za ugljik i vodik te HRN EN ISO 16994:2015 za sumpor.

Udio kisika

Sadržaj kisika izračunava se računski:

$$\text{Kisik (\%)} = 100 - \text{C (\%)} - \text{H (\%)} - \text{N (\%)} - \text{S (\%)}$$

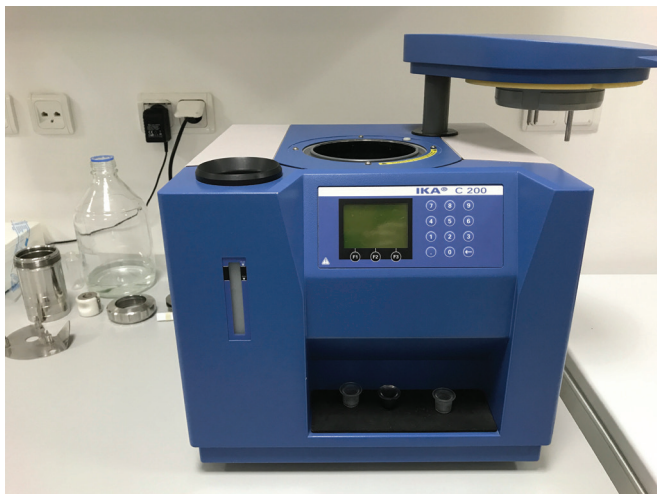
Udio hlapljivih tvari

Sadržaj hlapljivih tvari određuje se računski u skladu s EN 15148:2009.

7.3 Utvrđivanje ogrjevnih vrijednosti

Gornja ogrjevna vrijednost

Gornja ogrjevna vrijednost određena je korištenjem standardne EN 14918:2010 metode u adijabatskom kalorimetru (slika 21). Gornja ogrjevna vrijednost (H_g) utvrđena je korištenjem IKA C200 (Njemačka) programskog paketa.



Slika 21. Laboratorijski kalorimetar

Donja ogrjevna vrijednost

Donja ogrjevna vrijednost (H_d) dobiva se računski:

$$H_d \text{ (J kg}^{-1}\text{)} = H_g \text{ (J kg}^{-1}\text{)} - \{2441.80 * \text{ (J kg}^{-1}\text{)} [8.936^{**} * x \text{ (}\% \text{)}]\} / 100$$

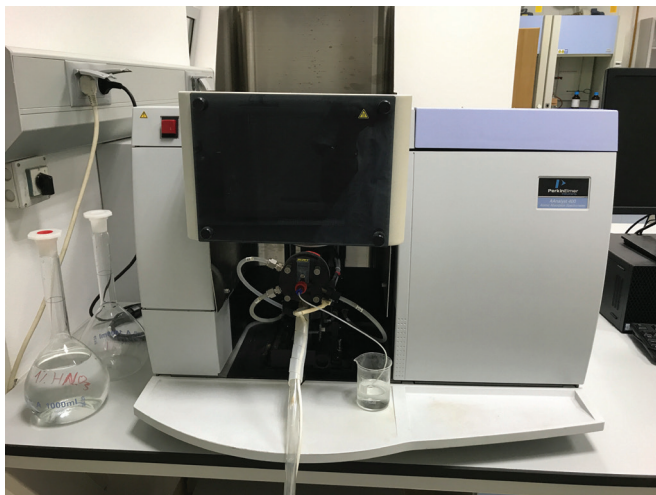
Pri čemu je:

* Energija potrebna za isparavanje vode

**Odnos molekularne mase između H_2O i H_2

7.4 Utvrđivanje mikro- i makroelemenata

Analiza mikro- i makroelemenata provodi se atomskom apsorpcijskom spektrometrijom (Perkin Elmer, AAnalyst 400; slika 22), uz prethodnu pripremu uzoraka izgaranjem u mikrovalnoj peći (metode HRN EN ISO 16967:2015, HRN EN 16968:2015).



Slika 22. Atomski apsorpcijski spektrometar

7.5 Utvrđivanje lignoceluloznog sastava

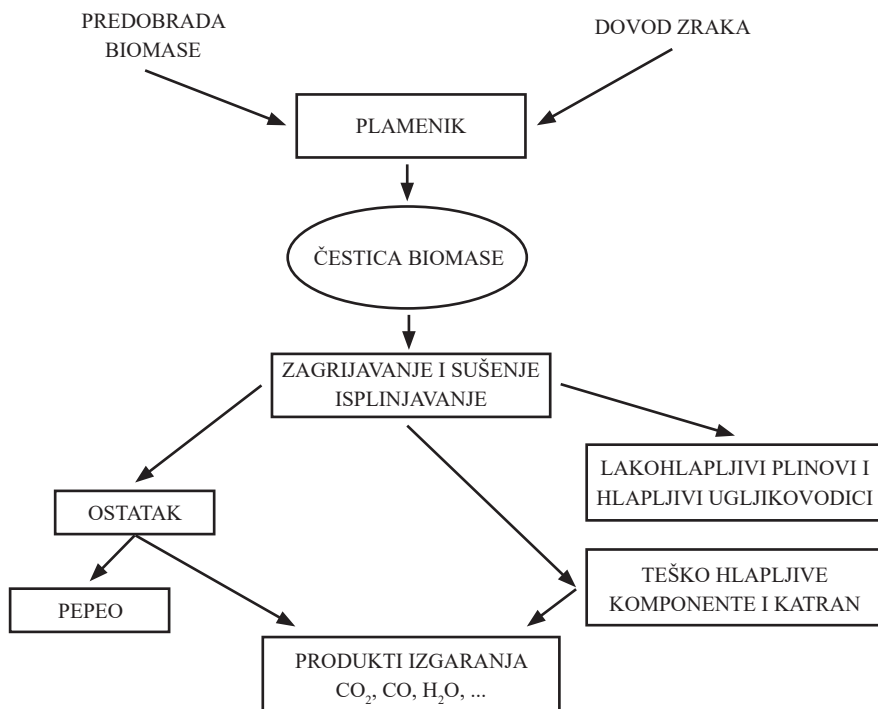
Određivanje udjela celuloze, hemiceluloze i lignina provedeno je modificiranom standardnom metodom ISO 5351-1:2002.

8. Toplinski uređaji na poljoprivrednu biomasu

8.1 Izgaranje biomase

8.1.1 Općenito o izgaranju

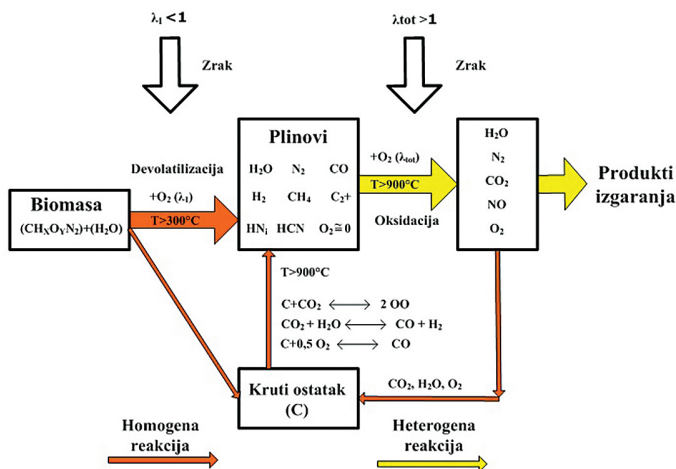
Izgaranje je kemijski proces kod kojeg dolazi do oksidacije gorivih sastojaka nekog goriva. Proces izgaranja može se podijeliti na brojne parcijalne procese koji su složeni, a često se javljaju istodobno. Tako izgaranje krute biomase karakterizira proces sušenja, primarne i sekundarne devolatilizacije (isplinjavanja) te na kraju izgaranje krutog ostatka (dijagram 1, slika 23). Kruti ostatak zapravo je drveni ugljen koji ostane nakon procesa devolatilizacije.



Dijagram 1. Izgaranje jedne čestice biomase (Jones i sur., 2014)

Ulaskom čestice biomase u ložište prvo dolazi do njenog zagrijavanja do temperature gdje dolazi do isparavanja vlage (sušenje) i hlapljivih ulja. Proces sušenja jako je ovisan o sadržaju vlage u biomasi, ali i načinu izgaranja i temperaturama u ložištu.

Nakon procesa sušenja dolazi do porasta temperature i do početka raspadanja karbonatne strukture goriva prilikom čega se oslobađaju hlapljivi plinovi (katran i ostali). Kako nastali plinovi izlaze kroz pore goriva, kisik, koji je prisutan u okolini, ne može ući unutar čestice pa se tako ova faza oslobađanja plinova često pogrešno zove piroliza. Brzina oslobađanja plinova ovisna je o temperaturi, vrsti i veličini biomase te obliku u kojoj se nalazi. Nastali plinovi oksidiraju i formiraju plamen oko ovojnice čestice goriva koji zagrijava česticu što dodatno pospješuje sam proces njihovog oslobađanja.



Slika 23. Devolatilizacija i oksidacija biomase

Općenito, kod biomase proces isplinjavanja započinje na temperaturama od $160 - 250^\circ\text{C}$. Kod drvene biomase proces isplinjavanja počinje raspadanjem molekula hemiceluloze (vidi poglavlje 5.5.3 Hemiceluloza) u temperaturnom rasponu $225 - 325^\circ\text{C}$. Nakon toga slijedi celuloza (vidi poglavlje 5.5.2 Celuloza) na temperaturama $325 - 375^\circ\text{C}$ i na kraju molekule lignina (vidi poglavlje 5.5.1 Lignin) na $300 - 500^\circ\text{C}$. Hemiceluloza, celuloza i lignin čine glavnu spojeva koji prolaze kroz proces isplinjavanja. Prilikom isplinjavanja kao produkti nastaju pare ugljikovodika, katran i voda koji se ubrzo nakon nastajanja u uvjetima visokih temperatura, u najvećoj mjeri, raspadaju na jednostavne ugljikovodike, ugljik monoksid, ugljikov dioksid, vodik i vodenu paru. Istraživanja pokazuju da se više od 67 % ogrjevne vrijednosti šumske biomase (Ogada i Werther, 1996) oslobađa izgaranjem hlapljivih plinova i ulja te se zbog toga mora tome posvetiti puno pažnje, naročito prilikom konstruiranja, ali i kasnijim uvjetima u kojima će uređaj, u kojem dolazi do izgaranja, raditi.

Nakon isplinjavanja počinje zadnji stupanj, odnosno izgaranja krutog ostatka. Kruti ostatak

koji ostaje nakon procesa isplinjavanja vrlo je porozan. Kako više nema plinova koji izlaze kroz pore, kisiku je difuzijom omogućen dolazak do vanjskih rubnih slojeva te tako započinje proces izgaranja krutog ostatka goriva. Heterogena reakcija izgaranja na površini uglavnom rezultira nastankom ugljikovog monoksida (djelomično i nastankom NO_x) koji nakon što napusti rubni sloj reagira s kisikom te nastaje ugljikov dioksid.

Za odvijanje izgaranja mora se dovesti dovoljna količina zraka za izgaranje. Kako se proces izgaranja ne odvija u idealnim uvjetima (zrak se ne dovodi direktno do goriva, ne dolazi do idealnog miješanja goriva i zraka) potrebno je dovesti više zraka od onog minimalno potrebnog.

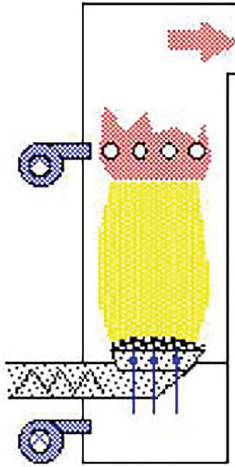
Orijentacijske vrijednosti faktora pretička zraka za razne vrste goriva i ložišta dane su u tablici 10.

Tablica 10. Orijentacijske vrijednosti faktora pretička zraka

Vrsta goriva/ložište	Faktor pretička zraka
Plinska ložišta s ventilatorom	1,03 - 1,2
Atmosferski plinski plamenici	1,2 - 1,5
Uljni plamenici	1,1 - 1,5
Ložišta s ručnim ubacivanjem krutih goriva	1,5 - 2,0
Ložišta s automatskim ubacivanjem krutih goriva	1,3 - 1,8

8.1.2 Emisije onečišćujućih tvari

Onečišćujuće tvari nastaju paralelno s glavnim reakcijama izgaranja iz N, S, Cl, K sadržanih u gorivu i zraku, koji se dovodi za izgaranje, te iz elemenata u tragovima u hlapljivim plinovima i čađi. Uobičajeno, onečišćujuće tvari koji nastaju izgaranjem biomase mogu se podijeliti u dvije grupe. Prvu grupu čine one koje nastaju kao posljedica nepotpunog izgaranja, dok drugu grupu čine one koje nastaju kao posljedica kemijskog sastava goriva. Onečišćujuće tvari koje nastaju kao posljedica nepotpunog izgaranja su CO , čađa, OGC (HC, PAH, PAH, C_xH_y , čestice katrana). Nastaju kao posljedica lošeg izgaranja koje je rezultat niske temperature izgaranja, nedovoljnog miješanja čestica goriva sa zrakom i prekratkog zadržavanja dimnih plinova u prostoru ložišta, odnosno vrućoj zoni. Stupnjevito izgaranje (slika 24) pokazalo se kao efikasan način ostvarivanja efikasnog izgaranja, odnosno male emisije gore spomenutih onečišćujućih tvari (Werther i sur., 2000). Zbog manjeg volumnog protoka zraka za izgaranje u primarnoj zoni izgaranja, dimni plinovi izlaze iz zone s manjom brzinom te na taj način odvođe manju ukupnu količinu neizgorelih čestica. Sekundarni zrak se obično dovodi iznad dovoda primarnog zraka, gdje dolazi do intenzivnog miješanja zraka za izgaranje s hlapljivim plinovima i konačnog izgaranja gorivih sastojaka goriva.



Slika 24. Stupnjevito izgaranje

Kao posljedica kemijskog sastava goriva nastaju onečišćujuće tvari poput NO_x , HCl , SO_2 , teški metali (Pb , Zn , Cd , Cu , Cr , Hg), dioksini i furani (goriva koja sadrže veće količine Cl) te prašina. Sumporni oksidi nastaju kao posljedica izgaranja raznih sumpornih spojeva koji su redovito prisutni u biomasi, no često u vrlo malim količinama. Izgaranjem šumske biomase nastaju male ili zanemarive količine sumpornih oksida te se zbog toga u postrojenju koja koriste šumsku biomasu ne ugrađuje sustav za uklanjanje sumpornih oksida. Za razliku od šumske i poljoprivredne biomase, neki izvori biomase mogu imati značajnije količine sumpora u svom sastavu. Sumporni oksidi štetno djeluju na zdravlje ljudi i drugih živih organizama te su uzrok nastajanja kiselih kiša. Za odsumporavanje dimnih plinova u uređajima većih snaga koriste se sljedeći procesi:

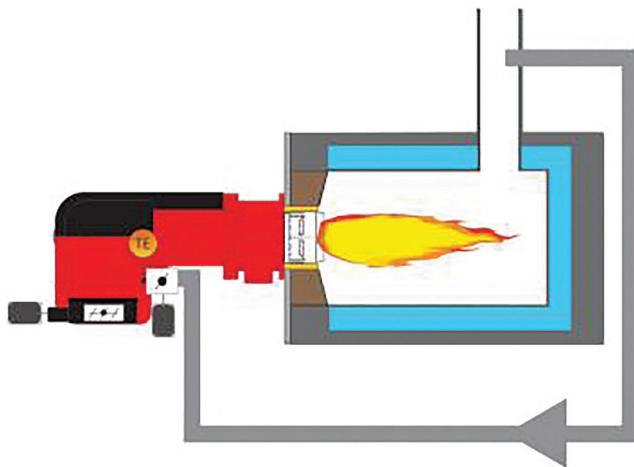
- mokri postupak (temelji se na apsorpciji SO_2 s vodenom suspenzijom vapna),
- suhi proces (sličan mokrom postupku, jeftinija varijanta) i
- proces s alkalnim skrubiranjem (kao sredstvo za apsorpiranje SO_2 koristi se vodena otopina natrijeve lužine, natrij-sulfata i amonijaka).

Dušikovi oksidi nastaju izgaranjem dušika iz goriva i manjim dijelom iz zraka. U dušikove okside spadaju dušikov suboksid (N_2O) i dušikov monoksid (NO) koji se kasnije u atmosferi pretvara u dušikov dioksid (NO_2). Štetnost je dušikovih oksida u tome što utječu na nastajanje ozona (O_3) te tako štetno djeluje na zdravlje ljudi i drugih živih organizama, a posebno biljaka. Dušikov suboksid (N_2O) smatra se jednim od tri glavna staklenička plina (uz CO_2 , CH_4) te u odnosu na referentni CO_2 ima 298 puta veću vrijednost GWP-a (potencijal globalnog zatopljenja). Prema načinu nastanka razlikujemo termičke dušikove okside koji nastaju oksidacijom atmosferskog dušika pri temperaturama višim od $900\text{ }^\circ\text{C}$, promptni NO_x koji nastaje u prisutnosti velike količine C_xH_y spojeva i dušikove okside iz goriva. Prilikom izgaranja

biomase emisijama NO_x najviše doprinosi dušik iz goriva te u skladu s tim se očekuje da će se manje emisije NO_x ostvarivati iz goriva siromašnih dušikom poput brzorastućih usjeva, trave *Miscanthus* i šumske biomase. Sam nastanak N_2O spoja još nije dovoljno istražen (Jones i sur., 2014).

Smanjenje emisija NO_x može se ostvariti sljedećim postupcima:

- smanjenjem pretička zraka za izgaranje,
- promjenom načina dovođenja zraka za izgaranje, kao npr. dvostupanjsko/stupnjevito dovođenje zraka (slika 24) ili recirkulacija dimnih plinova (slika 25) i
- obradom dimnih plinova (selektivna katalitička redukcija, selektivna nekatalitička redukcija).

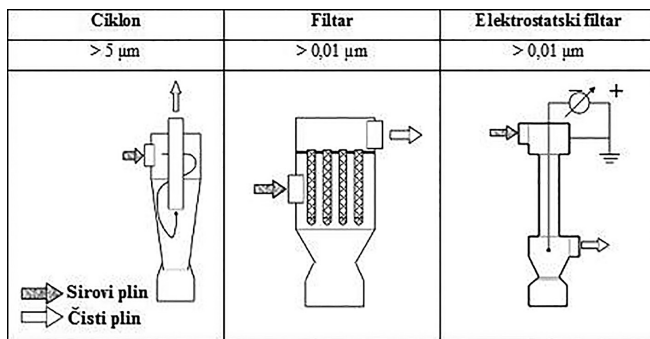


Slika 25. Plamenik koji omogućava recirkulaciju dimnih plinova

Klorovodici nastaju kao posljedica izgaranja raznih spojeva klora kojih u šumskoj biomasi ima vrlo malo pa su njihove emisije vrlo male. Veće emisije klorovodika nastaju izgaranjem ostalih izvora biomase. Prisutnost HCl -a u uvjetima nepotpunog izgaranja potiče porast koncentracije dioksina i furana u dimnim plinovima (Jones i sur., 2014). Dioksini i furani vrlo su toksični za ljude i žive organizme, a njihovo nastajanje i količine koje nastaju ovise o brojnim nepovoljnim čimbenicima u ložištu. Niske emisije dioksina i furana mogu se ostvariti kombinacijom sljedećih mjera (Gullet i Seeker, 1997):

- ostvarivanjem visoke efikasnosti izgaranja,
- ostvarivanjem dovoljno visokih temperatura u ložištu s adekvatnim vremenom zadržavanje (retencije) dimnih plinova na tim temperaturama,
- brzim hlađenjem dimnih plinova nakon ložišta i
- filtracijom dimnih plinova na temperaturama iznad $700\text{ }^\circ\text{C}$ (npr. nakon ložišta).

Izgaranjem krute biomase nastaju čestice letećeg pepela, aerosoli, čestice čađe, čisti ugljik te katran. Ove čestice najveći su ekološki problem pri izgaranju biomase, a posebno u ložištima malog učinka gdje se obično ne koristi nikakav sustav za njihovo uklanjanje. Čestice koje nastaju opasne su za ljudsko zdravlje i u najmanjim koncentracijama. Aerosoli su štetniji od letećeg pepela zbog toga što sadrže lakohlapljive elemente i teške metale kao što su bakar, olovo, kadmij, živa, arsen i krom. Glavna mjera za smanjenje emisije čestica ugradnja je ciklona i filtriranje dimnih plinova koje se za sad provodi jedino kod ložišta većeg učinka (tablica 11).



Tablica 11. Pregled metoda smanjenja emisija čestica (Nussbaumer, 2010)

8.1.3 Problemi izgaranja poljoprivredne biomase – niska temperatura taljenja pepela

Naročit problem prilikom izgaranja predstavlja mineralni sastav nekih vrsta biomase. Visoki sadržaj oksida alkalijskih metala i soli dovodi do niske temperature taljenja pepela (tablica 12, slika 26) što posljedično uzrokuje njihovo lijepljenje i taloženje (nastanak „šljake“) na izmjenjivačkim površinama, odnosno rešetki te u konačnici koroziju tih površina (Jones i sur., 2014; Werther i sur., 2000; Saastamionen, 1994). Općenito, goriva s većim omjerom $(K+Si+P)/(Ca+Mg)$ imaju nižu temperaturu taljenja pepela, dok oni s manjim imaju višu (Sommersacher i sur., 2015).

Tablica 12. Mineralni sastav te temperatura deformacije pepela nekih vrsta biomase (Hartmann, 2009)

Gorivo	K	Ca	Mg	P	Cl	Temperatura deformacije [°C] (prema HRN CEN TS 15370-1)
Slama pšenice	1,01	0,31	0,1	0,1	0,19	998
Slama ječma	1,38	0,49	0,07	0,21	0,4	980
Slama uljane repice	0,79	1,70	0,22	0,13	0,47	1 273
Slama suncokreta	5,00	1,9	0,21	0,2	0,81	839
Slama konoplje	1,54	1,34	0,2	0,25	0,2	1 336

Zbog toga su ložišta namijenjena za izgaranje takvih goriva konstruirana tako da se u njima održava niža temperatura izgaranja. To se postiže korištenjem, vodom hlađenih, izmjenjivačkih površina ložišta i rešetki, recirkulacijom dimnih plinova (slika 25) te drugim konstrukcijskim rješenjima kojima se izbjegava direktan kontakt vrućih dimnih plinova s izmjenjivačkim površinama visoke temperature. Osim konstrukcijskih mjera, Werther i sur. (2000) navode da se koriste i druga rješenja poput korištenja aditiva (tvari koje mijenjaju fizikalne i kemijske karakteristike goriva u cilju povećanja temperature taljenja pepela), korištenjem alternativnih materijala prilikom izgaranja u fluidiziranom sloju (feldspat, dolomit, magnezit, glinica umjesto kvarcnog pijeska) te suspaljivanjem s manjom količinom goriva visokog sadržaja pepela poput ugljenja (posljedično se smanjuje koncentracija kalija).



Slika 26. Lijepljenje pepela na izmjenjivačkim površinama

8.2 Vrste i karakteristike toplinskih uređaja na biomasu

Za dobivanje toplinske energije izgaranjem biomase najčešće se koriste sljedeći tipovi toplinskih uređaja:

- peći,
- kamini,
- štednjaci i
- toplovodni kotlovi (mali do srednji, veliki).

Navedeni uređaji uglavnom se koriste za izgaranje komadnog drva, drvenih briketa, peleta i sječke, a u slučaju poljoprivredne biomase i bala slame. O navedenoj vrsti goriva u mnogome ovisi i konstrukcija samog uređaja, toplinske karakteristike (učinkovitost, specifično toplinsko opterećenje ložišta), sastav dimnih plinova te sustav njihovog pročišćavanja ako je ugrađen. U nastavku, dan je pregled karakteristika tih uređaja s naglaskom na one uređaje koji se koriste i za izgaranje poljoprivredne biomase. U tablici 13 navedene su vrste ložišta na biomasu ovisno o toplinskom učinku, vrsti i karakteristikama odgovarajućeg goriva.

Tablica 13. Vrsta ložišta s primjenom i vrstom biomase (Nussbaumer, 2003)

Primjena	Tip	Raspon toplinskog učinka	Gorivo	Pepeo	Udio vlage
Ručno loženje	Štednjak na komadno drvo	2 – 10 kW	Komadno drvo	< 2 %	5 – 20 %
	Kotlovi na komadno drvo	5 – 50 kW	Komadno drvo, ostatci od prerade drva	< 2 %	5 – 30 %
Peleti	Štednjaci i kotlovi na pelete	5 – 25 kW	Drveni peleti	< 2 %	8 – 10 %
	Ložišta s dobavom odozdo	20 kW – 2,5 MW	Drvena sječka i ostatci od prerade drva	< 2 %	5 – 50 %
	Ložišta s pomičnom rešetkom	150 kW – 15 MW	Sva goriva od drva i većina biomase	< 50 %	5 – 60 %
	Ložište s rešetkom	20 kW – 1,5 MW	Drvo (ostatci)	< 5 %	5 – 35 %
Automatsko loženi	Ložišta s dobavom odozdo i rotirajućom rešetkom	2 – 5 MW	Drvena sječka veće vlažnosti	< 50 %	40 – 65 %
	Ložišta s cigaretnim izgaranjem	3 – 5 MW	Bale slame	< 5 %	20 %
	Ložišta za izgaranje bala slame	3 – 5 MW	Cijele bale slame	< 5 %	20 %
	Ložišta za slamu	100 kW – 5 MW	Bale slame s rezačem	< 5 %	20 %
	Nepokretni fluidizirani sloj	5 MW – 15 MW	Različita biomasa, d<10 mm	< 50 %	5 – 60 %
	Cirkulacijski fluidizirani sloj	15 MW – 100 MW	Različita biomasa, d<10 mm	< 50 %	5 – 60 %
Suspajivanje	Ložišta s direktnim upuhivanjem	5 MW – 10 MW	Različita biomasa, d<5 mm	< 5 %	< 20 %
	Nepokretni fluidizirani sloj	50 – 150 MW (ukupno)	Različita biomasa, d<10 mm	< 50 %	5 – 60 %
	Cirkulacijski fluidizirani sloj	100 – 300 MW (ukupno)	Različita biomasa, d<10 mm	< 50 %	5 – 60 %
	Ložišta s cigaretnim izgaranjem	5 – 20 MW (slama)	Bale slame	< 5 %	< 20 %
	Ložišta s izgaranjem ugljene prašine	100 MW – 1 GW (ukupno)	Različita biomasa, d<2-5 mm	< 5 %	< 20 %

8.2.1 Peći, kamini, štednjaci

Peći, kamini i štednjaci (slike 27 - 29) koriste se kao samostojeci uređaji za grijanje prostora bilo direktno preko ogrjevnih površina samih uređaja zračenjem i konvekcijom ili direktno i posredno preko vode kod modela s ugrađenim kotlom za centralno grijanje. Na slici 27 nalazi se peć koja na bočnim stranicama ima otvore za topli zrak koji se dobavlja ventilatorom u prostor. Kod svih uređaja moguć je spoj na sustav zračnog grijanja preko izmjenjivača ugrađenog između ložišta i spoja na dimnjak. Na slici 28 prikazan je ugradbeni kamin na komadno drvo s izmjenjivačem topline za zagrijavanje zraka na odvodu dimnih plinova. Na slici 29 prikazan je štednjak na komadno drvo koji postiže zagrijavanje prostora preko bočnih stranica s otvorima za topli zrak, ploče za kuhanje te ugrađenog kotla za centralno grijanje. Nazivni toplinski učinci kreću se od 2 - 40 kW. Toplinske učinkovitosti se kreću unutar 65 - 80 % kod uređaja na komadno drvo i brikete, dok kod onih na pelete dosežu vrijednosti od 90 - 96 %. Uređaji s ložištima obloženim šamotom imaju veću učinkovitost te manje emisije onečišćujućih tvari (npr. CO , C_xH_y) zbog postizanja dovoljno visoke temperature plinova u svim dijelovima ložišta ($>700 - 900^\circ\text{C}$) potrebne za odvijanje kemijskih reakcija u produktima izgaranja (npr. $\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2$, $\text{C}_x\text{H}_y \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$).



Slika 27. Peć na pelete

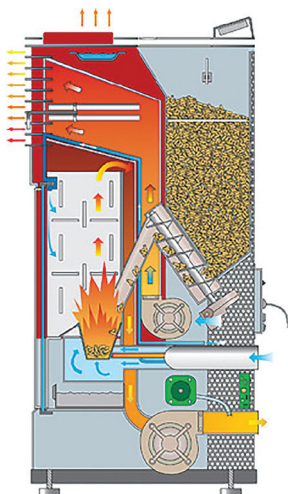


Slika 28. Ugradbeni kamin na komadno drvo



Slika 29. Štednjak na komadno drvo

Regulacija toplinskog učinka, kod uređaja na komadno drvo i brikete, provodi se putem zaklopki za primarni zrak upravljanih mehanički termostatom s lancem ugrađenim na samom uređaju. Kod uređaja na pelete omogućen je veći stupanj regulacije toplinskog učinka i sastava dimnih plinova preko protoka primarnog i sekundarnog zraka brojem okretaja ventilatora, kao i dobavom peleta u ložište preko broja okretaja pužnog transportera, sve ovisno o temperaturi zraka u prostoru ili vode u bojleru (slika 30).



Slika 30. Primjer dovođenja peleta u ložište odozgo (gravitacijski)

Pri tome se regulacija podešava tako da se postignu željeni parametri učina i emisija onečišćujućih tvari, i to stupnjevito za nekoliko režima rada (npr. 100 %, 50 %, 30 % toplinskog učinka) koje korisnik može ručno odabrati. Modulirajući rad plamenika (30 % - 100 % učinka) vođen temperaturom zraka u prostoriji i/ili sastavom dimnih plinova (O_2) omogućen je u složenijim regulacijama i to najčešće kod toplovodnih kotlova (vidi poglavlje 8.2.2 Toplovodni kotlovi – mali do srednji).

Uređaje na komadno drvo i brikete potrebno je ručno ložiti (otprilike svaki sat pri nominalnom učinku, odnosno – dva do tri sata pri djelomičnom učinku) dok oni na pelete, ovisno o veličini spremnika, omogućuju veću autonomiju rada. Primjerice, spremnik od 35 kg omogućuje cca deset sati neprestanog rada pri nazivnom učinku, što u praksi znači do dva dana rada pri stvarno potrebnom učinku.

Kod uređaja na komadno drvo i brikete potrebno je paziti da se ne ubacuje veća količina goriva od najviše dozvoljene kako bi se osiguralo kvalitetno dovođenje primarnog zraka do svih dijelova goriva te naknadno miješanje primarnog i sekundarnog zraka s produktima izgaranja. Time se izbjegava pad učinkovitosti, porast koncentracije CO i drugih onečišćujućih tvari u dimnim plinovima te posljedično začađenje (neizgoreni C) izmjenjivačkih površina uređaja i samog dimnjaka. Istu negativnu posljedicu na rad uređaja ima i korištenje komadnog drveta s udjelom vlage većim od 20 %. S druge strane, premala količina goriva može uzrokovati pad učinkovitosti zbog većeg pretička zraka potrebnog da se osigura dobro miješanje s produktima izgaranja i preniske temperature u ložištu. Iz tog se razloga preporučuje korištenje dodatnog spremnika tople vode za sustav centralnog grijanja, kako bi se omogućio kontinuirani rad uređaja na nazivnoj snazi pri najvećoj učinkovitosti (vidi poglavlje 8.2.2. Toplovodni kotlovi – mali do srednji). Korištenje briketa umjesto drveta načelno je bolje rješenje jer je, osim manjeg udjela vlage (< 8 %), omogućen bolji raspored goriva ovisno o dimenzijama/obliku ložišta i samim time ravnomjerniji dovod zraka do svih dijelova goriva.

Korištenje isključivo poljoprivredne biomase obično se ne prakticira i ne preporuča se s obzirom na to da dovodi do taloženja pepela na izmjenjivačke površine zbog niskog tališta (višeg udjela K, Si, P, Cl u gorivu) kao i velike emisije čestica prašine, OGC spojeva te furana i dioksina (goriva s većim sadržajem Cl). Zbog toga je poljoprivrednu biomasu potrebno miješati s klasičnim drvom, tresetom ili ugljenom. O prikladnim omjerima miješanja za pojedine vrste biomase ne postoji još dovoljno iskustvenih podataka, već je to predmet istraživanja. Također, u tijeku su i istraživanja koja imaju za cilj konstrukcijskim rješenjima smanjiti navedene emisije (kontrolom temperatura i vremena zadržavanja dimnih plinova u pojedinim fazama procesa izgaranja). Ona su usko povezana s ispitivanjima kompaktnih uređaja za pročišćavanje dimnih plinova korištenjem katalizatora i mehaničkim/elektrostatskim filtrima, prikladnih za uporabu u zgradarstvu.

8.2.2 Toplovodni kotlovi – mali do srednji

Male i srednje toplovodne kotlove na biomasu tako klasificirane prema rasponu nazivnih toplinskih učina od 10 - 120 kW (slike 31 - 34), mogu se podijeliti na:

- kotlove na komadno drvo i brikete,
- kotlove na pelete,
- kotlove na sječku i
- pirolitičke kotlove.

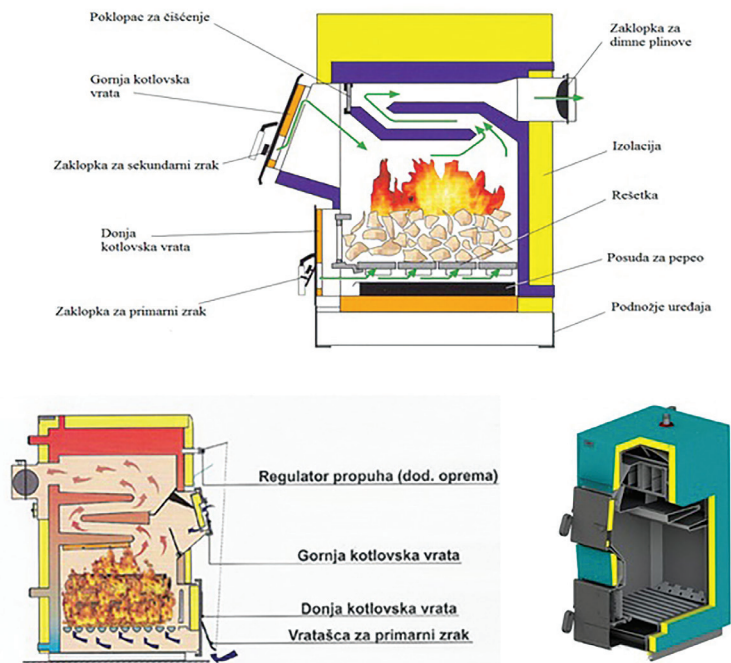
Namijenjeni su zagrijavanju prostora i za pripremu potrošne tople vode. Za razliku od peći, kamina i štednjaka, ovdje se izmjena topline između ložišta i okoline odvija primarno preko vode kao radnog medija u sustavu centralnog grijanja. S obzirom na to da se kotlovi najčešće ugrađuju u kotlovnice koje spadaju u negrijane prostore sam kotao treba biti što bolje toplinski izoliran kako bi se smanjili gubici na okolišni zrak.

Kako nazivni toplinski učinci dosežu do 120 kW, osim u obiteljskim kućama, koriste se i u većim objektima poput višestambenih zgrada te onih poslovne i javne namjene. To se posebice odnosi na kotlove na sječku koji se proizvode u rasponu toplinskih učina od 35 kW - 7 MW (vidi poglavlje 8.2.4. Veliki toplovodni kotlovi). Toplinske se učinkovitosti kreću unutar 80 – 90 % kod kotlova na komadno drvo i brikete, dok se kod onih na pelete i sječku mogu postići > 90%. Ložišta su načelno izvedena na isti način kao i kod prethodno opisanih uređaja, odnosno s dovodom primarnog i sekundarnog zraka preko zaklopki (slika 31) kod korištenja komadnog drva i briketa te ventilatorom kod uređaja na pelete. Iznimka su pirolitički kotlovi (slika 34) kod kojih se ručno ubačeno komadno drvo ili briketi rasplinjavaju dovođenjem primarnog zraka u nedovoljnoj količini za zapaljenje (faktor pretička zraka < 1). Tako nastali plinovi izgaraju u zasebnoj komori dovođenjem dodatne količine zraka, pri čemu se ostvaruju velike vrijednosti toplinske učinkovitosti (95 %) i male emisije onečišćujućih tvari, posebice prašine (još manje nego kod kotlova na pelete i sječku) uz, dakako, dobre mogućnosti regulacije toplinskog učinka.

Kod toplovodnih kotlova vrijede sve napomene o regulaciji, količini ubačenog goriva, šamotiranju ložišta te vlazi i poljoprivrednoj biomasu kao i kod prethodno opisanih peći, kamina i štednjaka. Pri tome treba još napomenuti da se u nekim modelima kotlova na pelete te u

pirolitičkim kotlovima koristi i lambda sonda koja mjeri udio O_2 u dimnim plinovima i na temelju toga regulira dobavu zraka i peleta, kako bi se postigle optimalne vrijednosti pretička zraka tj. toplinskih učinkovitosti i emisija onečišćujućih tvari. Složenije regulacije omogućuju modulirajući rad plamenika u rasponu 30 – 100 % toplinskog učinka ovisno o gradijentu promjene temperature zraka u prostoru. Što se tiče vremena gorenja ručno loženih kotlova, norma HRN EN 303-5:2012 zahtjeva minimalno gorenje od dva sata pri nominalnom učinku.

Veličine spremnika za pelete kreću se od 200 - 800 l što omogućuje autonomiju od nekoliko dana. Za veću autonomiju koriste se skladišta peleta iz kojih se gorivo dobavlja u spremnik peleta (npr. vakuumskim transportom kroz fleksibilne cijevi) koji je smješten uz sam kotao ili skladišta sječke s pužnom dobavom goriva direktno u kotao. Kao i prethodno opisane uređaje, kotlove na komadno drvo i brikete preporučljivo je spojiti na akumulacijski spremnik tople vode radi omogućavanja rada na nazivnoj snazi pri najvećim učinkovitostima. To se, također, preporuča kod pirolitičkih kotlova i kotlova na pelete i sječku kako bi se smanjio broj uključivanja/isključivanja uređaja u periodima nižeg toplinskog opterećenja, što je posebno izraženo kod kotlova bez modulirajućih plamenika. Preporučuje se ugradnja spremnika zapremine 60 l/kW nazivnog toplinskog učina (min. 25 l/kW).



Slika 31. Kotao na komadno drvo

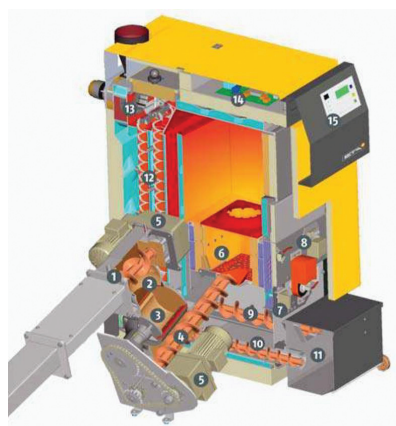


a)

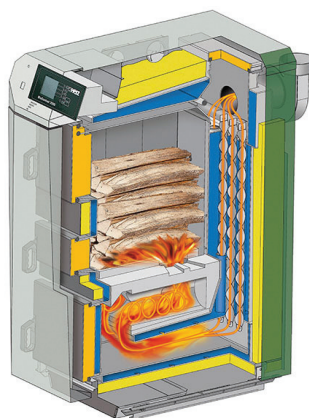
b)

c)

Slika 32. Kotao na pelete



Slika 33. Kotao na sječku

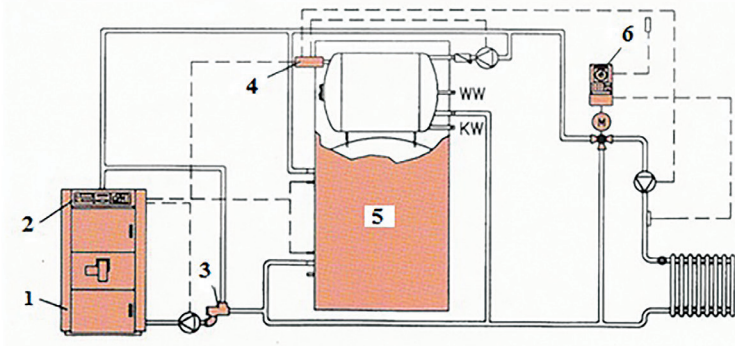


Slika 34. Pirolitički kotao

8.2.3 Mali toplovodni sustavi

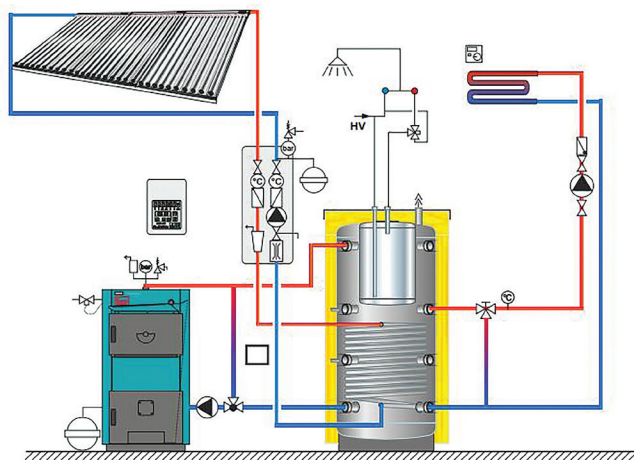
Na slici 35 prikazan je toplovodni sustav s kotlom na biomasu za grijanje i pripremu potrošne tople vode (PTV) kod kojeg se koristi kombinirani akumulacijski spremnik za grijanje i PTV. Ovdje je ugrađen zaštitni termostat koji osigurava da temperatura na ulazu u kotao (povrat iz sustav grijanja/spremnika) bude iznad cca 60 °C kako bi se spriječila kondenzacija dimnih plinova na izmjenjivačkim površinama kotla (ložište, dimovodne cijevi) odnosno, korozija tih dijelova. Rad kotla reguliran je temperaturom u prostoru, temperaturom u akumulacijskom spremniku sustava grijanja te u spremniku PTV-a, sve preko centralne jedinice kojom se dodatno regulira i rad tropskog ventila te pumpi u krugu kotla, grijanja i

pripreme PTV-a. Sustavi s kotlom na biomasu prikladni su za rad u kombinaciji sa solarnim sustavom (slika 36), gdje se u sezoni grijanja koriste kao glavni izvor topline, dok u ostatku godine solarni sustav pokriva najveći dio potrebe za potrošnom toplom vodom. Solarni sustav potrebno je dimenzionirati na način da pokriva 100 % potrebe za PTV-om u ljetnim mjesecima. To omogućuje rad sustava s ugašenim kotlom na biomasu veći dio vremena, čime se znatno smanjuju toplinski gubitci kotla u stanju pripravnosti, koji inače dominiraju u periodima smanjenog opterećenja, kao što su ljetni mjeseci.



Legenda: 1. kotao na kruto gorivo, 2. kotlovska regulacija, 3. zaštitni termostat, 4. temp. osjetnik PTV, 5. akumulacijski spremnik, 6. regulator temperature u prostoru, WW- topla voda, KW- hladna voda

Slika 35. Toplovodni sustav s kotlom na biomasu za grijanje i pripremu potrošne tople vode



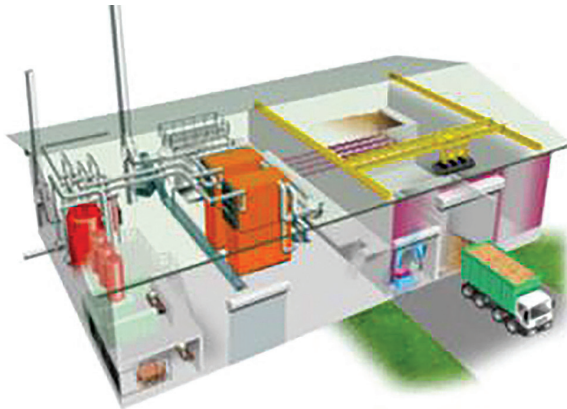
Slika 36. Toplinski sustav za grijanje prostora i pripremu potrošne tople vode - izvedba s kotlom na biomasu i solarnim sustavom

8.2.4 Veliki toplovodni kotlovi

Velike toplovodne kotlove (prema vrsti biomase) možemo podijeliti na:

- kotlove na pelete,
- kotlove na sječku i
- kotlove na slamu.

Veliki toplovodni kotlovi s automatiziranom dobavom biomase koriste se u energetske postrojenjima (toplanama) za centralnu opskrbu toplinskom energijom više zgrada ili čitavih naselja preko sustava daljinskog grijanja, nazivnog toplinskog učina 0,5 - 5 MW, a u nekim slučajevima i do 50 MW (slika 37). Također, koriste se u kogeneracijskim postrojenjima za kombiniranu proizvodnju toplinske i električne energije (najčešće parni ili organski Rankinov proces) od 0,5 - 10 MW_e, a kod suspaljivanja biomase s fosilnim gorivima (ugljenom) i preko 100 MW_e. Toplinske su učinkovitosti u pravilu vrlo visoke, slične onima kod malih i srednjih kotlova na pelete i sječku, uz bolje mogućnosti pročišćavanja dimnih plinova korištenjem industrijskih sustava za tu namjenu (vidi poglavlje 8.1.2. Emisije onečišćujućih tvari), a kod kojih nema ograničenja na veličinu kao kod manjih i srednjih kotlova.



Slika 37. Primjer toplane nazivnog toplinskog učina 6 MW spojene na sustav daljinskog grijanja s dva kotla i elektrostatskim filtrom

Ložišta se mogu podijeliti na:

- ložišta s dobavom odozdo,
- s rešetkom (pomičnom, lančastom, vibracijskom, na dvokomorna ložišta),
- s fluidiziranim slojem (nepokretnim, s cirkulacijom),
- s direktnim upuhivanjem i
- ložišta za slamu (bale, rasuti materijal).

Također, prema protoku biomase, ložišta možemo podijeliti na ona s:

- nepokretnim slojem (s dobavom odozdo, s rešetkom),
- fluidiziranim slojem (nepokretnim, s cirkulacijom) i
- direktnim upuhivanjem.

U tablici 14 dane su karakteristike različitih tipova ložišta koja se koriste u velikim kotlovima (i dijelom u onima srednje veličine).

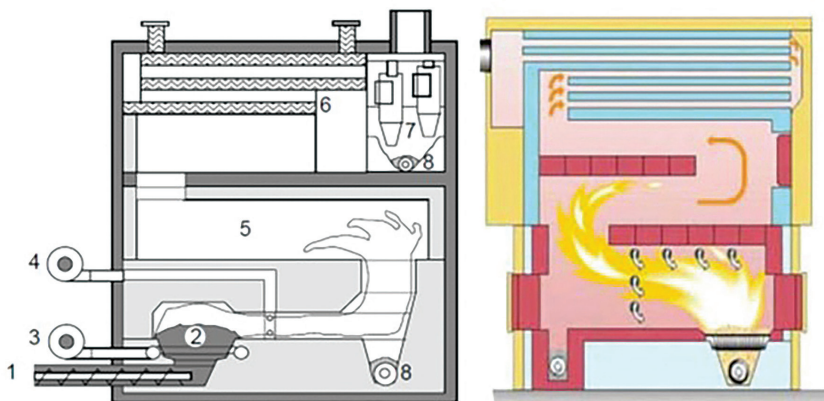
Tablica 14. Karakteristike različitih tipova ložišta

Vrsta ložišta	Dovod goriva	Vrsta goriva	Raspon topl. učina	Udio vode [%]
Ložišta za drva				
Dvokomorno rešetkasto ložište	mehanički	Sječka, sadržaj pepela do 5 %	35 kW – 1,5 MW	5 - 30
Ložišta s dobavom odozdo	mehanički	Peleti, iverje, sadržaj pepela do 1,5 %	10 kW – 2,5 MW	5 - 30
Ložišta s pomičnom rešetkom	mehanički	Sve vrste drvnih goriva, sadržaj pepela do 50 %	150 kW – 50 MW	5 - 60
Ložišta s lančastom rešetkom	mehanički	Sve vrste drvnih goriva, sadržaj pepela do 50 %	1 MW- 20 MW	5 - 60
Ložišta s nepokretnim fluidiziranim slojem	mehanički	Promjer čestica < 90 mm	5 MW – 35 MW	5 - 60
Ložišta s cirkulacijskim fluidiziranim slojem	mehanički	Promjer čestica < 40 mm	15 MW – 250 MW	5 - 60
Ložišta s direktnim upuhivanjem	pneumatski	Promjer čestica < 5 mm	500 kW – 50 MW	< 20
Ložišta za slamnatu biomasu				
Ložišta za bale s čelnim izgaranjem („cigaretno izgaranje“)	mehanički	Bale slame	> 3 MW	< 20
Ložišta za bale s razdjeljivačem bala	mehanički	Prizmatične bale slame	0,5 MW – 3 MW	< 20
Ložišta za bale s usitnjavanjem bala	mehanički	Prizmatične bale slame	> 0,5 MW	< 20
Ložišta za rasute materijale pogodna za slamu	mehanički	Sječka, peleti, prizmatične bale	0,05 MW – 3 MW	< 20
- ložišta s pokretnim dnom			2,5 MW - > 20 MW	
- ložišta s pomičnom rešetkom				

Izvor: Spliethoff (2000); Hartmann i sur., (2004); Gaderer i Spliethoff, (2011)

a) Ložišta s dobavom odozdo (slika 38) najčešće se koriste za goriva s relativno malim sadržajem pepela (<1.5 %) i vlage (<10 %). Prikladna su goriva peleti, sječka, ostaci iz drvopredivačke industrije, a veličina goriva limitirana je dimenzijama sustava za dobavu.

Primjenjuju se u rasponu toplinskih učina od 10 kW - 2,5 MW. Kod njih se gorivo dobavlja pužem u retortu gdje se dovodi primarni zrak za izgaranje. Produkti rasplinjavanja, skupa s primarnim zrakom, prolaze kroz užarene gornje slojeve goriva, nakon čega dolazi do paljenja i potpunog izgaranja uz dodavanje sekundarnog zraka. Dobre su mogućnosti regulacije učinka i sastava dimnih plinova protokom primarnog i sekundarnog zraka preko ventilatora i dobavom goriva pužem. Odvođenje pepela je automatizirano (isto pomoću puža).



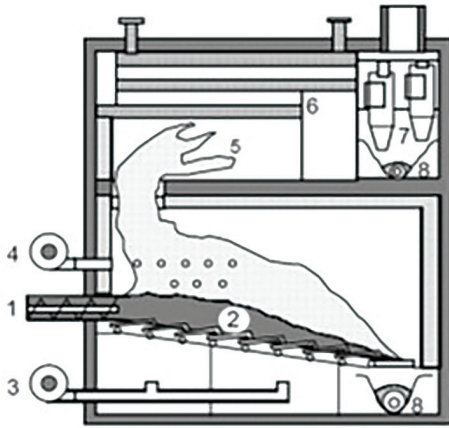
Legenda: 1. pužni dovod goriva, 2. donji sloj goriva, 3. primarni zrak, 4. sekundarni zrak, 5. komora za naknadno izgaranje, 6. izmjenjivač topline, 7. ciklon, 8. sustav za odvajanje pepela

Slika 38. Veliki kotao s dovodom drvene sječke odozdo te dobavom primarnog i sekundarnog zraka

b) Ložišta s rešetkom mogu se koristiti i za goriva s visokim sadržajem pepela (do 50 %) i vlage (do 60 %), kao i za krupniju čvrstu biomasu, tako da se ovdje mogu koristiti npr. vlažni ostaci iz prerade, kora drveta, drobljeno drvo i sl.

- Dvokomorna ložišta primjenjuju se u području toplinskih učina 35 kW - 1,5 MW. Posebno su prikladna za izgaranje biomase u formi sječke. Sastoje se od komore za rasplinjavanje iz koje se plinovi vode u komoru za potpuno izgaranje miješanjem sa sekundarnim zrakom. Kod goriva s malim udjelom pepela koriste se nepomične kose rešetke, a za ona s visokim udjelom pepela i vlage koristi se pomična rešetka.

- Kod ložišta s pomičnom rešetkom (slika 39) primarni se zrak dovodi ispod rešetke na više mjesta, a sekundarni iznad. Vrijeme zadržavanja goriva može se prilagoditi njegovim svojstvima kako bi se dobile željene emisije onečišćujućih tvari. Kod goriva s točkom taljenja pepela < 850°C rešetke se izvode s vodenim hlađenjem. Regulacija toplinskog učinka je otežana zbog veće količine goriva u odnosu na ložišta s dobavom odozdo.



Legenda: 1. pužni dovod goriva, 2. pomična rešetka, 3. primarni zrak, 4. sekundarni zrak, 5. komora za naknadno izgaranje, 6. izmjenjivač topline, 7. ciklon, 8. sustav za odvajanje pepela

Slika 39. Veliki kotao s pomičnom rešetkom i dovodom primarnog zraka u dva područja rešetke te dovodom sekundarnog zraka

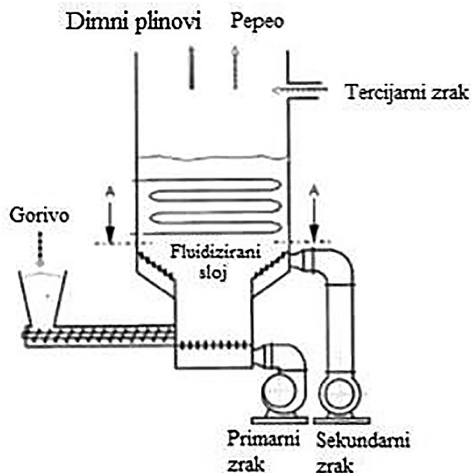
c) Za najveće nazivne učinke (5 - 35 MW) koriste se ložišta s fluidiziranim slojem (slike 40 i 41), pri čemu se mogu koristiti i ostaci iz drvne proizvodnje i industrije papira. Kod ovakvog izgaranja, 95 - 98 % sloja inertni je materijal (npr. pijesak), dok je ostatak gorivo.

Kod izvedbi s nepokretnim slojem (slika 40), mješavina inertnog materijala i goriva se u donjem dijelu ložišta prikladnom brzinom dovođenja primarnog zraka održava u lebdećem vrtložnom sloju. Na tom se mjestu gorivo direktno ubacuje u fluidizirani sloj, pri čemu se odvija rasplinjavanje i izgaranje krutog ostatka uz dovođenje sekundarnog zraka. Potpuno se izgaranje odvija u komori za naknadno izgaranje uz dovođenje tercijarnog zraka. Dimni se plinovi potom odvođe u izmjenjivač topline, a leteći se pepeo odvaja pomoću posebnog uređaja za otpepljavanje.

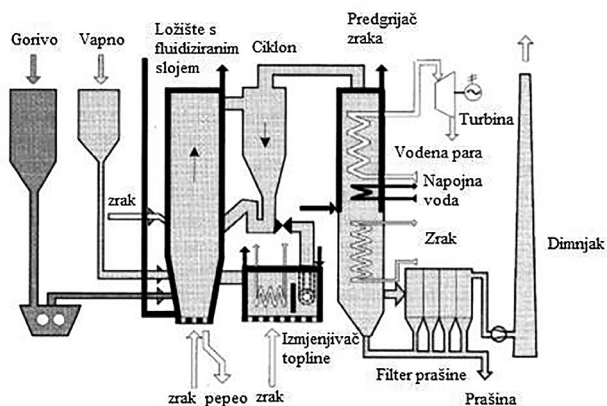
Zbog dobrog prijenosa topline, vrtložnog strujanja, odnosno intenzivnog miješanja te mogućnosti postizanja željenog vremena zadržavanja u ložištu čestica goriva i produkata izgaranja neovisno jedno o drugome, ovdje se postižu ravnomjerne raspodjele temperatura i sudionika dimnih plinova. Time je omogućeno izgaranje s malim pretičkom zraka i visokim učinkovitostima, odnosno malim emisijama onečišćujućih tvari (posebice NO_x). Zbog navedenih karakteristika ovakva su ložišta prikladna za širok spektar goriva različite vlažnosti, sastava i veličine. Zbog niske temperature izgaranja (cca 800 °C) postoji opasnost od taloženja pepela te sinteriranja fluidiziranog sloja kod goriva s visokim udjelom K, kao što je npr. slama.

U cirkulacijskom fluidiziranom sloju (slika 41) količine i brzine zraka veće su nego kod

nepokretnog pa je fluidizirani sloj raspoređen unutar cijelog reaktora. Gorivo se dodaje pomoću pužnog transportera u donjem sloju (najveće gustoće), a materijal sloja se nakon odvajanja od dimnih plinova u ciklonima ponovno vraća u cirkulaciju. Zbog složenosti, ovakva se postrojenja koriste kod većih toplinskih učina (>15 MW), a pogodna su za goriva s većim udjelom pepela u odnosu na ona s nepokretnim slojem, npr. otpadno drvo, ostatci iz industrije papira (drvni, mulj).

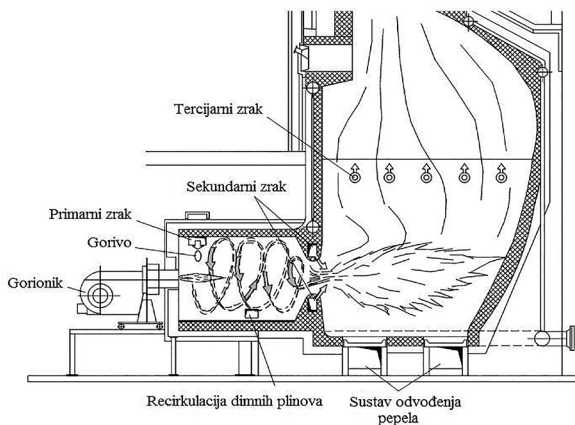


Slika 40. Ložište sa stacionarnim fluidiziranim slojem



Slika 41. Postrojenje s generatorom pare na biomasu i ugljen - izvedba s cirkulacijskim fluidiziranim slojem

d) Na slici 42 prikazana je izvedba ložišta s direktnim (tangencijalnim) upuhivanjem goriva primarnim zrakom. Čestice manje veličine izgaraju u struji zraka, dok se one teže talože i izgaraju u stražnjem dijelu komore. Na mjestu suženja komore dovodi se sekundarni zrak koji se dobro miješa s dimnim plinovima uslijed povećanja brzine. Naknadno se još dovodi i terciarni zrak radi potpunog izgaranja. Mogućnosti kontinuirane regulacije preko dovoda goriva i zraka su ovdje odlične, čime je moguće ostvariti visoke toplinske učinkovitosti i niske razine emisija onečišćujućih tvari (posebice NO_x). Koriste se u širokom rasponu toplinskih učina 0,5 - 50 MW. Ložišta s direktnim upuhivanjem osobito su prikladna za fino usitnjenu biomasu, poput npr. piljevine koja je ostatak u drvoprerađivačkoj industriji. Također, pogodna su i za slamu uz prethodnu pripremu prašine. Moguće ih je koristiti i za izgaranje biomase koja ima određen udio krupnijih čestica, korištenjem rešetke za naknadno izgaranje istaloženih težih čestica.



Slika 42. Ložišta s direktnim (tangencijalnim) ubacivanjem goriva u ložište

e) Ložišta za slamu se mogu podijeliti na:

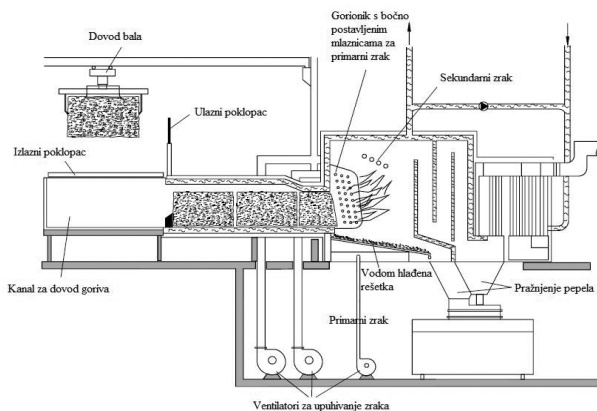
- - rešetkasta ložišta,
- - ložišta s čelnim/cigaretnim izgaranjem bala i
- - ložišta za usitnjene bale.

Kod korištenja rešetkastih ložišta postoji problem taljenja slamaste biomase koje na temperaturama iznad 800 – 900 °C može dovesti do zašljakivanja (vidi poglavlje 5.1.3. Pepeo i 8.1.3. Problemi izgaranja poljoprivredne biomase – niska temperatura taljenja pepela), odnosno potpunog začepljenja rešetke i zaustavljanja protoka zraka kroz nju. Niže temperature od navedenih u ložištu mogu se postići manjim toplinskim opterećenjem rešetke i nižim nasipnim visinama. Zašljakivanje rešetke, također, može se spriječiti njenim vodenim hlađenjem i izvedbama s vibrirajućim rešetkama (protresanje se ne preporuča zbog mogućeg nepotpunog izgaranja). Koriste se u rasponu toplinskih učina od < 100 kW (najčešće) pa sve do 50 MW.

Ložišta s cigaretnim izgaranjem (slika 43) također se izvode s rešetkom, pri čemu bale slame izgaraju prije same rešetke (obično vodeno hladene). Neizgoreni se dijelovi slame kontinuirano potiskuju i padaju na rešetku gdje u potpunosti izgaraju. Zbog male brzine ubacivanja te korištenja protuplamenih poklopaca i vodenog hlađenja rešetke, nema opasnosti od povrata plamena od bala. Toplinski učinak određen je dimenzijama bala koje moraju odgovarati transportnoj traci te brzinom ubacivanja. Koriste se kod toplinskih učina > 2 MW.

Ložišta s usitnjenim balama koriste se za manje toplinske učinke (0,5 - 3 MW) od prethodnih. Ovdje se bale režu na ploče i dovode na rešetku ili se usitnjavaju te u formi rastresite slame transportiraju pužem u ložište (s rešetkom ili s dobavom odozdo).

Na slici 43 prikazan je primjer skladištenja bala slame za centralizirane sustave grijanja s velikim kotlovima.



Slika 43. Ložišta s direktnim (cigaretnim) izgaranjem bala

8.2.5 Kogeneracijska postrojenja

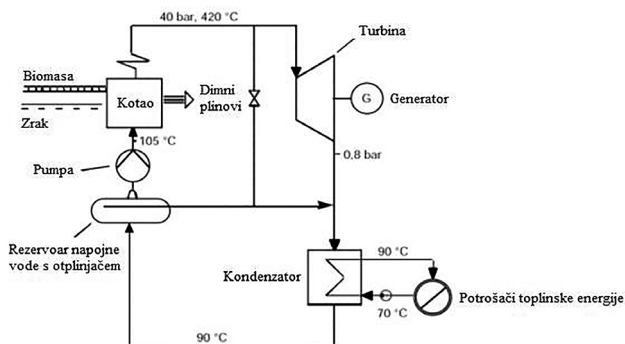
Kako bi korištenje biomase za proizvodnju električne energije bilo ekonomski isplativo, danas se sve više koriste kogeneracijska postrojenja kod kojih su najčešće primijenjene dvije vrste tehnologija:

- a) postrojenja s parnim Rankinovim procesom i
- b) postrojenja na bazi organskog (ORC) Rankinovog procesa,

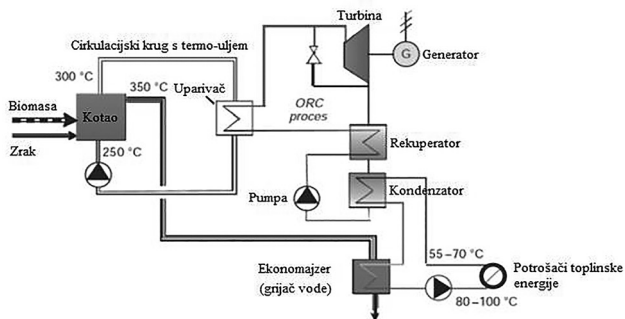
a) Postrojenja s parnim procesom najduže su u uporabi i predstavljaju provjereno rješenje, koje je ekonomski isplativo kod snaga > 2 MW_{el}. Ovdje se pregrijana para proizvedena u kotlu na biomasu koristi za pogon turbine i električnog generatora (slika 44). Para ekspandira u kondenzatoru predajući toplinu vodi iz sustava daljinskog grijanja. Učinkovitosti proizvodnje električne energije (15 – 30 %) manje su nego kod elektrana na fosilna goriva zbog ograničena temperatura svježe pare na 420 - 450°C, kako bi se spriječila korozija uslijed prisutnosti Cl

u dimnim plinovima. Ta temperatura, ipak, ne utječe na ukupnu učinkovitost kogeneracije od cca 80 % s obzirom na to da se toplinski gubitci parnog procesa koriste za zagrijavanje tople vode. Razlike, pak, nastaju u odnosu na toplane na biomasu koje proizvode samo toplinsku energiju te imaju učinkovitost od 85 %. To je posljedica dodatnih mehaničkih gubitaka samog elektromotora kod kogeneracijskih postrojenja.

b) Kod elektrana na bazi organskog (ORC) Rankinovog procesa (slika 45) kao radni medij se umjesto vode koriste ugljikovodici poput izopentana, izooktana, toluola i silikonskog ulja, što omogućuje rad na nižim temperaturama isparavanja i nižim tlakovima. U jednostupanjskoj izvedbi mogu se pronaći na tržištu u području snage 0.6 kW_e - 2MW_e. Kotlom na biomasu zagrijava se termo-ulje (do 300 °C) preko kojeg se toplina prenosi na medij u ORC procesu pri čemu se proizvodi para koja ekspandira u turbini i tako pokreće elektromotor. Rekuperator se koristi prije kondenzatora za povrat topline iz pregrijane pare nakon turbine. Također, u ekonomajzeru se iskorištava i dio topline dimnih plinova za dodatno zagrijavanje tople vode (ili pare) nakon kondenzatora. Učinkovitosti proizvodnje električne energije su oko 15 % dok ukupne učinkovitosti kogeneracije dosežu i do 98% kod korištenja ekonomajzera.



Slika 44. Kogeneracijsko postrojenje s parnim Rankinovim procesom



Slika 45. Kogeneracijsko postrojenje na biomasu na bazi organskog (ORC) Rankinovog procesa

8.2.6 Dimenzioniranje kotla

Prednost kogeneracijskih postrojenja u odnosu na velike toplane na biomasu, u njihovom je kontinuiranom radu, pri čemu je učinkovitost sustava za filtriranje čestica iz dimnih plinova najveća. Kako bi se i kod ostalih toplinskih postrojenja na biomasu omogućio kontinuirani rad, potrebno ih je dimenzionirati na približno 30 – 50 % vršnog toplinskog opterećenja pri čemu se proizvodi oko 70 – 90 % godišnje potrebne energije, što odgovara najmanje 3500 - 5000 h/god rada pri punom opterećenju tako dimenzioniranog kotla na biomasu. Ostatak se vršnog opterećenja onda pokriva rezervnim kotlom na fosilna goriva. To isto vrijedi za opterećenja ispod 30 % vršnog opterećenja, pri kojima kotao na biomasu ne može raditi. Zbog toga, u idealnom slučaju, bilo bi dobro ugraditi dva pomoćna kotla koji skupa omogućuju pokrivanje 80 – 90 % vršnog opterećenja. Pri tome, omogućen je rad samo jednog kotla za pokrivanje manjih toplinskih opterećenja od 30 % vršnog.

8.2.7 Minimalni zahtjevi za toplovodne kotlove

Zahtjevi za toplovodne kotlove na kruta goriva do 500 kW toplinskog učina propisuje norma HRN EN 303-5:2012. U toj normi, osim općih zahtjeva, detaljno su propisani konstrukcijski, sigurnosni te zahtjevi za pogonske karakteristike (toplinska učinkovitost i dozvoljene emisije onečišćujućih tvari), kao i sam postupak ispitivanja pogonskih karakteristika. Najveće dozvoljene emisije onečišćujućih tvari, u zavisnosti o klasi kotla, navedene su u tablici 15.

Tablica 15. Najveće dozvoljene emisije (HRN EN ISO 303-5:2012)

Loženje	Gorivo	Naz. topl. učinak	Granice emisija								
			CO			OGC			Prašina		
			mg/m ³ na 10%O ₂								
			klasa	klasa	klasa	klasa	klasa	klasa	klasa	klasa	klasa
		kW	3	4	5	3	4	5	3	4	5
ručno	bio-gorivo	≤ 50	5 000			150			150		
		>50 ≤ 150	2 500			100			150		
		>150 ≤ 500	1 200	700	100	50	30	150	75	60	
	fosilno	≤ 50	5 000			150			125		
		>50 ≤ 150	2 500			100			125		
		>150 ≤ 500	1 200			100			125		
automatsko	bio-gorivo	≤ 50	3 000			100			150		
		>50 ≤ 150	2 500			80			150		
		>150 ≤ 500	1 200	80	80	30	20	150	60	40	
	fosilno	≤ 50	3 000			100			125		
		>50 ≤ 150	2 500			80			125		
		>150 ≤ 500	1 200			80			125		

9. *Sida hermaphrodita*

9.1 Taksonomija

U tablici 16 prikazana je potpuna sistematika energetske kulture *Sida hermaphrodita*

Tablica 16. Sistematika vrste *Sida hermaphrodita* (slika 46)

Pozicija	Znanstveno ime i uobičajeno ime
Domena	<i>Plantea</i> - Bilje
Carstvo	<i>Tracheobionta</i> - Vaskularne biljke
Koljeno	<i>Spermatophyta</i> - Sjemenjača
Potkoljeno	<i>Magnoliophyta</i> - Cvjetače
Razred	<i>Magnoliopsida</i> - Dvosupnice
Podrazred	<i>Dilleniidea</i>
Red	<i>Malvales</i>
Porodica	<i>Malvaceae</i> - Sljezovke
Rod	<i>Sida</i> L.
Vrsta	<i>Sida hermaphrodita</i> (L.) Rusby - Virginia fanpetals, Virginia Mallow



Slika 46. *Sida hermaphrodita* (L.) Rusby

Sida hermaphrodita (L.) Rusby biljna je vrsta iz porodice *Malvaceae* (sljezovi). Nedavna filogenetska istraživanja potvrđuju da *Sida hermaphrodita* nije osobito usko povezana s drugim članovima roda *Sida*. Tijekom niza godina, uočeno je da je ta vrsta bliže povezana s rodovima *Napaea* ili *Sidasodes*, koji su prirodno prošireni u Andama. Međutim, daljnja istraživanja nisu podržala ove tvrdnje (Fuertes Aguilar i sur., 2003).

Broj kromosoma biljke *Sida hermaphrodita* je $2n = 28$ (Spooner i sur., 1985). Fryxell (1985) je utvrdio da je osnovni broj kromosoma $n = 7$ i $n = 8$ uobičajen u rodu *Sida* i koristan u utvrđivanju srodnosti unutar ovog roda.

9.2 Porijeklo i opis

Sida hermaphrodita (L.) Rusby prirodno je proširena u prerijama Sjeverne Amerike. Raste na pjeskovitim ili kamenitim tlima s malom količinom organske tvari i proizvodi relativno velike količine biomase na laganim tlima niske plodnosti (Borkowska i Wardzinska, 2003).

To je višegodišnja vrsta koja omogućava proizvodnju biomase u sustavima bez obrade tla, čuvajući tako strukturu tla pa je značajna za uzgoj na marginalnim tlima (Beare i sur., 1994). *Sida hermaphrodita* postaje prodorna u drugoj godini uzgoja jer pohranjuje fotosintezom stvorene hranjive tvari u gustu mrežu podzemnih stabljika (rizoma) i time uspješno suzbija korove (Borkowska i Molas, 2012). Osim toga, veliki korijenov sustav ovog višegodišnjeg usjeva u marginalnim tlima omogućava učinkovito korištenje ograničenih hraniva i vode (Borkowska i Wardzinska, 2003).

S. hermaphrodita se trenutno najviše ekstenzivno koristi kao energetska kultura u Poljskoj (Borkowska i Molas, 2013), gdje se uzgaja radi lignoceluloznih vlakana, kao krma za stočarstvo i kao medonosna biljka. Ova vrsta raste i cvate do prvih jesenskih mrazova omogućavajući kasni izvor nektara pčelama pa je jako korisna i za pčelarstvo. Tijekom cvatnje ove vrste, pčele mogu proizvesti više od 120 kg/ha kasnog meda (Borkowska i Styk, 2006; Wroblewska i Kolasa, 1986).

Trenutno se najviše istraživanja radi na ovoj kulturi kao izvoru biomase u energetske svrhe (Oleszek i sur., 2013, Borkowska i sur., 2009). Do danas nije utvrđeno invazivno ponašanje ove vrste, što se vjerojatno može objasniti niskom klijavošću sjemena i slabom prodornošću klijanaca (Spooner i sur., 1985). *S. hermaphrodita* se, također, koristi i u proizvodnji celuloze i papira, a sadržaj celuloze, smole i voska u stabljici usporediv je sa smrekom i borom. Ova vrsta sadrži i supstance slične medicinskom gavezu pa se može koristiti u farmaceutskoj industriji (COSEWIC, 2010). *Sida hermaphrodita* može se uzgajati na kemijski degradiranim tlima, uključujući i smetlišta. Borkowska i Wardzinska (2003) u trogodišnjem su uzgoju ove vrste na otpadnom kanalizacijskom mulju utvrdile pozitivan utjecaj na strukturu mulja, jer uspješno usvaja kobalt, nikal i željezo. Dugotrajnost nasada, jednostavnost uzgoja i velike sposobnosti prilagodbe na različite klimatske uvjete i uvjete tla ukazuju na velike potencijalne mogućnosti korištenja ove vrste (Borkowska i Styk 2006).

9.3 Morfologija

Stabljika je obrasla dlačicama u mladom stadiju, dok u zreлом stadiju postupno izgrađuje glatku površinu. Stabljike narastu između jednog i četiri m i u promjeru do tri cm (Oleszek i sur., 2013). Unutrašnjost stabljike ispunjena je srčikom. U prvoj godini vjerojatna je pojava jednog izdanka, dok se u četvrtoj i daljnjim godinama očekuje 20 – 30 izdanaka što rezultira gustim sklopom (slika 47, 48, 49, 50).



Slika 47. i 48. Stabljika u vegetativnom stanju



Slika 49. i 50. Osušene stabljike

List obično sadrži – tri do sedam nepravilno nazubljenih režnjeva gdje je srednji najduži. Plojka lista duga je 10 - 20 cm, dugom peteljkom vezana za stabljiku. Listovi ove vrste sličje javorovom listu i rastu naizmjenično uzduž stabljike (slika 51 i 52).



Slika 51. List



Slika 52. Vršni dio biljke

Cvat (slika 53) je paštitač smješten na vrhu biljke i sastavljen je od više cvjetova. Cvjetovi imaju po pet latica bijele boje, dugih oko centimetra. *Sida hermaphrodita* cvate od kolovoza do listopada ili do prvog jačeg mraza.



Slika 53. Cvat

Sida hermaphrodita ima suhi **plod** “kalavac” (slika 54) koji se u suhom stanju kala na više dijelova, svaki se pojedinačno zove merikarp. Ima ih 5 - 12, a u svakom je jedna sjemenka. Pojedinačni merikarp odgovara tipu ploda “mjehur” ili “orah”.



Slika 54. Plod

Korijen se sastoji od puno jakih, mesnatih, glavnih korijena i postranog žiličastog korijenja. S obzirom na to da korijen prodire u dublje slojeve tla, *Sida* je atraktivna za uzgoj na relativno suhim tlima (500 - 600 mm godišnjih oborina), u čemu je u prednosti pred ostalim energetskim kulturama (slika 55 i 56).



Slika 55. Korijen mlade biljke



Slika 56. Korijen starije biljke s rizomima

9.4 Biologija

Sida hermaphrodita je trajnica (jednom posadena traje više od deset godina (čak 20 - 30 g.) Točno je vrijeme života biljke *Sida hermaphrodita* nepoznato, ali biljke u uzgoju mogu živjeti 15 - 20 godina (Antonowicz, 2005, Krzaczek i sur., 2006). Kljanje i nicanje počinje u ožujku, kada je tlo još uvijek hladno i proljetni korovi još nisu jaki, stoga, ova vrsta suzbija korove nadrastajući ih (Kurucz i sur., 2014).

Faza intenzivnog vegetativnog rasta završava krajem lipnja, nakon vlažnog proljetnog razdoblja. Biljka doseže maksimalnu visinu između tri i četiri m polovicom ljeta.

Generativna faza započinje tijekom sušnog ljetnog razdoblja. Intenzitet rasta tijekom generativne faze (srpanj - kraj listopada), a posljedično i cvatnja i količina sjemena, ovisi o oborinama tijekom tog razdoblja.

Tijekom sušnog ljetnog razdoblja, često ekstremno suhog, lišće na primarnim stabljikama počinje žutjeti - počevši od baze biljke, a zatim otpada. Kasnije, kad počnu kiše, aksilarni (pazušni) pupoljci počinju rasti, stabljike dobivaju nove listove, nastavljajući s rastom i cvatu.

Cvatnja počinje početkom kolovoza i traje sve do jačeg mraza. Sjeme se rasprostranjuje tijekom zime i klija u rano proljeće. Starost biljke za prvu cvatnju nije utvrđena u prirodnom okruženju, ali pojedinačne biljke uzgojene u vrtovima cvatu u godini sadnje sjemena (Spooner i sur., 1985). Razvijena biljka *Sida* može proizvesti nekoliko tisuća sjemenki, od kojih je većina vijabilna i ima potencijal za klijanje. Međutim, utvrđen je mali postotak klijanja sjemena prirodnih populacija *Sida hermaphrodita* u nekim državama SAD –a (samo 6,6 %) (Thomas, 1980) To ga je navelo na zaključak da je slaba klijavost odgovorna za rijetkost ove biljne vrste u njenom prirodnom okruženju. Klijavost se može povećati raznim predtretmanima, kao npr.: skarifikacijom (Spooner i sur., 1985), namakanjem u vrućoj vodi (Kujawski i sur., 1997), sulfatnoj kiselini itd. (COSEWIC, 2010). Korištenjem skarifikacije sjemena dobiveno je 81 - 99 % klijavog sjemena iz deset prirodnih populacija Marylanda i Ohia (Spooner i sur., 1985). Ruska istraživanja govore da je klijavost sjemena *Sida hermaphrodita* bez predtretmana jako niska, 10 - 15%, dok čuvanjem u kontroliranim uvjetima od šest do osam mjeseci postotak klijavosti sjemena raste na 60 %, a 13-godišnjim skladištenjem % klijavosti pada ispod 10 % (Savchenko i Dmitrashko, 1973).

Na kraju vegetacijskog razdoblja u listopadu, još uvijek nerazjašnjena unutarnja molekularna, fiziološka i histološka pretvorba se događa na bazalnom dijelu izboja (slika 57 i 58). Tijekom tog procesa, vegetativni dio biljke iznad ove zone odumire, a dio biljke ispod te zone i dalje ostaje živ i priprema se za prezimljavanje. Velik se broj adventivnih vegetativnih pupoljaka se stvori u ovoj zoni krajem zime i počinje nicati u proljeće. Hraniva se iz nadzemnih biljnih dijelova spuštaju u podzemne stabljike, rizome i korijen te se tu čuvaju za idući porast u proljeće. Nadzemna je masa u vegetativnom stadiju zeljasta i sočna, a odumiranjem postaje smeđa.



Slike 57. i 58. *Sida hermaphrodita* u kasnu jesen i zimu

9.5 Ekološki zahtjevi

Sida hermaphrodita tolerantna je na ekstremne tipove kontinentalne klime, posebno na zimske uvjete (podnosi zime bez snijega s temperaturama ispod -20°C) te na sušne ljetne uvjete ako je godišnja razina padalina minimalno 400 – 500 mm (Borkowska i Molas, 2012).

To je višegodišnja biljka otvorenih, vlažnih, sunčanih do djelomično zasjenjenih staništa, uz ceste i željezničke pruge, na rubovima šuma, blizu potoka i rijeka (Spooner i sur. 1985). Populacije su pronađene i na poplavnim područjima koja su vjerojatno plavljena gotovo svake godine ili na koluvijalnim nanosima. Na svim mjestima pronalaska populacija *S. hermaphrodita* u SAD-u, tlo je bilo rastresito, što omogućuje dobru aeraciju (Thomas, 1979). Učestale poplave mogu je uništiti. Populacije pronađene u SAD-u rasle su na pjeskovitim tlima s prilično niskim sadržajem organske tvari. pH tih tala bio je neutralan do blago kiseo (Thomas, 1979). Jasno je da se vrsta pojavljuje na širokom rasponu tipova tala pa se ne čini da tip tla ograničava širenje vrste (Spooner i sur. 1985).

S obzirom na to da je vrsta prirodno raširena na vlažnim staništima kao i na širokom rasponu tipova tla, a i na mogućnost njenog korištenja za remedijaciju degradiranih tala (kemijski zagađena tla) može se zaključiti da je *S. hermaphrodita* prilagodljiva na različite agroekološke uvjete.

Sida hermaphrodita može rasti na tlima različitog mehaničkog sastava, u rasponu od muljevitih ilovača, pjeskovito-glinastih ilovača i glinastih ilovača. Ne čini se da raspon pH vrijednosti (od 5,4 - 7,5) i sadržaj organske tvari utječu na geografsko širenje ove vrste (Spooner i sur., 1985).

Sida hermaphrodita se zbog niskih zahtjeva za kvalitetom tla može koristiti za uzgoj na tlima slabije kvalitete, nepovoljnim za uzgoj hrane (čak i na pjeskovitim tlima). Ovo je svojstvo

Side posebno važno jer se može koristiti za rekultivacije degradiranih i onečišćenih tala, gdje se i pored nepovoljnih uvjeta može proizvesti preko deset t suhe tvari biomase ha⁻¹ godišnje (Pszczolkowska i sur., neautorizirano).

9.6 Agrotehnika

9.6.1 Obrada tla

Kod zasnivanja nasada *Sida hermaphrodita* treba imati na umu da je to dugotrajna kultura i da je obradi tla potrebno posvetiti posebnu pozornost. S obzirom na to da se najčešće presadnicama ili reznicama rizoma sadi na velike međuredne razmake i razmake u redu (0,75 - 1,0 m), velika je opasnost od zakorovljavanja u godini sadnje. Pravilno pripremljeno tlo za sadnju smanjuje taj rizik i u konačnici donosi manje troškove zaštite protiv korova.

Najbolje je primijeniti jedan od sustava obrade tla za jare kulture. On uključuje duboku jesensko oranje na dubinu oko 30 cm (pa i dublje ako je moguće), s ciljem sakupljanja vlage u hladnom i vlažnom razdoblju jeseni i zime te čuvanja u toplom dijelu godine. Tu vrijedi provjereno agrotehničko pravilo: duboko uzorati prije očekivanog nastupa jesenskog kišnog maksimuma, bez obzira na to hoće li se te godine javiti u uobičajenim datumima ili neće.

Preporuka je prije dubokog oranja primijeniti jedan od totalnih herbicida, zbog suzbijanja višegodišnjih korova. Duboko oranje (slika 59) treba preko zime ostaviti u gruboj brazdi, ali ne jače grebenasto, jer se nejednolično smrzava i kasnije se teško priprema za sjetvu. Zbog toga se brazde ravnaju, prije zime, oruđima za dopunsku obradu tla (tanjurače, drljače, kombinirana oruđa). Duboko oranje koristi se i za obavljanje redovite gnojidbe. Odmah nakon prestanka zime, a pogotovo ako se tlo nalazi u stanju ugorenosti od mraza, brazda se može zatvoriti (blanjanjem, drljanjem, tanjuranjem ili kombiniranim oruđima, ovisno o tome u kakvom je stanju) (slika 60). Ako do sadnje (najčešće kraj travnja u kontinentalnom području) niknu korovi, potrebno ih je kultivacijom ili kemijskim putem ukloniti s površine na koju se sadi *Sida hermaphrodita*.



Slika 59. Duboko oranje



Slika 60. Predsjetvena priprema tla

9.6.2 Zasnivanje nasada (sadni materijal)

Sida hermaphrodita može se razmnožavati sjemenom. Sije se oko 25 sjemenki po m² (oko tri kg/ha). Međutim, zbog uspješnosti zasnivanja nasada (varijabilna klijavost i nicanje) u praksi se najčešće koriste dobro ukorijenjene presadnice, dobivene u staklenicima iz sjemena (slika 61). Strojna se sadnja sjemena provodi klasičnim sadilicama za sitnozrnate kulture, dok se za sadnju presadnica (slika 62) koriste sadilice s grudom supstrata.



Slika 61. Sjeme



Slika 62. Presadnica

Za zasnivanje usjeva mogu se koristiti i reznice rizoma (slika 63), jer se biljka prirodno širi iz pupova na rizomima. Reznice rizoma duge oko 25 cm, minimalnog promjera od centimetra s vidljivim pupovima, odličan su sadni materijal. Novi se izboji pojavljuju iz tih rizoma već nakon devet dana od sadnje (Kujawski i sur., 1997). Sadnja rizoma se može provesti adaptiranim sadilicama za krumpir ili sa specijalnim sadilicama za rizome energetskih kultura.



Slika 63. Rizomi

Sida hermaphrodita je tolerantna na kvalitetu tla. Vrijeme sadnje presadnica i rizoma je od travnja pa tijekom cijelog svibnja, ovisno o agroekološkim uvjetima. Važno je da ne postoji opasnost od kasnog mraza koji može oštetiti ili potpuno uništiti presadnice. Razmaci između redova i u redu mogu biti različiti, ovisno o sadilicama (za krumpir ili miskantus): 0,75 x 0,75 m; 0,9 x 0,9 m ili pak 0,70 x 1,0 m itd. Gušćom sadnjom stvaraju se bolji preduvjeti za suzbijanje korova.

Potreban broj presadnica za zasnivanje jednog ha je 13 - 15.000, a reznica rizoma treba 15 - 20.000 po ha. Usjev se iz godine u godinu zgušnjava pomoću podzemnog širenja rizoma. Borkowska i sur. (2009) u su prvoj godini uzgoja kulture *Sida hermaphrodita* utvrdili broj izboja po m² od 9,8, u drugoj godini 20,8, u trećoj godini 23,9 te u četvrtoj godini uzgoja do 24,5. Ne koristi se kemijska kontrola korova poslije zasnivanja nasada sjetvom sjemena, a osjetljivost vrste na herbicide je u većini slučajeva nepoznata (Borkowska i Molas, 2008).

9.6.3 Gnojidba

Sida hermaphrodita dugotrajna je vrsta pogodna za uzgoj na tlima različite plodnosti. Zbog izbjegavanja konkurencije s proizvodnjom hrane, za uzgoj energetskih kultura obično se biraju tla niže kvalitete, nepogodna za uzgoj uobičajenih kultura za prehranu ljudi i domaćih životinja. Čak i na takvim tlima mogu se postići zadovoljavajući prinosi biomase visoke energetske vrijednosti.

Vrlo je malo istraživanja do sada provedeno o gnojidbenim zahtjevima ove kulture. Iako je *Sida hermaphrodita* podrijetlom iz SAD-a, istraživanja visine prinosa i kakvoće biomase za energetske korištenje provedena su samo u Poljskoj (Borkowska i sur., 2009). S obzirom na to da *Sida hermaphrodita* na kraju vegetacijskog razdoblja, u jesen, spušta hraniva iz nadzemnih biljnih dijelova u podzemne stabljike (rizome) i korijen. vjerojatno se vrlo male količine hraniva iznose žetvom nadzemne biomase. Dio hraniva vraća se u tlo i recikliranjem otpalog lišća. Biomasa *Sida* poźnjevenu u pravo vrijeme karakterizira nizak sadržaj pepela i relativno malo mineralnih tvari kao što su dušik i kalij (Kuš i Matyka 2010). Pohranjena se hraniva koriste za ponovni rast nadzemne mase u proljeće pa to vjerojatno objašnjava skromne zahtjeve ove kulture za plodnošću tla.

Sida hermaphrodita manje je osjetljiva na nedostatak mineralnih gnojiva u usporedbi s miskantusom, koji je poznat po niskim zahtjevima za N gnojidbom. S ekonomske točke gledišta, vrlo je važno da su potrebe za gnojivima vrlo niske u godini zasnivanja nasada. Počevši od druge godine, preporučuje se doza N-P-K po hektaru: 90 kg N, 30-90 kg P₂O₅ i 80-150 kg K₂O (Pszczolkowska i sur., neautorizirano). U provedenim istraživanjima Borkowska i sur. (2009) utvrdili su da razina N gnojidbe (100 i 200 kg N ha⁻¹) nije značajno utjecala na prinos *S. hermaphrodita*, dok je veća razina P gnojidbe (52,38 kg P ha⁻¹) rezultirala značajno većim prinosom ove vrste u odnosu na nižu razinu P gnojidbe (39,28 kg P ha⁻¹). Gnojidba s 200 kg N ha⁻¹ ne utječe ni na broj izbojaka. Međutim, povećanje količine fosfora s 39 na 53 kg ha⁻¹ povećava broj izbojaka za prosječno jedan po m², što daje ukupno oko 20.000 dodatnih izdanaka po hektaru (Borkowska i sur. 2009).

Istraživanja su pokazala da korištenje obrađenog, vrlo jeftinog, kanalizacijskog mulja, povećava prinos biomase i na vrlo siromašnim tlima (Romanowska-Duda i sur 2009, Kacprzak i sur., 2010). Važno je napomenuti da se u godini sadnje ne primjenjuju nikakva gnojiva koja bi samo povećala konkurentnost različitih korova. U kasnijim godinama uzgoja ove kulture, u tlo bi trebalo vratiti barem onoliko hraniva koliko se iznese prinosom, a točne količine za različite agroekološke uvjete trebalo bi utvrditi daljnjim istraživanjima.

Najbolje je vrijeme za primjenu gnojiva proljeće (poslije žetve prethodnog porasta, ako se koristi proljetni rok žetve), svakako prije početka nove vegetacijske sezone, odnosno prije pojave novih izboja *Sida hermaphrodita* iz tla.

9.7 Štetočine i bolesti

Za vrstu *Sida hermaphrodita* tvrdilo se da je biljka bez agrofaga (Borkowska i Styk, 2006). Međutim, prema Poznańskom Zavodu za zaštitu bilja (IOR), oko 30 % biljaka na plantaži može biti zaraženo paucima i lisnim ušima. Utvrdilo se da je mogu napasti i gljivice, pauci i lisne uši. Imajući u vidu veličinu biljke *Side*, njihova je štetnost mala i ne zahtijeva primjenu skupih i ekološki nepoželjnih zahvata zaštite bilja. Biljke *Side* mogu biti napadnute i od brojnih Hemiptera vrsta poput lozine stjenice (*Coreus marginatus* L.) (slika 64) i stjenica (slika 65) iz roda *Lygus* spp. Sve veći broj tih insekata ukazuje da u slučaju višegodišnjih nasada oni, kao i gusjenice raznih leptira, mogu biti prijetnja nasadima (Mrówczyński i sur., 2007, Remlein- Starosta i Nijak, 2007).



Slika 64. Lozina stjenica (*Coreus marginatus* L.)



Slika 65. Stjenica *Lygus*

Sida je, također, osjetljiva na gljivične infekcije: *Fusarium*, *Sclerotinia sclerotiorum* (slika 66) i *Botritis cinerea* (Grzesik i sur., 2011). Visoki postotak bijele truleži korijena uzrokovane gljivicom *Sclerotinia sclerotiorum* može uništiti čitav nasad ove kulture (Remlein-Starosta i sur., 2016). Bedlan (2016) je utvrdio još jednog novog štetnika na nasadima vrste *Sida hermaphrodita*, a radi se o truleži stabljike (*Didymella sidae-hermaphroditae* sp.) koja se razlikuje od drugih vrsta roda *Didymella*.



Slika 66. *Sclerotinia sclerotiorum*

9.8 Prinos i žetva

Sida hermaphrodita nativna je vrsta Sjeverne Amerike, a uvedena je u Poljsku tijekom 1950-ih kao izvor hrane za životinje i vlakana, ali se dalje razvijala kao obećavajuća energetska kultura (Spooner i sur, 1985.; Borkowska i sur., 2009). Iako je podrijetlom iz Sjedinjenih Američkih Država istraživanja o visini prinosa i kvaliteti biomase za energetske svrhe proizvodila su se isključivo u Poljskoj (Borkowska i Styk, 2006). Danas, *Sida* ponovno privlači pozornost kao obećavajuća kultura za proizvodnju bioenergije (Borkowska i Wardzinska, 2003; Borkowska i Molas 2012; Barbosa i sur, 2014; Nabel i sur., 2014). Osim visokog prinosa biomase, *Sida* je također, zbog duge cvatnje vrlo atraktivna za oprašivače, stoga ima visoku vrijednost u ekosustavu. Zbog velikog broja izdanaka po biljci, prinos biomase *Sida* veći je u odnosu na, npr. kukuruz (Slepetyš i sur., 2012). Prinos organske suhe tvari, uz plodnost tla, oborine i klimatske uvjete, ovisi o starosti nasada i vremenu žetve te uglavnom varira od 9,6 do 19,7 t ha⁻¹ (Slepetyš i sur, 2012; Borkowska i Molas, 2013).

Žetva biomase vrste *Sida hermaphrodita* može biti u vrijeme prvih mrazova u studenom i prosincu, ali i u veljači, ožujku i travnju ili ovisno o regiji. Žetvu bi trebalo svakako obaviti prije kretanja nove vegetacije u proljeće. Sadržaj se vlage u biomasi smanjuje s oko 40 % u studenom na oko 20 % u siječnju, što omogućuje izravno peletiranje požnjevene biomase (Borkowska i Styk, 2006).

Utvrđeni su prinosi na ilovasto glinastim tlima od 15 - 20 t ha⁻¹ suhe tvari (Borkowska, 2007), a u teškim uvjetima uzgoja uz dodatak kanalizacijskog mulja, prinos je bio rasponu od 9 do 11 t ha⁻¹ (Borkowska i Wardzinska, 2003). Kao i kod ostalih višegodišnjih energetskih kultura za proizvodnju energije, treba napomenuti da se u prvoj godini uzgoja ne dobiju ekonomski značajni prinosi biomase (Borkowska i Styk, 2006). Borkowska i sur. (2009) mjerili su prinos ST i visinu biljke kulture *Sida hermaphrodita* tijekom prve četiri godine uzgoja, a rezultati prosječnih vrijednosti njihovog istraživanja prikazani su u tablici 17. Navedeni autori zaključuju da razina N gnojidbe (100 i 200 kg N/ha) nije značajno utjecala na prinos biomase, a veće doze P (39,28 i 52,38 kg P/ha) značajno povećavaju prinos biomase. Isti autori nisu utvrdili značajne razlike u prinosu ST, gustoći usjeva (broj izboja m⁻²) i visini biljke između treće i četvrte. godine uzgoja ove kulture pa se može zaključiti da su tri godine potrebne za postizanje maksimalnog prinosa vrste *Sida hermaphrodita*.

Tablica 17. Prinos ST i visina biljke u prve četiri godine (Borkowska i sur., 2009)

Godina starosti nasada	I.	II.	III.	IV.
	Prinos ST (t ha ⁻¹)			
Parametar	2,79	8,36	11,08	11,30
	Visina biljke (cm)			
	167.1	232.4	274.2	295.8

Žetvu kulture *S. hermaphrodita* možemo podijeliti s obzirom na tehniku izvođenja same žetve, odnosno na:

- **višefaznu tehniku i**
- **jednofaznu tehniku.**
- **Višefazna tehnika** obuhvaća košnju (slika 67), formiranje otkosa (slika 68) i baliranje (slika 69).



Slika 67. Košnja



Slika 68. Formiranje otkosa



Slika 69. Baliranje

-
- **Jednofazna tehnika** obuhvaća košnju-usitnjavanje (slika 70) ili košnju-baliranje (slika 71).



Slika 70. Košnja-usitnjavanje (jednofazna žetva)



Slika 71. Košnja-baliranje (jednofazna žetva)

Košnju je moguće obaviti korištenjem oscilirajućih kosa, kosilicama s rotodaračima, rotacijskim kosilicama s bubnjevima, rotacijskim kosilicama s tanjurima, samokretnim kosilicama – gnječilice (tzv. *windroweri*) te najprikladnije krmnim kombajnom opremljenim hederom s rotirajuće nazubljenim zubicima (slika 72). Za formiranje otkosa i baliranje koristi se klasična oprema za spremanje krme.



Slika 72. Krmni kombajn opremljen hederom s rotirajuće nazubljenim zubicima

10. Literaturni navodi

AEBIOM (2014) European biomass association, *European bioenergy outlook*. Brussels, Belgium.

AEBIOM (2015) European biomass association, *European bioenergy outlook*. Brussels, Belgium.

Antonowicz, J. (2005) Potencjał energetyczny ślázowca pensylwańskiego (Energy potential of the Virginia mallow). „AURA” 3: 7–9.

Barbosa, D. B. P., Nabel, M., Jablonowski, N. D. (2014) Biogas-digestate as nutrient source for biomass production of *Sida hermaphrodita*, *Zea mays* L. and *Medicago sativa* L. *Energy Procedia* 59, 120–126.

Beare, M. H., Hendrix, P. F. Coleman, D. C. (1994) Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional- and no-tillage soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 777.

Bedlan, G. (2016) *Didymella sidae-hermaphroditae* sp. nov., a new pathogen on *Sida hermaphrodita* (L.) Rusby. *Journal für Kulturpflanzen* 68 (5): 130–133.

Bilandžija, N i Voća, N. (2014) Klasifikacija i osnovne značajke biogoriva. *Gospodarski list*, 7: 51-52.

Bilandžija, N. (2014): Perspektiva i potencijal uzgoja kulture *Miscanthus x giganteus* u Republici Hrvatskoj. *Inženjerstvo okoliša*, 1(2): 81–87.

Bilandžija, N. (2015) Potencijal vrste *Miscanthus x giganteus* kao energetske kulture u različitim tehnološkim i agroekološkim uvjetima. *Doktorska disertacija*. Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet.

Bilandžija, N., Voća, N., Krička, T., Matin, A., Jurišić, V. (2012) Energy potential of tree pruned biomass in Croatia. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10: 292 – 298.

BIOEN (2001) Program korištenja energije biomase i otpada. Energetski institut “Hrvoje Požar”, Zagreb, Hrvatska, 144.

Borkowska, H. (2007) Yields of Virginia fanpetals and willow on good wheat soil complex. *Fragmenta Agronomica* 2: 7 – 41.

Borkowska, H., Molas, R. (2008) Weeding and Virginia mallow plant density depending on herbicides. *Annales Universitatis Mariae Curie, Skłodowska Lublin, Polonia*, 63, 10 – 16.

Borkowska, H., Molas, R. (2012) Two extremely different crops, *Salix* and *Sida*, as sources of renewable bioenergy. *Biomass Bioenergy* 36: 234 – 240.

Borkowska, H., Molas, R. (2013) Yield comparison of four lignocellulosic perennial energy crop species. *Biomass Bioenergy* 51: 145 – 153.

Borkowska, H., Molas, R., Kupczyk, A. (2009) Virginia Fanpetals (*Sida hermaphrodita* Rusby) Cultivated on Light Soil; Height of Yield and Biomass Productivity. *Polish J. of Environ. Stud.* Vol. 18, No. 4: 563 – 568.

Borkowska, H., Styk, B. (2006) Virginia fanpetals (*Sida hermaphrodita* L. Rusby): Cultivation and utilization. Monograph, Sec. ed. WAR; University of Life Sciences Lublin.

Borkowska, H., Wardzinska, K. (2003) Some effects of *Sida hermaphrodita* R. cultivation on sewage sludge. *Polish Journal of Environmental Studies*, 10, 119 – 122.

Brkić, M. (2007.): Potencijali i mogućnosti briketiranja i peletiranja otpadne biomase na teritoriji pokrajine Vojvodine. *Pokrajinski sekretarijat za energetiku i mineralne sirovine*. Novi Sad, Srbija.

Cassida, K.A., Muir, J.P., Hussey, M.A., Read, J.C., Venuto, B.C., Ocumpaugh, W.R. (2005) Biofuel component concentrations and yields of switchgrass in South central US environments. *Crop Science*, 45: 682 – 692.

COSEWIC (2010) Cosewic assessment and status report on the Virginia Mallow *Sida hermaphrodita* in Canada. Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada. Ottawa. ix + 18 pp. (www.sararegistry.gc.ca/status/status_e.cfm).

Cuiping, L., Chuangzhi, W., Yanyongjie, M., Haitao, H. (2004) Chemical elemental characteristics of biomass fuels in China. *Biomass and Bioenergy*, 27: 119 – 130.

Čakija, A. (2007) Značaj poljoprivrede u korištenju obnovljivih izvora energije. Zbornik radova: «*Obnovljivi izvori energije u Republici Hrvatskoj*». Osijek, Hrvatska, 199 – 208.

Demirbas, A. (2003) Relationships between lignin contents and fixed carbon contents of biomass samples. *Energy Conversion and Management*, 44(9): 1481 – 1486.

Demirbas, A. (2004) Combustion characteristics of different biomass fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, 30: 219 – 230.

Demirbas, M. F., Balat, M., Balat, H. (2009) Potential contribution of biomass to the sustainable energy development. *Energy Conversion and Management*, 50: 1746 – 1760.

Dimitrijević, R. (1984) Goriva i izgaranje. Savez energetičara Hrvatske. Zagreb, Hrvatska.

Dragičević, V. (2011) *Optimizacija ložišta za izgaranje biomase*. Sveučilište u Rijeci. Doktorska disertacija. Rijeka. Hrvatska.

Donlagić, M. (2005) Energija i okolina. Printcom – Tuzla, Bosna i Hercegovina.

Fichtner GmbH & Co. KG, Stuttgart. (2000) In: FNR (Hrsg.): Leitfaden Bioenergie. Sonderpublikation des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BMELF) und der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR). Gülzow 2000.

Francescato, V., Antonini, E., Bergomi, L., Z. (2008) Priručnik o gorivima iz drvne biomase, *Regionalna energetska agencija Sjeverozapadne Hrvatske, Zagreb*.

Fryxell, P. A. (1985) *Sida sidarum* - V. The North and Central American species of *Sida*. *Sida* 11(1): 62 – 91.

Fuertes Aguilar, J. F., Fryxell, P. A. Robert, Jansen K. (2003) Phylogenetic Relationships and Classification of the *Sida* Generic Alliance (Malvaceae) Based on nrDNA ITS Evidence. *Systematic Botany*, 28 (2):352 – 364.

Gaderer, M., Spliethoff, H. (2011) Thermische Nutzung von Biomasse und Reststoffen in Deutschland. In: *Chemie Ingenieur Technik*, 83.

Garcia, R., Pizarro, C., Lavín, A.G., Bueno, J.L. (2012) Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. *Bioresource Technology*, 103: 249 – 258.

Garcia-Maraver, A., Salvachúa, D., Martínez, M.J., Diaz, L.F., Zamorano, M. (2013) Analysis of the relation between the cellulose, hemicellulose and lignin content and the thermal behavior of residual biomass from olive trees. *Waste Management*, 33(11): 2245 – 2249.

Greenhalf, C.E., Nowakowski, D.J., Harms, A.B., Titiloye, J.O., Bridgwater, A.V. (2012) Sequential pyrolysis of willow SRC at low and high heating rates – Implications for selective pyrolysis. *Fuel*, 93: 692 – 702.

Grubor, M., Krička, T., Jurišić, V., Matin, A., Bilandžija, N., Antonović, A., Voća, N. (2015) Iskoristivost slame žitarica za proizvodnju zelene energije, *Krmiva*, 57, 2: 63 – 68.

Grzesik, M., Janas, R., Romanowska–Duda, Z. B. (2011) Stimulating the growth and metabolic processes of the Virginia mallow (*Sida hermaphrodita*). *Problems in Agricultural Engineering* 4: 81 – 87.

Gullett, B. Seeker, R. (1997) Chlorinated Dioxin and Furan Control and Monitoring. Paper Presented at the ICCR Meeting. *Research Triangle Park*. NC.

Hartmann, H. (2009) Brennstoffzusammensetzung und -eigenschaften. In: Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.; Hofbauer, H. (Hrsg.) *Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren*. 2. Aufl. Heidelberg: Springer, S. 333 – 375.

Hartmann, H., Schmid, V., Link, H., von Puttkamer, T., Unterberger, S., Hering, T., Pilz, M., Thrän, D., Härdtlein, M. (2004) Verbrennung. In: Härdtlein, M.; Eltrop, L.; Thrän, D. (Hrsg.): *Voraussetzungen zur Standardisierung biogener Festbrennstoffe. Teil 1: Brennstoffeigenschaften, Auswirkungen und Einflussnahmemöglichkeiten. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Bd. 23. Münster: Landwirtschaftsverlag.*

Hodgson, E.M., Lister, S.J., Bridgwater, A., V., Clifton-Brown, J., Donnison, I.S. (2010) Genotypic and environmentally derived variation in the cell wall composition of *Miscanthus* in relation to its use as a biomass feedstock. *Biomass and Bioenergy*, 34: 652 – 660.

Holtz, T. (2006) Holzpellet – Heizungen. Ökobuch. Freiburg, Deutschland.

HRN EN 303-5:2012 Toplovodni kotlovi -- 5. dio: Kotlovi na kruto gorivo, ručno i automatski loženi, nazivne toplinske snage do 500 kW -- Nazivlje, zahtjevi, ispitivanje i označivanje (EN 303-5:2012)

Jelčić, B. (2016) Energetski potencijal peleta proizvedenih iz poljoprivredne biomase u Hrvatskoj. *Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet*.

Jenkins, B.M., Baxter, L.L., Miles, Jr. T.R., Miles, T.R. (1998) Combustion properties of biomass. *Fuel Processing Technology*, 54: 17 – 46.

Jones, J.M., Lea-Langton, A.R., Ma, L., Pourkashanian, M., Williams, A. (2014) *Pollutants Generated by the Combustion of Solid Biomass Fuels*. Springer-Verlag, London.

Jones, J.M., Lea-Langton, A.R., Ma, L., Pourkashanian, M., Williams, A. (2014) *Pollutants Generated by the Combustion of Solid Biomass Fuels*. Springer-Verlag, London.

Jørgensen, H., Bach, K. J., Felby, C. (2007) Enzymatic conversion of lignocellulose into fermentable sugars: challenges and opportunities. *Biofuels, Bioprod. Bioref.*, 1:119 – 134.

Jurišić, V. (2012) Optimizacija uvjeta visokosmicajne ekstruzije trave iz roda *Miscanthus* kao sirovine za proizvodnju bioetanol. *Doktorski rad*. Prehrambeno - biotehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska.

Jurišić, V., Bilandžija N., Krička, T., Leto, J., Matin, A., Kuže, I. (2014) Fuel properties' comparison of allochthonous *Miscanthus x giganteus* and autochthonous *Arundo donax* L.: a case study in Croatia. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 79: 7 – 11.

Kacprzak, M., Ociepa, A., Bień, J. (2010) The influence of soil fertilization on the amounts of ashes and contents of heavy metals in biomass ashes. *Archivum Combustionis*, 30 (3): 126 –131.

Katić, Z., Krička, T., Plietić, S. (1992) Seminar: Peletiranje i dorada krmnih smjesa, Zavod za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport, *Agronomski fakultet Zagreb*, Stubičke toplice.

Khan, A.A., de Jong, W., Jansens, P.J., Spliethoff, H. (2009) Biomass combustion in fluidized bed boilers: Potential problems and remedies. *Fuel processing technology*, 90: 21 – 50.

Krička, T. (2010) Potencijal proizvodnje energije iz biljnih ostataka u poljoprivredi i šumarstvu. *Završno izvješće VIP projekta*. Ministarstvo poljoprivrede, ribarstva i ruralnog razvitka.

Krička, T., Bilandžija, N., Jurišić, V., Voća, N., Matin, A. (2012) Energy analysis of main residual biomass in Croatia. *African Journal of Agricultural Research*, 7: 6383 – 6388.

Krička, T., Kiš, D., Jurišić, V., Bilandžija, N., Matin, A., Voća, N. (2014) Ostaci poljoprivredne proizvodnje kao visokovrijedni “zeleni” energent u istočnoj Hrvatskoj. Hrvatska Akademija znanosti i umjetnosti - Zagreb. *Zbornik radova Poljoprivreda i šumarstvo kao proizvođači obnovljivih izvora energije*, 143 – 152.

Krička, T., Voća, N., Jukić, T., Janušić, V., Matin, A. (2006) Iskustva u proizvodnji i iskorištavanju obnovljivih izvora energije u Europskoj uniji. *Krmiva*, 48: 49 – 54.

Krička, T., Voća, N., Tomić, F., Janušić, V. (2007) Experience in production and utilization of renewable energy sources in EU and Croatia, Zbornik radova: “*Integrated systems for agri-food production*“. Sibiu, 203 – 210.

Krzaczek, P., Szyszlak, J., Zarajczyk, J. (2006) Assessment of the influence of selected operating parameters of S071/B KRUK seeder on seeding *Sida hermaphrodita* Rusby seeds. *International Agrophysics* 20: 297 – 300.

Kujawski, J. L., Woolston, D., Englert, J. M. (1997) Propagation of Virginia Mallow (*Sida hermaphrodita* (L.) Rusby) from Seeds, Rhizomes (Virginia). *Restoration & Mgt Notes* 15 (2).

Kurucz, E., Antal, E., Gábor, F. M., Popp, J. (2014) Cost-effective mass propagation of Virginia fanpetals (*Sida hermaphrodita* L. Rusby) from seeds. *Environmental Engineering and Management Journal* Vol.13, No. 11 (<http://omicron.ch.tuiasi.ro/EEMJ/>)

Kuš, J., Matyka, M. (2010) Wybrane elementy agrotechniki roślin uprawianych na cele energetyczne (Selected aspects of the agrotechnology of plants cultivated for energy), [in:] Bocian P., Golec T. and Rakowski: Nowoczesne technologie pozyskiwania i energetycznego wykorzystania biomasy (Modern technologies for receiving and using biomass for energy), Warsaw, pp. 101 – 120.

Labudović, B. (2012) *Osnove primjene biomase*. Energetika marketing, Zagreb

Lange, J. P. (2007) Lignocellulose conversion: an introduction to chemistry, process and economics. *Biofuels, Bioprod. Bioref.*, 1: 39 – 48.

Lewandowski, I., Clifton-Brown, J.C., Andersson, B., Basch, G., Christian, D.G., Jorgensen, U., Jones, M.B., Riche, A.B., Schwarz, K.U., Tayebi, K., Texeira, F. (2003): Environment and harvest time affect the combustion qualities of *Miscanthus* genotypes. *Agronomy Journal*, 95: 1274 – 1280.

Mastilović, J., Janić Hajnal, E., Torbica, A., Pojić, M., Živančev, D., Kevrešan, Ž., Novaković, A. Radusin, T. (2011) Savremeni pristup upravljanu skladištem za zrnaste kulture. *Univerzitet u Novome Sadu*, Institut za prehrambene tehnologije.

Matin, A., Krička, T., Jurišić, V., Bilandžija, N., Kuže, I., Voća, N., Landeka, M. (2013) Kvalitativne i energetske promjene ploda lješnjaka u procesu konvekcijskog sušenja. *Krmiva*, 55: 11 – 19.

McKendry P. (2002) Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Biore-source Technology*, 83: 37 – 46.

Mrówczyński, M., Nijak, K., Pruszyński, G., Wachowiak, H. (2007) Zagrożenie roślin energetycznych przez szkodniki (Pest threats to energy plants). Postępy w ochronie roślin (*Progress in Plant Protection*), 47 (4): 347 – 350.

Nabel, M., Bueno, D., Barbosa, P., Horsch, D., Jablonowski, N.D. (2014) Energy crop (*Sida hermaphrodita*) fertilization using digestate under marginal soil conditions: adose-response experiment. *Energy Procedia*, 16, 14000.

Novković, D., Đević, M. (2000) Ostaci rezidbe u voćarstvu i vinogradarstvu kao izvor energije. *PTEP - Časopis za procesnu tehniku i energetiku u poljoprivredi*, 4: 51 – 53.

Nussbaumer, T. (2003) Combustion and Co-combustion of Biomass: Fundamentals, Technologies, and Primary Measures for Emission Reduction. *Energy & Fuels*, 17, No 6: 1510 – 21.

Nussbaumer, T. (2010) Overview on Technologies for Biomass Combustion and Emission Levels of Particulate Matter. *Swiss Federal Office for the Environment (FOEN)*, Zurich.

Nussbaumer, T., Hartmann, H. (2009) Automatisch beschickte Feuerungen. In: Kaltschmitt, M; Hartmann, H. (Hrsg.): *Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken, Verfahren*. Berlin: Springer Verlag, S. 345–363.

Obernberger, I. i Thek, G. (2004) Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour. *Biomass and Bioenergy*, 27: 653 – 669.

Obernberger, I., Hammerschmid, A. (2001) Biomasse-KWK mit ORC-Prozessen. In: *Biomasse KWK Tagung*. Leipzig.

Ogada, T. Werther, J. (1996) Combustion characteristics of wet sludge in fluidized bed: release and combustion of volatiles. *Fuel*, 75: 617 – 26.

Olesen, P.O., Plackett, D.V. (1999) Perspectives on the performance of natural plant fibres. *Proceedings of the International Conference Natural Fibres Performance Forum*. May 27-28. Copenhagen, Denmark.

Oleszek, M., Matyka, M., Lalak, J., Tys, J., Paprota, E. (2013) Characterization of *Sida hermaphrodita* as a feedstock for anaerobic digestion process. *Journal of Food, Agriculture & Environment* Vol.11 (3&4): 1839 – 1841.

Predojević, Z. (2010) Postupci pripreme lignocelulozne sirovine za dobivanje bietanola. Stručan rad. Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novome Sadu, Novi Sad. *Hem. ind.* 64: 283 – 310.

Pszczółkowska, A., Romanowska-Duda, Z., Pszczółkowski, W., Grezesik, M., Wysokinska, Z. (Neautorizirano). Biomass Production of Selected Energy Plants: Economic Analysis and Logistic Strategies. Vesita 10.2478/v10103-012-0018-6 Unauthenticated Download Date | 11/14/16 12:44 PM: 77 – 103.

Ražnjević, K. (1975) Termodinamičke tablice. Školska knjiga, Zagreb.

Remlein–Starosta, D. i Nijak, K. (2007) The Virginia mallow: preliminary results of research on the potential for protection against agrophages. *Progress in Plant Protection* 47 (4): 358 – 362.

Remlein-Starosta, D., Krzywińska, J., Kowalska, J., Bocianowski, J. (2016) Evaluation of yeast-like fungi to protect Virginia mallow (*Sida hermaphrodita*) against *Sclerotinia sclerotiorum*. *Canadian Journal of Plant Science*, 2016, 96 (2): 243 – 251.

Romanowska–Duda, Z. B., Grzesik, M., Piotrowski, K. (2009) Ecological Utilization of Sewage Sludge in Production of Virginia Fanpetals (*Sida hermaphrodita* Rusby): Biomass as the Source of Renewable Energy. *Proceedings of the 2nd International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE) and SECOTOX Conference*, Mykonos, edited by A. Kungolos, K. Aravossis, A. Karagiannidis, and P. Samaras, GRAFIMA Publishers, D. Gounari, 62–68, Thessaloniki, ISBN 978–960–6865–09–1, vol. III, p. 1261 – 1266.

Saastamionen, J.J. (1994) Fundamentals of biomass drying, pyrolysis and combustion. IEA. Biomass Combustion Conference. AII. Cambrige.

Saidur, R., Abdelaziz, E.A., Demirbas, A., Hossain, M.S., Mekhilef, S. (2011) A review on biomass as a fuel for boilers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15: 2262 – 2289.

Savchenko, M. I. i Dmitrashko, P. I. (1973) Seed structure of *Sida hermaphrodita* (L.) Rusby. *Bot. Zhurn.* 58: 570 – 576 (in Russian, English summary).

Slepetyš, J., Kadziulienė, Z., Sarunaite, L., Tilvikiene, V., Kryzeviciene, A. (2012) Biomass potential of plants grown for bioenergy production. *Renewable Energy and Energy Efficiency*, 66 – 72.

Sommersacher, P., Brunner, T., Obernberger, I., Kienzl, N., Kanzin, W. (2015) Combustion related characterisation of *Miscanthus* peat blends applying novel fuel characterisation. *Fuel* 158: 253 – 62.

Spliethoff, H. (2000) Verbrennung fester Brennstoffe zur Strom- und Wärmeerzeugung. Fortschritts-Bericht VDI, Reihe 6, Nr. 443.

Spooner, D. M., Cusick, A. W., Hall, G. F., Baskin, J. M. (1985) Observation on the distribu-

tion and ecology of *Sida hermaphrodita* (L.) Rusby (Malvaceae). *Sida* 11: 215 – 225.

Statistički ljetopis Republike Hrvatske (2015) ISSN 1333-3305.

Šljivac, D. i Šimić, Z. (2009) Obnovljivi izvori energije. Energija iz biomase, Osijek, Hrvatska.

Švaić, S. (2010) Podloge za predavanje - Obnovljivi izvori energije, *FSB*, Zagreb.

Telmo, C., Lousada, J., Moreira, N. (2010) Proximate analysis, backwards stepwise regression between gross calorific value, ultimate and chemical analysis of wood. *Bioresource Technology*, 101: 3808 – 3815.

Thomas, L. K. Jr. (1980) The decline and extinction of a rare plant species, Virginia mallow (*Sida hermaphrodita* (L.) Rusby) on National Park service areas. *Proc. Second Conf. Sci. Res. Natl. Parks. U.S.D.I.* 8: 60 – 75.

Thomas, L.K. Jr. (1979) Distribution and Ecology of *Sida hermaphrodita* (L.) Rusby: A rare plant species. *Bartonia*, No. 46: 51 – 59.

Thomsen, A.B., Rasmussen, S., Bohn, V., Vad Nielsen, K., Thygesen, A. (2005) Hemp raw materials: The effect of cultivar, growth conditions and pretreatment on the chemical composition of the fibres. *Risø-Report*. Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.

USDE - U.S. Department of Energy (2004) Understanding Biomass as a Source of Sugars and Energy. *Biomass Program*.

Van Loo, S. i Koppejan, J. (2008) The handbook of biomass combustion and cofiring. London – Sterling (VA), Earthscan. London, UK.

Vassilev, S.V., Baxter, D., Andersen, L.K., Vassileva, C.G. (2010) An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel*, 89: 913 – 933.

Voća, N. (2011) Energetska iskoristivost biomase i biogoriva u poljoprivredi 2. Interna skripta Zavoda za Poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport. *Agronomski fakultet Sveučilište u Zagrebu*. Zagreb, Hrvatska.

Werther, J. Saenger, M. Hartge, E.-U. Ogada, T. Siagi, Z. (2000) Combustion of agricultural residues. *Progress in Energy and Combustion Science*, 26: 1 – 27.

Wroblewska, A. i Kolasa. Z. (1986) Bee's yield from *Sida*. *Beekeeping Magazine*, 10: 6.

Popis slika

Naslovnica

Slika 1. <https://www.biogas-forum-bayern.de/>

Slika 2. <http://zelenipartner.eu/>

Slika 3. <http://www.centrometal.hr/c/kotlovi-na-pelet>

Priručnik

Slika 1.
Vlastiti arhiv

Slika 2.
<http://hort.uwex.edu/articles/reed-canary-grass-phalaris-arundinaces-management-guide>

Slika 3.
<https://auntiedogmasgardenspot.wordpress.com/tag/panicum-virgatum>

Slika 4.
https://www.gros.si/index.php?page_id=43

Slika 5.
<http://www.rictec.com.sg/dryer/belt-dryer/belt-dryer-sawdust-pellets-wood-chips-biomass.php>

Slika 6.
http://www.hxjqchina.com/pro/dryer_machine.html#

Slika 7.
https://www.gros.si/index.php?page=izdelki&page_id=70

Slika 8.
<http://zelenipartner.eu/>

Slika 9.
<http://www.ogreviverak.com>

Slika 10.
<http://lineta.rs/index.php?action=artikal&id=467&n=LINIJA%20N-MINI%20C>

Slika 11.
<http://www.feedmachinery.com>

Slika 12.
prospekt Dietz

Slika 13.
<http://www.stolz.fr>

Slika 14.
<http://www.cpm.net>

Slika 15.
Vlastiti arhiv

Slika 16.
http://nastava.sf.bg.ac.rs/pluginfile.php/5603/mod_resource/content/0/Vezbe/Microsoft_Word_-_Tipicne_tehnologije_za_sipkaste_i_plocaste_i_rasute_materi.pdf

Slika 17.
<http://www.wolfsystem.hr/Betonski-spremnici/Silos/Silos-za-biomasu>

Slika 18., 19., 20., 21., 22.
Vlastiti arhiv

Slika 23.
Dragičević, V. (2011) *Optimizacija ložišta za izgaranje biomase*. Sveučilište u Rijeci. Doktorska disertacija. Rijeka. Hrvatska.

Slika 24.
Nussbaumer, T. (2003) *Combustion and Co-combustion of Biomass: Fundamentals, Technologies, and Primary Measures for Emission Reduction*. Energy & Fuels, 17, No 6: 1510 – 21.

Slika 25.
http://www.oilon.com/uploadedFiles/Oilon/Materials/Oilon_FGR_EN.pdf

Slika 26.
<https://image.slidesharecdn.com/circulatingfluidizedbedboilercfbboilerhowdoesitworkanditsprinciple-120212072606-phpapp02/95/circulating-fluidized-bed-boiler-cfb-boiler-how-does-it-work-and-its-principle-68-728.jpg?cb=1366581241>

Slika 27.
http://senko.hr/wp-content/uploads/2016/07/P-20-WATERAIR_PC-7-265x265.jpg

Slika 28.
<http://www.ikoma.hr/content/product/image/senko-kamin-2284.jpg>

Slika 29.

http://www.ikoma.hr/content/product/image/senko-2280_antracit.jpg

Slika 30.

<http://gdenergy.be/assets/assets/6/doorsnede%20pellet.jpg>

Slika 31.

Gore: Švaić, S. (2010) Podloge za predavanje - Obnovljivi izvori energije, *FSB*, Zagreb.,

Dole: <http://www.centrometal.hr/eko-ck-p/>

Slika 32.

a: <http://www.centrometal.hr/c/kotlovi-na-pelet>,

b: www.CrossBorderBioenergy.eu,

c: Nussbaumer, T. (2010) Overview on Technologies for Biomass Combustion and Emission Levels of Particulate Matter. Swiss Federal Office for the Environment (FOEN), Zurich.

Slika 33.

www.CrossBorderBioenergy.eu

Slika 34., 35.

Švaić, S. (2010) Podloge za predavanje - Obnovljivi izvori energije, *FSB*, Zagreb.

Slika 36.

<http://www.centrometal.hr/wp-content/uploads/2012/05/SOLARNI-SUSTAVI-2013.pdf>

Slika 37., 38., 39., 40., 41.

Nussbaumer, T. (2010) Overview on Technologies for Biomass Combustion and Emission Levels of Particulate Matter. *Swiss Federal Office for the Environment (FOEN)*, Zurich.

Slika 42., 43.

Nussbaumer, T., Hartmann, H. (2009) Automatisch beschickte Feuerungen. In: Kaltschmitt, M; Hartmann, H. (Hrsg.): *Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken, Verfahren*. Berlin: Springer Verlag, S. 345–363.

Slika 44.

Fichtner GmbH & Co. KG, Stuttgart. (2000) In: FNR (Hrsg.): *Leitfaden Bioenergie*. Sonderpublikation des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BMELF) und der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR). Gülzow 2000.

Slika 45.

Nussbaumer, T., Hartmann, H. (2009) Automatisch beschickte Feuerungen. In: Kaltschmitt, M; Hartmann, H. (Hrsg.): *Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken, Verfahren*. Berlin: Springer Verlag, S. 345–363.

Slika 46., 47., 48., 49., 50., 51., 52.

Vlastiti arhiv

Slika 53.

Lijevo: Vlastiti arhiv;

Desno: Martin Klein Landwirtschaft/Energiepflanzen. Power point prezentacija: Die Pflanze *Sida hermaphrodita*

Slika 54., 55.

Vlastiti arhiv

Slika 56.

<http://www.energiepflanzen.com/en/energiepflanzen-miscanthus-pappel-weide-online-shop/sida-hermaphrodita-virginia-mallow-sidapflanze>

Slika 57.

Vlastiti arhiv

Slika 58.

Martin Klein Landwirtschaft/Energiepflanzen. Power point prezentacija: Die Pflanze *Sida hermaphrodita*

Slika 59., 60.

Vlastiti arhiv

Slika 61., 62, 63.

<http://www.energiepflanzen.com/hu/energiepflanzen-miscanthus-pappel-weide-online-shop/sidapflanze-sida-hermaphrodita-sida-east/>

Slika 64.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Coreus_marginatus,_Dock_Bug.jpg

Slika 65.

<http://ucanr.edu/blogs/bug squad/index.cfm?tagname=lygus%20bug>

Slika 66.

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sclerotinia_sclerotiorum_sclerotia_on_Phaseolus_vulgaris,_sclerotia%3%ABnrot_stamsperzieboon_\(1\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sclerotinia_sclerotiorum_sclerotia_on_Phaseolus_vulgaris,_sclerotia%3%ABnrot_stamsperzieboon_(1).jpg)

Slika 67.

<http://adlib.eversite.co.uk/adlib/defra/content.aspx?id=000IL3890W.18LWTVKBSSG3EF>

Slika 68.

<https://www.youtube.com/watch?v=dOcQ0FXKZYs>

Slika 69.

<http://biomassmagazine.com/articles/12309/from-blueprint-to-baler>

Slika 70.

Martin Klein Landwirtschaft/Energiepflanzen. Power point prezentacija: Die Pflanze *Sida hermaphrodita*

Slika 71.

<http://www.wnif.co.uk/2014/09/kuhn-front-mounted-shredder-for-biomass-harvesting/>

Slika 72.

http://farmindustrynews.com/farm-equipment/john-deere-launches-9rx-tractor-line-and-lot-more#slide-0-field_images-80041
