

Ana Matin, Tajana Krička, Mateja Grubor,
Josip Leto, Nikola Bilandžija, Neven Voća, Vanja Jurišić,
Krunoslav Zmaić, Darko Kiš, Ivan Kopilović

Iskoristivost posliježetvenih ostataka za proizvodnju zelene energije

VIP-projekt

Ana Matin i suradnici

Ovaj priručnik pisan je s ciljem utvrđivanja energetskog potencijala važnijih ratarskih kultura u Republici Hrvatskoj. Energetski potencijal koji se nalazi u njima, zasigurno je garancija dijela energetske neovisnosti i u budućnosti će utjecati na nju.

U ovome priručniku opisana je tehnologija uzgoja, dorade te skladištenja biomase najvažnijih ratarskih kultura (pšenice, raži, kukuruza i soje) kao sirovine u proizvodnji zelene energije...

Iz Predgovora

Iskoristivost posliježetvenih ostataka za proizvodnju zelene energije



ISBN 978-953-7871-75-8



9 789537 871758



Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Ana Matin i suradnici

Iskoristivost poslježetvenih ostataka
za proizvodnju zelene energije

Autori

Sveučilište u Zagrebu

Agronomski fakultet

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

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Prof.dr.sc. Krunoslav Zmaić
Prof.dr.sc. Darko Kiš

Izdavači

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Recenzentica

izv. prof. dr. sc. Sanja Kalambura,
Veleučilište Velika Gorica

P.T.O. AGRO CIBALAE

Ivan Kopilović, mag. ing. agr.

Grafičko oblikovanje, priprema za tisak i lektura:

Likarija d.o.o.

Objavlivanje ovog priručnika odobrilo je Fakultetsko vijeće Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku odlukom od 30. siječnja 2019. godine

ISBN 978-953-7871-75-8

CIP zapis je dostupan u računalnom katalogu Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem 001010918.



ZAHVALA

Zahvaljujemo Ministarstvu poljoprivrede što je kroz financiranje projekta „Potencijal proizvodnje zelene energije iz ostataka ratarske proizvodnje“ omogućilo tiskanje ovoga priručnika.

Ana Marin i suradnici

Iskoristivost posliježetvenih ostataka za proizvodnju zelene energije

PRIRUČNIK

VIP-projekt

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
Osijek, 2019.

Sadržaj

PREDGOVOR	7
1. UVOD	9
1.1. Energija biomase	9
2. ISTRAŽIVANE KULTURE	12
2.1. Pšenica	12
2.2. Raž	13
2.3. Kukuruz	14
2.4. Soja	15
3. ŽETVENI OSTACI RATARSKIH KULTURA	16
3.1. Žetveni indeks i omjer žetveni ostaci : zrno	16
3.2. Kako se pomoću žetvenog indeksa izračunava prinos žetvenih ostataka (slame)?	17
3.3. Dostupnost žetvenih ostataka i održiva razina korištenja za energetske svrhe	19
3.4. Procjena prinosa žetvenih ostataka	22
4. PROIZVODNJA BIOMASE IZ SLAME/KUKURUZOVINE	25
4.1. Slama i kukuruzovina kao biomasa	25
4.1.1. Sječka	26
4.1.2. Bale	26
4.2. Dorada i prerada čvrstih goriva	28
4.2.1. Peleti i briketi	28
5. SKLADIŠTENJE BIOMASE	34
5.1. Zaštitna tkanina za prekrivanje biomase	35
5.2. Nadstrešnica	35
5.3. Skladišni objekti	36
5.4. Podna skladišta	37
6. DORADA BIOMASE SUŠENJEM	38
6.1. Vrste sušara	39
6.2. Faze sušenja	40

7. SVOJSTVA BIOMASE KAO GORIVA I NJIHOVA KVALITETA	43
7.1. Lignocelulozni sastav biomase	46
7.2. Ogrjevna vrijednost biomase	47
7.3. Sadržaj vode	47
7.4. Sadržaj pepela	48
7.5. Fizikalno-mehanička svojstva biomase	50
7.5.1. Raspored veličine čestica i udio fine frakcije	50
7.5.2. Sipkost (sklonost formiranju mostova)	50
7.5.3. Nasipna (skladišna) gustoća	51
8. ENERGETSKI POTENCIJAL	52
8.1. Energetski potencijal P. T. O. AGRO CIBALAE	52
9. DIO OSVRTA NA VIP-PROJEKT „POTENCIJAL PROIZVODNJE ZELENE ENERGIJE IZ OSTATAKA RATARSKE PROIZVODNJE”	54
LITERATURA I POPIS SLIKA	55
Literatura	55
Popis slika	60
PRILOG – REALNI UVJETI NA P.T.O AGRO CIBALAE	61
1. Opis gospodarstva P. T. O. Agro Cibalae	61
1.1. Sortiment i način uzgoja na gospodarstvu	63
1.1.1. Merkantilni kukuruz	63
1.1.2. Merkantilna soja	69
1.1.3. Merkantilna pšenica	72
1.1.4. Merkantilna raž	76
2. Tehnologija sakupljanja i skladištenja žetvenih ostataka na P. T. O. Agro Cibalae	78
POPIS SLIKA	80

PREDGOVOR

Ovaj priručnik pisan je s ciljem utvrđivanja energetskeg potencijala važnijih ratarskih kultura u Republici Hrvatskoj. Energetski potencijal koji se nalazi u njima, zasigurno je garancija dijela energetske neovisnosti i u budućnosti će utjecati na nju.

U ovome priručniku opisana je tehnologija uzgoja, dorade te skladištenja biomase najvažnijih ratarskih kultura (pšenice, raži, kukuruza i soje) kao sirovine u proizvodnji zelene energije.

Posebna zahvala Ministarstvu poljoprivrede Republike Hrvatske koje je uz istraživanja za VIP-projekt „Potencijal proizvodnje zelene energije iz ostataka ratarske proizvodnje“ financiralo i ovaj priručnik. Također, zahvaljujemo P.T.O. AGRO CIBALAE na materijalnoj i financijskoj pomoći.

Autori najljepše zahvaljuju recenzentici ovog priručnika, izv. prof. dr. sc. Sanji Kalamburi s Veleučilišta u Velikoj Gorici, koja je uložila velik trud i vrijeme u recenziji priručnika.

Autori

1.

UVOD

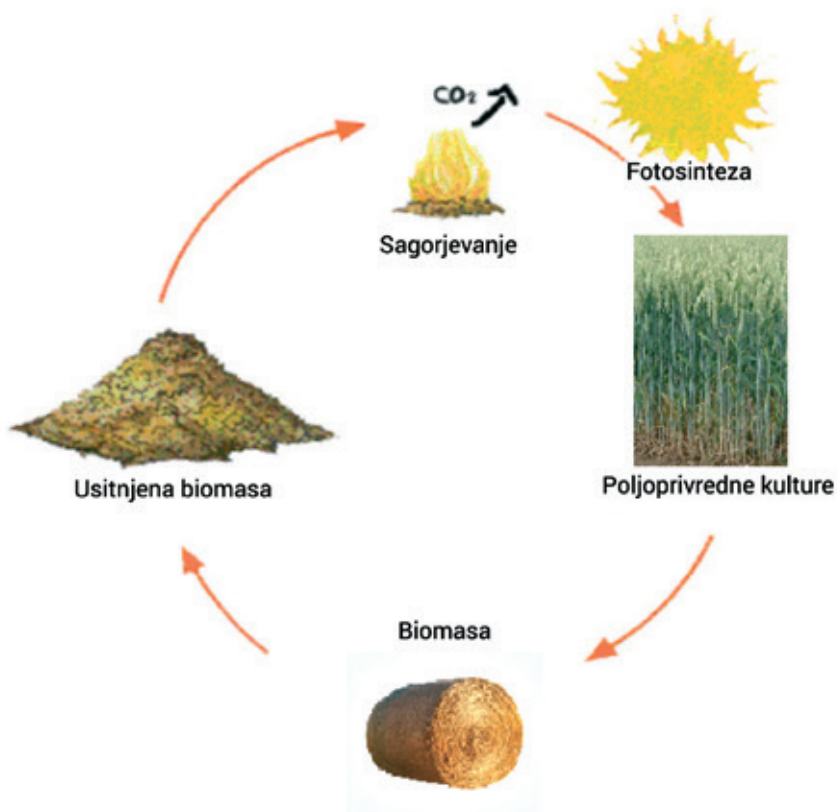
1.1. Energija biomase

Energija danas predstavlja jedan od najvažnijih pokazatelja ekonomskog i društvenog razvoja, a zbog smanjenja zaliha neobnovljivih izvora energije (poglavito nafte) zadnjih tridesetak godina Europska unija sve više koristi obnovljive izvore energije, a ponajviše biomasu.

Biomasa se smatra izvorom energije koja se bitno razlikuje od nekarbonskih izvora energije (npr. vjetar). Ona može dati energiju sličnu energiji koja se koristi iz postojećih fosilnih goriva. Koncept procjene biomase znatno je napredovao zahvaljujući direktivi RED 2009/208/EC. Naime, prilikom procjene biomase, na početku se biomasa planirala na vrijednostima potencijalne biomase, poslije je bila bazirana na vrijednostima raspoložive biomase, a sad se prema direktivi RED bazira na vrijednostima „održive biomase“, jer nije sva raspoloživa biomasa održiva (Riva i sur., 2011).

Upotreba biomase obuhvaća različite proizvode biljnog i životinjskog porijekla. Upotreba biomase ne ubrzava proces klimatskih promjena jer biljke koriste CO_2 tijekom rasta i pohranjuju ga u svoje dijelove, a kod spaljivanja pohranjena količina CO_2 ispusti se u atmosferu iz koje ga druge biljke koriste za rast. Na taj način zatvara se krug očuvanja CO_2 i temeljem toga biomasa se naziva „ CO_2 neutralno gorivo“ (Slika 1.) (Domac i sur., 2001).

Najznačajniji udio goriva dobivenih od ukupne biomase imaju čvrsta goriva. Čvrsta goriva predstavljaju goriva od biomase koja su u trenutku energetske korištenja u čvrstom stanju (Eltrop i sur., 2014). U skupinu čvrstih goriva pripadaju šumski ostaci, slama i sijeno ratarskih kultura, rezidbeni ostaci, pa čak i drveni ugljen, kao i energetske kulture. Biomasa je obnovljivi izvor ener-

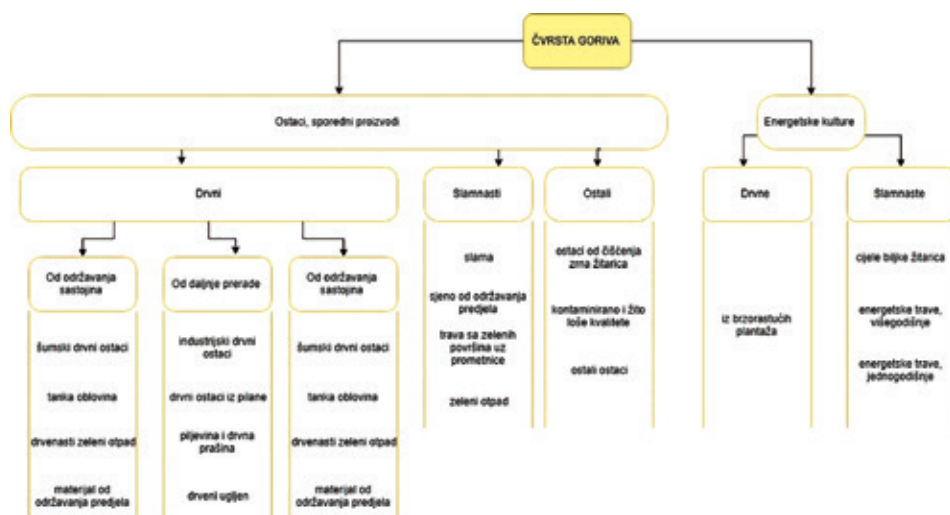


Slika 1. Krug očuvanja CO₂ (Izvor: vlastita arhiva)

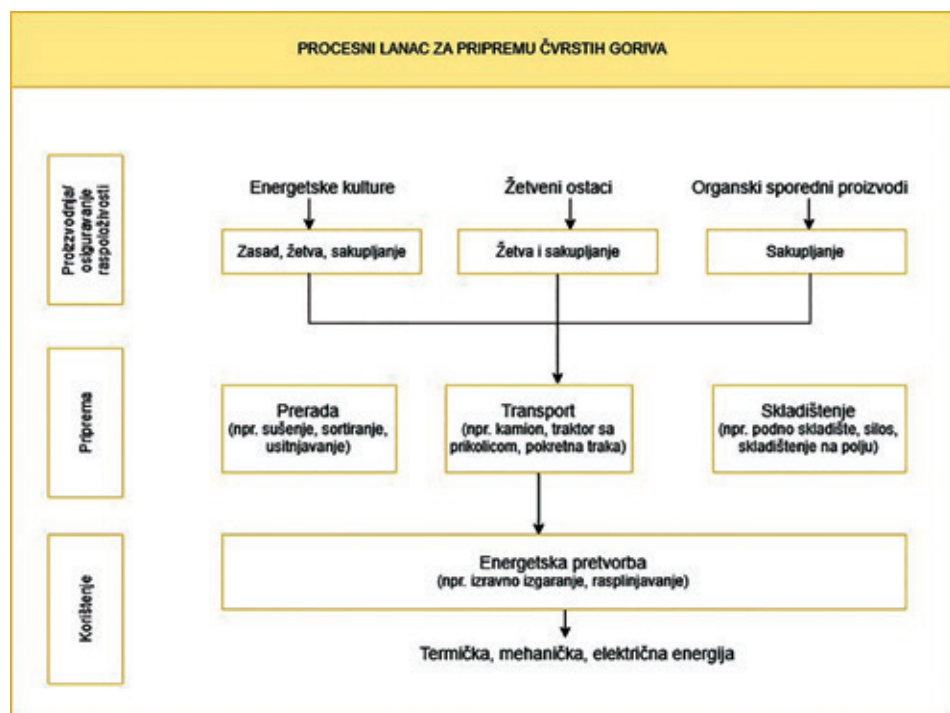
gije koji se može neposredno pretvarati u energiju izgaranjem. Kod toga se može proizvesti, pomoću topline, vodena para za zagrijavanje u industriji i domaćinstvima, kao i električna energija u malim termoelektranama. Na Slici 2. prikazane su vrste čvrstih goriva.

Kod biomase za energetske korištenje postoji razlika između poljoprivrednih i šumskih goriva. Za razliku od energetskih kultura, poljoprivredni i šumski ostaci nastaju kao nusproizvod konvencionalne proizvodnje. Zbog toga ih treba ispravno pripremiti za daljnje korištenje. Na Slici 3. prikazani su procesni lanci za pripremu čvrstih goriva.

UVOD



Slika 2. Vrste čvrstih goriva (Izvor: Hartmann, H. (2009))



Slika 3. Procesni lanac pripreme čvrstih goriva (Izvor: Hartmann, H. (2009))

2.

ISTRAŽIVANE KULTURE

2.1. Pšenica

U svjetskim razmjerima pšenica je najvažnija krušna žitarica i uzgaja se na najviše poljoprivrednih površina. Prema FAOSTAT 2017. pšenica se u svijetu uzgaja na više od 200 milijuna hektara i ostvaruju se prosječni prinosi zrna oko 3 t/ha (Tablica 1.). U EU, najniži prinosi bilježe se u Portugalu (1,6 t/ha), a najveći u Irskoj 8,8 t/ha (Ecofys, 2016).

Prema Statističkom ljetopisu Republike Hrvatske 2016. (Tablica 2.) površine pod pšenicom u Hrvatskoj rasle su od 2011. do 2013. godine, a zatim se u idućim godinama dogodio pad površina na kojima se uzgajala ova važna kultura (140 986 ha 2015. godine). Prosječni prinosi zrna kretali su se od 4,2 do 5,4 t/ha, ovisno o godini. Suvremene sorte imaju znatno veći potencijal rodnosti (7 do 8,5 t/ha) od ostvarenih prosječnih prinosa. Genetski potencijal nekih sorata prelazi čak 11 t/ha zrna (Pospišil, 2010).

Tablica 1. Površine i prosječan prinos pšenice u svijetu

Godina	Površina, ha	Prosječan prinos zrna, t/ha	Proizvodnja zrna, t
2010.	215 950 877	2,97	641 909 115
2011.	220 415 913	3,16	697 498 974
2012.	219 136 103	3,07	672 738 866
2013.	218 063 004	3,26	710 957 970
2014.	220 417 745	3,31	729 012 175

Izvor: FAOSTAT, 2017.

Tablica 2. Požnjevene površine i prosječan prinos pšenice u Hrvatskoj

Godina	Površina, ha	Prosječan prinos zrna, t/ha	Proizvodnja zrna, t
2011.	149 797	5,2	782 499
2012.	186 949	5,3	999 681
2013.	204 506	4,9	998 940
2014.	156 139	4,2	648 917
2015.	140 986	5,4	758 638

Izvor: Statistički ljetopis Republike Hrvatske, 2016.

2.2. Raž

Uz pšenicu, raž je važna krušna žitarica, osobito u zemljama sjevera Europe i Ruskoj Federaciji (Pospišil, 2010). U zelenom stanju može se koristiti i kao voluminozna stočna krma. Zrno raži koristi se u industriji alkohola (viski), octa i škroba. Prema FAOSTAT 2017. raž se u svijetu uzgaja na više od 5 milijuna hektara i ostvaruju se prosječni prinosi zrna oko 2,7 t/ha (Tablica 3.). Zemlje s visokim prinosisima raži (>4,8 t/ha) su Danska, Francuska, Njemačka, Velika Britanija, Belgija, Švedska, a zemlja s najvećim prinosisom zrna je Velika Britanija s prinosisom zrna od 9,6 t/ha (Ecofys, 2016). U Hrvatskoj raž ima manju važnost s obzirom da se uzgaja na svega 2 do 3 tisuće ha s prosječnim prinosisom 2 do 3 t/ha zrna (Pospišil, 2010).

Tablica 3. Površine i prosječan prinos raži u svijetu

Godina	Površina, ha	Prosječan prinos zrna, t/ha	Proizvodnja zrna, t
2010.	5 023 355	2,38	11 940 558
2011.	5 122 932	2,55	13 069 838
2012.	5 277 187	2,75	14 506 436
2013.	5 749 564	2,90	16 660 942
2014.	5 306 588	2,87	15 242 551

Izvor: FAOSTAT, 2017.

2.3. Kukuruz

Kukuruz je uz rižu i pšenicu najčešće uzgajana poljoprivredna kultura u svijetu. Uglavnom se koristi u stočarstvu, kao suho zrno ili silaža cijele biljke. Koristi se također i u prehrani ljudi (kokičar, šećerac, kukuruzna krupica ili brašno, amilopektin, škrob, klice za ulje itd.). Prema FAOSTATU, 2017. kukuruz se u svijetu uzgaja na preko 180 milijuna hektara (Tablica 4.), a prosječni prinosi zrna su oko 5 t/ha. U EU, najniži prinos kukuruza dobiven je u Rumunjskoj (3,6 t/ha), a zemlja s najvećim prinosima kukuruza je Nizozemska (11,8 t/ha) (Ecofys, 2016).

U Hrvatskoj je kukuruz najraširenija ratarska kultura. Prema Statističkom ljetopisu Republike Hrvatske 2016. (Tablica 5.) površine pod ovom kulturom u znatnom su padu, a ostvareni prosječni prinosi zrna (6,2 t/ha) znatno su ispod genetskog potencijala ove biljke. Napredni proizvođači u istočnoj Hrvatskoj ostvaruju prinos zrna i do 16 t/ha (Pospišil, 2010).

Tablica 4. Površine i prosječan prinos kukuruza u svijetu

Godina	Površina, ha	Prosječan prinos zrna, t/ha	Proizvodnja zrna, t
2010.	163 936 262	5,19	851 300 904
2011.	171 272 148	5,18	886 921 987
2012.	178 571 700	4,89	873 151 716
2013.	185 599 969	5,46	1 014 274 722
2014.	184 800 969	5,62	1 037 791 518

Izvor: FAOSTAT, 2017.

Tablica 5. Požnjevene površine i prosječan prinos kukuruza u Hrvatskoj

Godina	Površina, ha	Prosječan prinos zrna, t/ha	Proizvodnja zrna, t
2011.	305 130	5,7	1 733 664
2012.	299 161	4,3	1 297 590
2013.	288 365	6,5	1 874 372
2014.	252 567	8,1	2 046 966
2015.	263 970	6,5	1 709 152

Izvor: Statistički ljetopis Republike Hrvatske, 2016.

2.4. Soja

Jedna od najvažnijih kultura za proizvodnju bjelančevina i ulja u svijetu je soja. Koristi se u prehrani ljudi (ulje, brašno, klice, tofu-sir, sojino mlijeko, sojin umak i drugo) i životinja (sačma, pogača, brašno). Proizvodnja soje u svijetu stalno raste. Prema FAOSTATU 2017. ukupne površine pod sojom u svijetu prelaze 117 milijuna hektara, a prosječan prinos zrna je oko 2,5 t/ha (Tablica 6.). U Hrvatskoj proteklih godina raste interes za uzgoj ove kulture. Po podacima Statističkog ljetopisa Republike Hrvatske 2016. (Tablica 7.) u 2015. godini bilo je skoro 89 tisuća hektara pod sojom, a prosječni prinosi su oko 2,3 t/ha, dakle na razini svjetskog prosjeka, iako genetski potencijal soje doseže i do 7 t/ha (Pospišil, 2010).

Tablica 6. Površine i prosječan prinos soje u svijetu

Godina	Površina, ha	Prosječan prinos zrna, t/ha	Proizvodnja zrna, t
2010.	102 845 912	2,58	264 959 401
2011.	103 861 188	2,52	261 624 261
2012.	105 477 217	2,29	241 732 260
2013.	111 161 196	2,50	277 679 429
2014.	117 549 053	2,61	306 519 256

Izvor: FAOSTAT, 2017.

Tablica 7. Požnjevene površine i prosječan prinos soje u Hrvatskoj

Godina	Površina, ha	Prosječni prinos zrna, t/ha	Proizvodnja zrna, t
2011.	58 896	2,5	147 271
2012.	54 109	1,8	96 718
2013.	47 156	2,4	111 316
2014.	47 104	2,8	131 424
2015.	88 867	2,2	196 431

Izvor: Statistički ljetopis Republike Hrvatske, 2016.

3.

ŽETVENI OSTACI RATARSKIH KULTURA

Slama se obično smatra nusproizvodom u uzgoju žitarica i predstavlja značajan resurs u područjima u kojima se žitarice uzgajaju na velikim površinama. Dio slame tradicionalno se koristi kao stočna hrana i prostirka u stočarskoj proizvodnji, ali slama se sve više koristi i za proizvodnju bioenergije. U Danskoj udio slame koji se koristi u tu svrhu stalno raste, prvenstveno za izgaranje i proizvodnju toplinske i električne energije (Larsen i sur., 2012). Procjenjuje se da je u Danskoj prosječno 30% ukupne slame u razdoblju od 2006. do 2010. iskorišteno u energetske svrhe, 32% u stočarstvu, a 38% je ostalo na polju (Statistics Denmark, 2011). S obzirom na sve veći interes za obnovljivu energiju, može se očekivati povećanje potražnje za sve resurse biomase, uključujući i druge žetvene ostatke. Sve veći dio trenutno neiskorištenih žetvenih ostataka u budućnosti će se moći iskoristiti u energetske svrhe (Schjønning i sur., 2009; Powlson i sur., 2011) uz preduvjet očuvanja kvalitete tla i vraćanja organske tvari u tlo.

Svejedno koristi li se slama i žetveni ostaci u stočarstvu, za proizvodnju bioenergije ili za održavanje ugljika u tlu, interes je povećati prinos (resurs) slame. Dakle, prinos slame po hektaru može se povećavati, sve dok to ne utječe negativno na prinos zrna i rentabilnost proizvodnje žitarica.

3.1. Žetveni indeks i omjer žetveni ostaci : zrno

Pojam “žetveni indeks (HI)” koristi se u poljoprivredi za kvantificiranje prinosa onog dijela biljke zbog kojeg se ona uzgaja (zrno, gomolj ili voće) u odnosu na ukupnu količinu proizvedene biomase (biološki prinos). Žetveni indeks može jednako vrijediti za omjer prinosa i ukupne nadzemne i podze-

mne biomase, ali se nadzemna biomasa češće koristi u izračunu jer je masu korijena teško utvrditi.

Utvrđena je pozitivna korelacija žetvenog indeksa i prinosa zrna i negativna korelacija žetvenog indeksa i biološkog prinosa ječma, pšenice, raži, zobi i soje (Snyder i Carlson, 1984; preuzeto iz Frageria i sur., 2006).

U Tablici 8. prikazani su žetveni indeksi pšenice, raži, kukuruza i soje prema literaturnim navodima.

Tablica 8. Žetveni indeksi pšenice, raži, kukuruza i soje prema literaturnim navodima

Kultura	Žetveni indeks	Literaturni navod
Pšenica	0,33-0,61	Dai i sur., 2016
	0,4-0,56	Wnuk i sur., 2013
	0,46-0,49	Chen i sur., 2014
	0,66	Larsen i sur., 2012
	0,4-0,47	Snyder i Carlson, 1984 (preuzeto iz Sparks, 2005)
	0,41-0,45	Lopez-Bellido i sur., 2000 (preuzeto iz Sparks, 2005)
Raž	0,44	Ellen, 1993
	0,62	Larsen i sur., 2012
Kukuruz	0,49-0,52	Chen i sur., 2014
	0,47-0,53	Chakwizira, 2016
	0,52	Di Matteoa i sur., 2016
	0,5	Cox i Cerney, 2001 (preuzeto iz Sparks, 2005)
Soja	0,38	Krisnawati i Muchlish, 2015
	0,5-0,54	Spaeth i sur., 1984
	0,56-0,58	Pedersen i Lauer, 2004
	0,44-0,45	Daraz i sur., 2004
	0,37-0,45	Rao i Bhagsari, 1998 (preuzeto iz Sparks, 2005)
	0,42	Cui i Yu, 2005

3.2. Kako se pomoću žetvenog indeksa izračunava prinos žetvenih ostataka (slame)?

Za razliku od prinosa zrna, prinos slame rijetko se kvantificira. Stoga se kod procjene ovog resursa prinos slame računa kao umnožak prinosa zrna i čimbenika koji se temelji na omjeru slame i zrna (Edwards i sur., 2005; Gauder i sur., 2011; Statistics Denmark, 2011).

$$\frac{\text{prinos zrna}}{\text{žetveni indeks}} = \frac{\text{prinos slame}}{(1 - \text{žetveni indeks})}$$

$$\text{prinos slame} = \text{prinos zrna} \times \frac{1 - \text{žetveni indeks}}{\text{žetveni indeks}}$$

odnosno

$$\text{prinos slame} = \text{prinos zrna} \left(\frac{t}{ha} \right) \times \frac{\text{slama}}{\text{zrno}}$$

Glavni čimbenik za utvrđivanje prinosa žetvenih ostataka usjeva je **omjer žetveni ostaci : zrno**, koji samo opisuje odnos između biomase koja se uzgaja kao glavni proizvod i ostatka. Taj omjer još uvijek ne pokazuje koliko je žetvenih ostataka (slame) tehnički dostupno, kao ni kvalitetu ostataka za pretvorbu u neki oblik obnovljive energije. Omjer žetveni ostaci : zrno za različite usjeve prikazan je u Tablici 9.

Tablica 9. Omjer žetveni ostaci : zrno za različite kulture

Vrsta	Žetveni ostaci (slama) : zrno (omjer)
Pšenica	0,8 : 1,6
Raž	0,9 : 1,6
Kukuruz	0,9 : 1,2
Ječam	0,8 : 1,3
Zob	0,9 : 1,4
Uljana repica	1,4 : 2,0
Suncokret	2,2 : 3,2

Izvor: Patterson i sur., 1995; Nikolaou i sur., 2003; Christou i sur., 2007; Scarlat i sur., 2010; preuzeto iz Ecofys, 2016.

Odnos između žetvenih ostataka i glavnog proizvoda vrlo je specifičan za vrstu usjeva i sortu/kultivar. Vrlo je teško procijeniti ovaj omjer, jer je pod utjecajem klimatskih uvjeta i agrotehnike (obrada tla, gustoća sjetve, gnojidba itd.) (Patterson i sur., 1995). Nepovoljni poljski uvjeti i stres, poput nedovoljnih hranjivih tvari i vode čimbenici su koji mogu smanjiti indeks žetve (Johnson i sur., 2006; Scarlat i sur., 2013; Wilhelm i sur., 2004). Količine i vrste gnojiva i/ili kemikalija za skraćivanje slame, također, utječu na odnos između ostataka usjeva i zrna (Larsen i sur., 2012).

3.3. Dostupnost žetvenih ostataka i održiva razina korištenja za energetske svrhe

U hrvatskoj javnosti stvara se dojam da će se korištenjem žetvenih ostataka ratarskih kultura za energetske svrhe dodatno smanjiti ionako siromašan sadržaj organske tvari u našim tlima. No, postavlja se pitanje: “Zašto su naša tla siromašna organskom tvari iako se u RH žetveni ostaci ratarskih kultura ionako ne koriste za dobivanje energije?” Na tlima na kojima se zaoravaju žetveni ostaci, a osobito kruti stajski gnoj, ovakvih problema nema ili nisu u tolikoj mjeri izraženi. Korištenjem jednog dijela poljoprivrednih ostataka (30 do 50% nadzemne biomase) dobit će se znatne količine sirovine za proizvodnju obnovljive energije, a dio biljne mase koji ostane dat će dovoljno organske tvari za popravljivanje tla. Ne smije se zaboraviti da se u obračun najčešće ne uzima znatna količina korijenovog sustava koja ionako ostaje u tlu nakon žetve, kao i dio nadzemne biomase do visine košnje, s obzirom da se žetva obavlja najčešće na 10 do 30 cm iznad tla.

U područjima gdje se uzgaja puno žitarica, velike količine slame ostavljene na površini tla mogu ponekad predstavljati problem kod zaoravanja. U tim područjima trebala bi postojati mogućnost uklanjanja slame ili drugih žetvenih ostataka za alternativne namjene uz održavanje optimalne razine organske tvari u tlu. Međutim, prije ove preporuke potrebno je razmotriti utjecaj ove prakse na prinos usjeva i svojstva tla. Različite agrotehničke opcije, kao što je *no-tillage* (sjetva usjeva bez obrade tla), odabir usjeva u plodoredu i širina plodoreda te odgovarajuća gnojidba mogu se koristiti za povećanje razine organske tvari u tlu, što bi moglo ublažiti ili poništiti potencijalno negativan utjecaj uklanjanja dijela žetvenih ostataka s polja u svrhu proizvodnje obnovljive energije (Ecofys, 2016).

Dostupnost žetvenih ostataka za energetske korištenje ograničena je zbog očuvanja plodnosti tla i smanjenja rizika od erozije (Christou i sur., 2007; Nikolaou i sur., 2003; Patterson i sur., 1995) kao i zbog drugih načina korištenja (stočna hrana, organska gnojiva itd).

Na prinos slame (žetvenih ostataka) utječu mnogi čimbenici, uključujući dostupnost vode i dušika, normu i datum sjetve, tretman fungicidima, metodu žetve i sakupljanja. Scarlet i sur. (2010) također potvrđuju da prinos žetvenih ostataka ovisi o nizu čimbenika poput: vrste usjeva, plodoreda, smjese usjeva, poljoprivredne prakse, vremenskih uvjeta, navodnjavanja, dostupnosti vlage, temperature, tla itd. Pored ekoloških ograničenja i ekonomskih razloga, dostupnost žetvenih ostataka za proizvodnju bioenergije ovisi i o drugim konku-

rentskim primjenama: zaoravanje u tlo, hrana i prostirka za životinje, uzgoj gljiva, površinsko malčiranje u hortikulturi i industrijske namjene. Žetveni ostaci često se zaoravaju u tlo kao zaštita od erozije, gnojivo i poboljšivač strukture tla. Slama za površinsko malčiranje također je vrijedna opcija u kontroli erozije tla u kombinaciji s *no tillage* ili konzervacijskom obradom tla. Pšenična slama koristi se kao supstrat za proizvodnju gljiva, zajedno s gnojem konja ili peradi. Slama se također može koristiti u industriji za proizvodnju pulpe i papira ili kao izolacijski materijal u građevinarstvu. Ipak, industrijska uporaba slame procijenjena je na vrlo mali udio (oko 1,5%) ukupne proizvodnje (Ecofys, 2013).

Upotreba slame u stočarstvu najvažnija je konkurentna upotreba slame i kukuruzovine, uglavnom za hranidbu životinja i prostirku. Slama se obično koristi kao prostirka za goveda, konje i svinje, pa čak i kao stočna hrana. Potencijal kukuruzovine u hranidbi stoke, može biti značajan, iako je njezina hranjiva vrijednost niska. Količina upotrijebljene slame u stočarstvu ovisi o dostupnosti slame, vrsti stočarske proizvodnje i načinu držanja životinja te o tome koliko dugo životinje ostaju u zatvorenom prostoru.

U područjima s niskim sadržajem ugljika u tlu postoji veća potreba za zaoravanjem žetvenih ostataka u tlo. Međutim, u područjima s visokim statusom ugljika u tlu, više žetvenih ostataka može se iskoristiti za proizvodnju obnovljive energije.

Održiva razina korištenja slame (žetvenih ostataka) različitih usjeva za energetske svrhe prikazana je u Tablici 10.

Tablica 10. Održiva razina korištenja žetvenih ostataka različitih kultura u energetske svrhe

Vrsta usjeva	Održiva razina korištenja u energetske svrhe (%)
Pšenica	40
Raž	40
Ječam	40
Zob	40
Kukuruz	50
Uljana repica	50
Suncokret	50

Izvor: Scarlet i sur., 2010

Razina korištenja žetvenih ostataka u energetske svrhe varira ovisno o kombinaciji različitih čimbenika: prvenstveno agrotehničkih zahvata (plodored, obrada tla, gnojidba, zaštita usjeva), ograničenja u opremi za žetvu (Wilhelm i sur., 2004), vrsti biljaka i visini žetve, prinosima, ekološkim zahtjevima usjeva, dostupnosti vode (Patterson i sur., 1995), klimi (vjetar, količina i raspored oborine) i odlikama tla (organska tvar, ugljik u tlu, vlaga tla, topografija, nagib, rizik od erozije) (Panoutsou i sur., 2009; Scarlat i sur., 2010). Omjer žetvenih ostataka i zrna, kao i proizvodni sustav također utječu na postotak korištenja žetvenih ostataka u energetske svrhe.

Najvažniji čimbenici koji utječu na postotak žetvenih ostataka koji će se s polja uzeti u energetske svrhe su:

- agrotehnika (plodored, obrada tla, gnojidba, zaštita usjeva)
- specifični uvjeti lokacije uzgoja (tlo i klima)
- strojevi za žetvu (visina žetve)
- sorta/kultivar (omjer žetveni ostatak : zrno).

Prema Panoutsou i sur. (2009) od ukupnih poljoprivrednih ostataka proizvedenih u zapadnoeuropskim zemljama, 48% se iskorištava u neenergetske svrhe (npr. hranidbi životinja) ili u tradicionalnim energetske korištenjima, a daljnjih 40 do 45% neiskorištenih ostataka ne može se iskoristiti zbog raznih tehničkih i/ili ekonomskih razloga (Panoutsou i sur., 2009). Druga istraživanja pokazuju da je samo oko 35% ostataka kukuruza u konvencionalnoj poljoprivredi dostupno za korištenje. U slučaju reducirane obrade tla, mogu se dobiti veći postoci žetvenih ostataka za druge namjene (Johnson i sur., 2006; Scarlat i sur., 2013). U slučaju uzgoja ratarskih kultura bez obrade tla (*no tillage*), 68 do 75% kukuruznih ostataka može biti dostupno za energetske svrhe, pa čak do 76 do 82% (Johnson i sur., 2006; Scarlat i sur., 2010).

Većina žetvenih operacija ostavlja žetvene ostatke na tlu nakon žetve zrna. Prikupljanje takvih ostataka zahtijeva višefazne operacije i gaženje tla prohodima mehanizacije i rezultira u prosjeku s ne više od 40% prikupljenih ostataka (kukuruzovine, slame). U nekim uvjetima moguće je prikupiti čak 60 do 70% kukuruzovine uz trenutno dostupnu opremu. Međutim, ova razina sakupljanja ostataka ekonomski je ili ekološki prihvatljiva jedino ako je proizvodnja bez obrade tla, a prinosi vrlo visoki. Predviđa se da će se u budućnosti tehnologijom sakupljanja rezidua moći sakupiti do 75% žetvenih ostataka (Ecofys, 2016). To će biti vjerojatno jednofazni sustavi (s jednim prolazom) s istovremenim prikupljanjem zrna i ostataka, što će znatno smanjiti troškove. Nadalje, jednofazni sustavi istovremene žetve kukuruzovine i zrna trebaju imati selektivnu mogućnost žetve, tako da se jedan dio žetvenih ostataka može

ostaviti na polju kako bi se zadovoljili zahtjevi očuvanja plodnosti tla (Perlack i sur., 2005).

Za razumijevanje mogućnosti povećanja proizvodnje slame, važno je provesti kvantitativna mjerenja prinosa slame na specifičnim kultivarima i vrstama u različitim uvjetima uzgoja (Larsen i sur., 2012). Na prinos slame mogu utjecati mnogi čimbenici, uključujući dostupnost vode (Jamal i sur., 1996; Engel i sur., 2003), dostupnost dušika (Engel i sur., 2003; Thomsen i sur., 2003), datum sjetve i sjetvena norma (Donaldson i sur., 2001), tretman fungicidima (Jørgensen i sur., 2002), kao i kultivar (Engel i sur., 2003; Donaldson i sur., 2001; Jørgensen i sur., 2002) i, svakako, biljna vrsta. Oplemenjivanje žitarica ima prvenstveno cilj povećanje prinosa zrna. Osim toga, dužina slame je smanjena, vjerojatno kao posljedica povećanja preusmjerenja hranjivih tvari u zrno, ali i kako bi se izbjeglo polijeganje biljke. Čak i među novim kultivarima s visokim prinosom zrna, mogu biti znatne razlike u dužini slame (Larsen i sur., 2012). Odabir kultivara s većim prinosom slame bez negativnih učinaka na prinos zrna, može biti sredstvo povećanja ukupnog resursa slame (Larsen i sur., 2012).

3.4. Procjena prinosa žetvenih ostataka

U normalnim okolnostima prinosi ratarskih kultura, a i općenito poljoprivrednih vrsta, variraju iz godine u godinu, što dovodi i do varijacija u prinosu žetvenih ostataka. Među žitaricama kukuruz, pšenica i raž imaju najveći omjer žetveni ostaci : zrno, pa posljedično i najveći omjer prinos slame : prinos zrna među svim žitaricama. To ukazuje na činjenicu da su prinos zrna i omjer žetveni ostatak : zrno dva vrlo važna čimbenika za određivanje prinosa ostatka određenog usjeva. Čimbenici koji utječu na prinos usjeva, kao i na omjer ostaci : zrno, konačno utječu i na prinos ostataka. Ostatak rezidua kukuruza veći je od ostalih žitarica, što je uglavnom posljedica visokog prinosa kukuruza i visokog omjera ostaci : zrno (Ecofys, 2016).

Prinos ostataka uljane repice i suncokreta niži je od kukuruza. Unatoč niskom prinosu repice i suncokreta, prinos žetvenih ostataka i dalje je visok. To je uglavnom posljedica velikog omjera ostaci : zrno za uljarice u usporedbi sa žitaricama (Ecofys, 2016).

Prinos ostatka šećerne repe veći je od žitarica. Unatoč najnižem omjeru ostaci : korijen šećerne repe, prinos ostatka je i dalje visok, zbog najvećeg prinosa među svim usjevima.

Usjevi s niskim omjerom rezidua i glavnog produkta mogu se dodatno poboljšati odabirom kultivara s visokim omjerom, bez ugrožavanja prinosa zrna/glavnog produkta. Druga važna komponenta za povećanje prinosa ostataka povećanje je prinosa usjeva, boljom agrotehnikom, pogotovo u zemljama koje bilježe najniže prinose.

Prinos ostataka po hektaru (t/ha) za svaku kulturu izračunat je uzimanjem omjera ostaci : zrno (glavni produkt) i množenjem s niskim, srednjim i visokim stvarnim prinosom usjeva (Tablica 11.).

Tablica 11. Procjena prinosa žetvenih ostataka za različite kulture

Kultura	Srednji omjer (ostaci / zrno)	Trenutni prinosi zrna/ glavnog produkta (t/ha)			Prinos žetvenih ostataka (t/ha)		
		Niski	Srednji	Visoki	Niski	Srednji	Visoki
Pšenica	0,9	1,64	4,03	8,78	1,48	3,63	7,90
Ječam	0,8	1,60	5,27	7,96	1,28	4,22	6,37
Raž	0,9	0,94	6,25	9,60	0,85	5,63	8,64
Zob	0,8	0,96	4,70	7,40	0,77	3,76	5,92
Kukuruz	1,0	3,60	7,86	11,75	3,60	7,86	11,75
Uljana repica	1,5	1,50	2,75	4,00	2,25	4,13	6,00
Suncokret	2,3	0,56	1,70	2,60	1,29	3,91	5,98
Šećerna repa	0,23	18,70	37,40	85,30	4,30	8,60	19,62

Izvor: Ecofys, 2016.

Prinos slame pšenice po ovoj kalkulaciji iznosio bi 1,48 t/ha, 3,62 t/ha i 7,90 t/ha, s niskim, srednjim i visokim stvarnim prinosima. Ukoliko se u Hrvatskoj uzme da je prosječan prinos zrna od 5 t/ha i pomnoži ga se s prosječnim omjerom ostaci : zrno, koji za pšenicu iznosi 0,9, dobiva se prinos slame od 4,5 t/ha. Naravno, kod uspješnijih proizvođača s većim prinosima zrna mogu se očekivati i veći prinosi slame za energetska korištenje.

Do povećanja prinosa žetvenih ostataka može se doći i reguliranjem visine košnje kod žetve. Na primjer, visina sorata pšenice u Europi varira od 53 do 124 cm ovisno o lokaciji, sa srednjom visinom od 76 cm (Würschum i sur., 2015). Trenutno 20 do 30 cm nepožnjevene slame ostane u polju zbog visoke košnje (čuva se mehanizacija od eventualnih oštećenja od neravnina i kame-nja na tlu, lakša i brža žetva), što je gotovo polovica ukupne visine slame u slučaju kratkih sorti. Stoga se, odgovarajućim usklađivanjem strojeva i pret-

hodnom kvalitetnom pripremom tla (ravna površina), može sniziti visina košnje i tako povećati ukupan prinos slame.

Razina uklanjanja žetvenih ostataka s polja s ciljem korištenja u energetske svrhe ovisi uglavnom o sadržaju organske tvari tla. Sadržaj ugljika u tlu može biti dobar pokazatelj humusne ravnoteže. Organska tvar sadrži do 58% organskog ugljika (De Brogniez i sur., 2015, preuzeto iz Ecofys, 2016). Ravnoteža humusa u tlu važna je zbog poboljšanja teksture i strukture tla. Tla s niskim udjelom organske tvari više su sklona eroziji pod utjecajem vjetra i vode i manje su produktivna. Stoga, za održavanje produktivnosti tla, važno je zadržati sadržaj organske tvari tla održavajući ravnotežu humusa. Drugi važan aspekt u određivanju razine uklanjanja žetvenih ostataka s tla je sadržaj ugljika ostataka. Naprimjer, zaoravanjem ukupne mase žetvenih ostataka, žitarice dodaju tlu 0,86 t/ha humificiranog organskog ugljika, šećerna repa 0,46 t/ha, uljarice 1,12 t/ha (na razini EU-27) (Wilhelm i sur., 2004; <http://ec.europa.eu>). Osim toga, razina uklanjanja žetvenih ostataka s polja s ciljem korištenja u energetske svrhe također ovisi o produktivnosti usjeva. Tako se u slučaju uljarica može uzimati više ostataka od žitarica i šećerne repe ovisno o vrsti tla i raznovrsnosti usjeva.

Na osnovi sadržaja organskog ugljika europska se tla mogu svrstati u tri glavne kategorije:

- 1) tla s niskim sadržajem organskog ugljika (1 do 2% organskog ugljika),
- 2) tla sa srednjim sadržajem organskog ugljika (2 do 6% organskog ugljika) i
- 3) tla s visokim sadržajem organskog ugljika (više od 6% organskog ugljika) (Rusco, i sur., 2001, preuzeto iz Ecofys, 2016).

Na temelju ove klasifikacije, tla južne Europe spadaju u kategoriju tala s niskim sadržajem organskog ugljika, pa više ostataka treba ostaviti na tlu. Za razliku od južne Europe tla sjeverne i središnje Europe imaju srednji do visoki sadržaj organskog ugljika, pa se stoga više žetvenih ostataka može uzeti s polja i iskoristiti u energetske svrhe.

Međutim, postotak uklanjanja žetvenih ostataka s polja može se povećati osiguravanjem alternativnih izvora organske tvari za tlo:

- stajskog gnoja,
- komposta dobivenog na gospodarstvu (voće, povrće, trava, orezani zeleni dijelovi biljaka, lišće, ostaci iz kuhinje itd.) i
- recikliranjem prerađenih ostataka nakon proizvodnje energije iz biomase (pepeo od izgaranja, digestat nakon proizvodnje bioplina).

4.

PROIZVODNJA BIOMASE IZ SLAME/KUKURUZOVINE

Po definiciji biomasa iz slame/kukuruzovine podrazumijeva poljoprivrednu biomasu koja najčešće potječe od sezonskih i jednogodišnjih biljaka ili iz njihove prerade.

4.1. Slama i kukuruzovina kao biomasa

Pod slamom podrazumijevaju se žetveni ostaci koji nastaju nakon žetve kombajnom kao što su žitarice, uljarice, leguminoze i sl. Kod toga, teoretski, mogla bi se koristiti kao energent cjelokupna dobivena biomasa. Međutim, kao što je već prije napisano, danas se najčešće (u ovisnosti o državi) slama koristi između 30 do 50%.

Slame žitarica, uljarica i kukuruzovine u trenutku žetve imaju veći sadržaj vode od ravnotežne i one se najčešće moraju sušiti. Istovremeno, količina požnjevenog (ubranog) materijala ovisi o lokaciji i vrsti kulture, a procjenjuje se na temelju odnosa između zrna i slame određene kulture, uz odbitak od 15% zbog žetvenih gubitaka.

Kod korištenja, slama se načelno može koristiti kao nasipni materijal ili kao komadi. Kod toga postoje tri načina procesa pripreme:

- 1) proces pripreme sječke – gdje se osušena slama s polja žanje silažnim kombajnom i sječka te pomoću transportnog vozila transportira do skladišta.
- 2) proces pripreme bala – gdje se osušena slama iz otkosa preša u bale (različitih oblika u ovisnosti o tipu balirke) i transportira do skladišta.
- 3) proces pripreme peleta/briketa – gdje se osušena balirana slama, nakon što je transportirana do skladišta, pomoću procesa peletiranja / (termoplastični proces) oblikuje u pelete/brikete.

Na Slici 4. shematski je prikaz procesa pripreme slame kao goriva.



Slika 4. Shematski prikaz proizvodnje sječke, bale i peleta/briketa (izvor: vlastita arhiva)

4.1.1. Sječka

Biomasa se za potrebe proizvodnje energije sječka. Ona se dobiva mehaničkim postupkom pomoću strojeva koji imaju ili pik-up uređaj ili vlastiti mehanizam za sjeckanje koji je podešen ovisno o vrsti kulture. Za vlažnije materijale usitnjava se na od 3 do 5 mm, a za suhlje usitnjavanje mora biti veće do 10 mm. Za žitarice preporučuje se dužina sječke oko 28 mm. Nakon te dužine dolazi do smanjenja skladišne gustoće. Tako usitnjen materijal transportira se kamionima ili prikolicama do skladišta i na doradu.

4.1.2. Bale

Za potrebe proizvodnje energije iz slame/kukuruzovine najčešće se koriste bale kao najekonomičniji korišteni oblik. Baliranje je komprimiranje biomase u balu. Ovisno kakva se balirka koristi postoje tri vrste bala, i to:

- male bale ili bale visokog pritiska gustoće su do 130 kg/m^3 , dimenzija $30\text{--}50 \times 80\text{--}100 \times 30\text{--}40 \text{ cm}$, koje se sakupljaju neposredno na vozilo i transportiraju do skladišta,
- okrugle bale, gustoće do 120 kg/m^3 , dimenzija $60\text{--}180 \times 120\text{--}150 \text{ cm}$ i pomoću posebnih vozila transportiraju se do skladišta te
- prizmatične bale, gustoće do 160 kg/m^3 , dimenzija $80\text{--}120 \times 70\text{--}280 \times 50\text{--}127 \text{ cm}$, također pomoću posebnih vozila transportiraju se do skladišta (Hartmann, 2009).

Na Slici 5. prikazane su četvrtaste i okrugle bale.

Danas se najviše koriste balirke za proizvodnju okruglih i prizmatičnih bala te balirke visokog pritiska kojima se proizvode male bale ali koje imaju manji značaj.



Slika 5. Četvrtaste i okrugle bale (izvor: <https://www.bbbseed.com/tag/seeds/>; <https://www.braesequestrian.co.uk/>)

Nakon baliranja bale se skladište ili na samom rubu polja ili u jednostavnim objektima. Kako ne bi došlo do kvarenja bala potrebno ih je posložiti na palete. Ukoliko se bale slažu utovarivačem jedne na drugu, maksimalno je dozvoljena visina od 4 metra. Ukoliko se slaganje bala obavlja pomoću poluga grabilica dozvoljena je visina do 6 metara, a ukoliko se radi sa samohodnim teleskopskim utovarivačem, dozvoljena visina je oko 10 metra. Na slikama 6., 7. i 8. prikazane su skladišne palete, poluge grabilice i samohodni teleskopski utovarivač.



Slika 6. Skladišna paleta



Slika 7. Poluga grabilica



Slika 8. Samohodni teleskopski utovarivač

(Izvori: <https://www.prometna-zona.com/palete-i-paletizacija/>, <http://www.gramip.hr/hu6c.html>, <https://euromarkt.hr/katalog/novi-strojevi/>)

Daljnji transport bala (npr. prema ložišnom postrojenju) obavlja se pomoću kamiona i kamiona s prikolicom, a bale se zbog stabilnosti pričvršćuju pomoću traka i ceradama zaštićuju od vremenskih nepogoda (kod okruglih bala iskorištenje transportnog volumena je 50–70 %, dok je kod prizmatičnih bala preko 90%).

4.2. Dorada i prerada čvrstih goriva

Tehnologija dorade i prerade biomase za proizvodnju čvrstih goriva omogućava prilagođavanje svojstava goriva zahtjevima postupka konverzije, a zbog poboljšanja kvalitete.

Za fino usitnjavanje sječke neposredno prije dorade koriste se mlinovi koji usitnjavaju biomasu u rasutom stanju. U mlin se postavljaju različita sita kojima se osigurava određena maksimalna veličina čestica.

Za korištenje bala u ložišnim postrojenjima bale se moraju dezintegrirati, odnosno smanjiti komprimiranost biomase kako bi se biomasa mogla dozirati u ložišta. Postoji više načina dezintegriranosti bala, i to pomoću (Hartmann, 2009):

- dezintegratora bala s valjcima za usitnjavanje,
- dezintegratora bala s okretnim okruglim rezervoarom,
- dezintegratora bala s bubnjem za usitnjavanje,
- dezintegratora bala na principu razdvajanja slojeva i
- dezintegratora valjkastih bala.

4.2.1. Peleti i briketi

Najveća homogenost čvrstih goriva postiže se pomoću peletiranja i briketiranja. Pomoću ovih tehnologija postiže se visoka gustoća biomase, kao i lakše doziranje u ložište. U skladištu zauzimaju manje prostora, proizvode manje prašine, a zbog manjeg udjela vode lakše ih je čuvati, a da ne dođe do kvarenja. Osnovna razlika između peleta i briketa je što je promjer peleta do 25 mm, a briketa iznad toga.

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

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 briket (cilindar) određenog oblika, najčešće kružnog, između 20 do 120 mm i duljine do 400 mm (Krička i sur., 2017).

Pomoću peletiranja/briketiranja postiže se visoka homogenost fizikalnih svojstava čvrstih goriva. Kod toga postoji niz prednosti:

- visoka volumetrijska gustoća biomase kao goriva,
- nizak sadržaj vlage u gorivu, što osigurava visoku skladišnu stabilnost,
- visoka homogenost goriva, kao i
- mala abrazivost, odnosno mala količina prašine.

Naravno, nabrojena pozitivna svojstva iziskuju dodatni trošak, što je nedostatak ove proizvodnje.

4.2.1.1. Tehnološki postupak peletiranja/briketiranja biomase

Za razliku od neposrednog (direktnog) sagorijevanja biomase u obliku bala, kojim korisnici osiguravaju vlastito snabdijevanje toplinskom energijom, postupak peletiranja/briketiranja biomase najčešće je namijenjen opskrbi drugih korisnika. Postupkom peletiranja/briketiranja smanjuje se volumen biomase, troškovi manipulacije i transporta, smanjuje se potreban prostor za skladištenje, povećava se cjelokupnost u procesu izgaranja. Općenito peleti/briketi mogu se koristiti u svim vrstama ložišta za čvrsta biogoriva.

Prešanjem usitnjenih čestica lignoceluloznih materijala bez vezivnog sredstva, uz visok tlak, povišenu temperaturu i optimalnu vlagu formiraju se peleti/briketi. Kod toga udarni pritisak klipa iznosi 210 bara pri temperaturi materijala od 70-90 °C i sadržaju vlage od 15% (Brkić i sur., 2007). Kod toga granulacija samljevene biomase kreće se između 3 i 10 mm. Na Slici 9. prikazane su peleti i briketi.

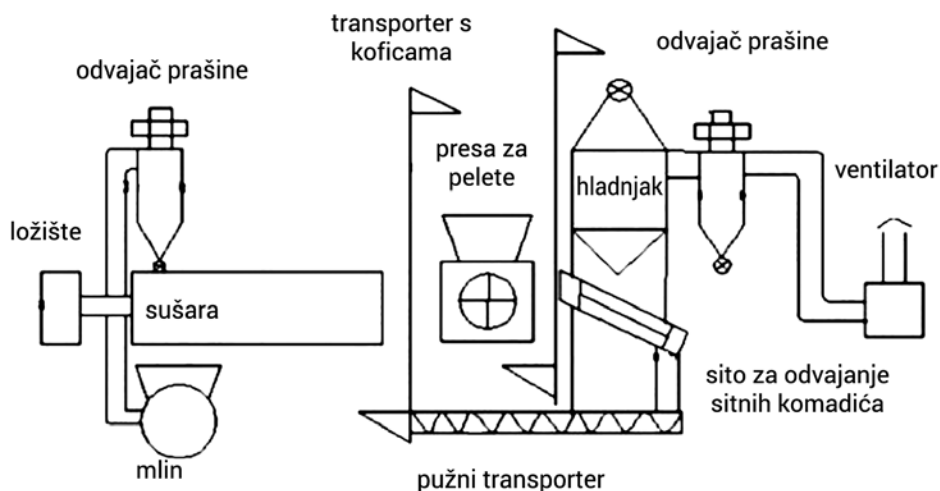


Slika 9. Peleti i briketi (Izvor: vlastita arhiva)

4.2.1.2. Preše za peletiranje/briketiranje

Glavni uređaj za peletiranje/briketiranje je preša.

Peletiranje biomase obavlja se postupkom prešanja s rotirajućim valjcima s prstenastim ili ravnim matricama (Slika 10.).



Slika 10. Shematski prikaz postrojenja za proizvodnju peleta (Izvor: vlastita arhiva)

U ovisnosti o broju valjaka (2–5) preša ima jednu ili više osovina. Osnovna razlika između peletirki je što peletirka s prstenastom matricom ima nepomične valjke, a matrica se okreće, dok je kod peletirki s ravnom matricom obrnuti postupak (Slika 11.).



Slika 11. Preša za peletiranje
(Izvor: <http://www.feedmachinery.com>)

Kvaliteta peleta/briketa prije svega ovisi o kvaliteti preše. Postoji više vrsta preše, i to: klipna, preša s valjcima, zupčasta preša i visokopritisna klipna preša. U Tablici 12. prikazane su tehničke karakteristike preša te gustoća biomase.

Tablica 12. Tehničke karakteristike preša za peletiranje/briketiranje biomase

Tip preše	Protočni kapacitet (t/h)	Potrošnja energije (kWh/t)	Gustoća mase (kg/m ³)
Klipna preša	0,1-1,8	50-70	300-600
Preša s valjcima	3-8	20-60	400-700
Zupčasta preša	3-7	20-60	400-600
Visokopritisna klipna preša	0,04-0,2	508-646	650-750

Kvaliteta peleta propisana je normom DIN EN 14961-2 gdje se točno propisuje porijeklo sirovina te karakteristika peleta kao što su promjer, dužina, sadržaj vode, čvrstoća, nasipna gustoća i sl. Peleti su podijeljeni u klase, i to A₁, A₂, i B. Peleti klase A₁ i A₂ su tzv. premijum peleti, a klase B industrijski peleti. Naime, za razliku od peleta klase A₁ i A₂, peleti klase B mogu koristiti i nedozvoljene sirovine. Nažalost, norma obuhvaća samo šumsku biomasu, dok za poljoprivrednu ne postoji. U Tablici 13. prikazani su zahtjevi europskih normi za drvene pelete.

Tablica 13. Zahtjevi europskih normi za drvene pelete

Karakteristika	Jedinica	Klase		
		A1	A2	B
Porijeklo sirovine (s oznakom goriva prema DIN EN 14961-1)		Deblovina, kemijski netretirani drveni ostaci	Cijela stabla bez korijena, deblovina, šumski drveni ostaci, kora, kemijski netretirani drveni ostaci	Drvo iz šuma i s plantaža kao i drugo svježe posječeno drvo, industrijsko drvo, korišteno drvo
Promjer	mm	6(±1) odn. 8(±1)	6(±1) odn. 8(±1)	6(±1) odn. 8(±1)
Maksimalna dužina ^a	mm	≥ 3,15; ≤ 40	≥ 3,15; ≤ 40	≥ 3,15; ≤ 40

PROIZVODNJA BIOMASE IZ SLAME/KUKURUZOVINE

Sadržaj vode	%	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Sadržaj pepela	%	≤ 0,7	≤ 1,5	≤ 3,0
Mehanička čvrstoća	%	≥ 97,5	≥ 97,5	≥ 96,5
Udio sitnih frakcija	%	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Aditivi ^b	%	≤ 2	≤ 2	≤ 2
Ogrjevna vrijednost (u isporučenom stanju)	MJ/kg	≥ 16,5; ≤ 19	≥ 16,3; ≤ 19	≥ 16,0; ≤ 19
Nasipna gustoća	kg/m ³	≥ 600	≥ 600	≥ 600
Dušik, N	%	≤ 0,3	≤ 0,5	≤ 1,0
Sumpor, S	%	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,04
Klor, Cl	%	≤ 0,02	≤ 0,02	≤ 0,03
Arsen, As	mg/kg	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Kadmij, Cd	mg/kg	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5
Krom, Cr	mg/kg	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Bakar, Cu	mg/kg	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Olovo, Pb	mg/kg	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Živa, Hg	mg/kg	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1
Nikl, Ni	mg/kg	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Cink, Zn	mg/kg	≤ 100	≤ 100	≤ 100
Karakteristika topljenja pepela ^c	°C	Trebale bi se navoditi	Trebale bi se navoditi	Trebale bi se navoditi

Izvor: DIN EN 14961-2 (Ova norma trenutno se prerađuje u svjetsku ISO-normu)

^a Količina peleta koji su duži od 40 mm može iznositi do 1% (udio u masi). Maksimalna dužina mora iznositi < 45 mm.

^b Vrsta (npr. škrob, kukuruzno brašno, brašno od krumpira, biljno ulje).

^c Trebale bi se navesti sve karakteristične temperature (temperatura na početku sinteriranja (SST), temperatura omekšavanja (DT), temperatura polumjera pelete (HT) i temperatura topljenja (FT)).

Briketiranje biomase obavlja se postupkom kontinuiranog prešanja pomoću klipne preše, a klip se pokreće mehanički ili hidraulički (Slika 12.). Biomasa se dovodi do cilindričnog kanala gdje se materijal sabija i na kraju kana-

la materijal se siječe na željenu dužinu. Neposredno prije ulaska biomase na briketiranje, potrebno je biomasu usitniti na veličinu ispod 10 mm i osušiti na ispod 15% vlage. Pod tim uvjetima postiže se gustoća između 1,1–1,25 g/cm³ s promjerom briketa od 40 do 100 mm. Briketi najčešće imaju okrugli ili pravokutni oblik.



Slika 12. Briketirka (Izvor: vlastita arhiva)

5.

SKLADIŠTENJE BIOMASE

Kako se biomasa sakuplja jednom godišnje, a za korištenje je potrebna kroz cijelu godinu, potrebno je biomasu skladištiti. Skladištenje je neizostavan postupak za premošćivanje vremenskog razdoblja od nastanka biomase do njezinog korištenja.

Prilikom skladištenja slame/kukuruzovine moraju se predvidjeti određeni rizici. Prema Hartmannu (2009) postoji 5 vrsti rizika, i to:

- rizik gubitka mase zbog samozapaljenja,
- sigurnosni rizik zbog rasta gljivica i spora,
- ekološki rizik zbog razvoja neugodnih mirisa i
- rizik kvalitete zbog ponovnog navlaživanja biomase.

Kako bi se smanjili skladišni rizici isti autor predlaže:

- nizak sadržaj vode prilikom skladištenja (izbjegavanjem svježe trave u balama slame)
- izbjegavanje lišća kao materijala osjetljivog na djelovanje mikroba,
- smanjenje razdoblja skladištenja,
- obavezna zaštita od padalina zbog ponovnog navlaživanja,
- omogućavanje proticanja zraka,
- optimalna nasipna visina, kao i
- aktivno sušenje ili ventilacijsko hlađenje.

Biomasa se može skladištiti pomoću velikog broja različitih postupaka i tehnika. Najčešći oblici skladištenja za bale i sječku su skladištenje u objektima te korištenje zaštitne tkanine.



Slika 13. Zaštitna tkanina za prekrivanje biomase
(Izvor: <http://www.agriexpo.online/prod/velitex-sas/product-170530-38291.html>)

5.1. Zaštitna tkanina za prekrivanje biomase

Na početku proizvodnje najjednostavniji način skladištenja je skladištenje biomase ispod zaštitne tkanine.

Na tržištu je dostupna zaštitna tkanina (Slika 13.) specifična za biomasu, učinkovita i za sušenje svježije biomase i za pohranu biomase s manje od 30% vlažnosti.

Tkanina je prozirna i omogućuje odbijanje vlažnog zraka tijekom faze samozagrijavanja mase. Masa mora biti položena na vodootpornu površinu, a nakupina mora biti konična kako bi održavala pad kišnice na površini tkanine.

5.2. Nadstrešnica

Najekonomičniji način skladištenja podrazumijeva skladištenje sječke ili bala na vodootpornoj površini (beton i/ili asfalt) zaštićenoj nadstrešnicom te smještenoj na sunčanom i prozračnom mjestu. Arhitektonska struktura nad-



Slika 14. Pokrovna konstrukcija za skladištenje biomase
(Izvor: <http://bretbergsconstruction.com/services/>)

strešnice (Slika 14.) trebala bi osigurati što veće prozračivanje skladištene biomase i olakšati radnje preokretanja i rukovanja sječke ili bala.

5.3. Skladišni objekti

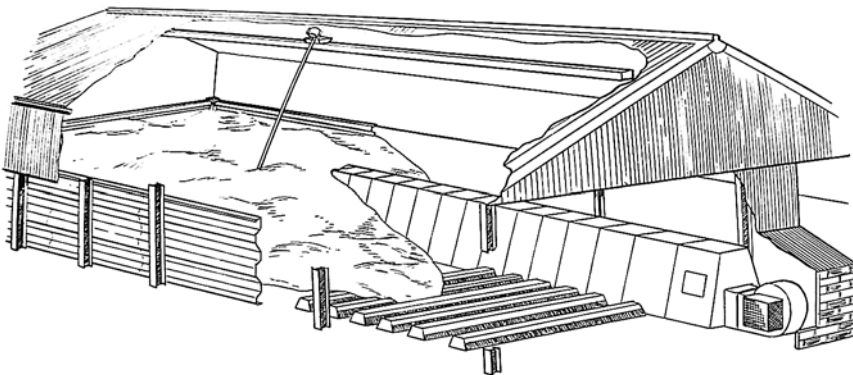
Skladištenje u objektima (Slika 15.), za razliku od korištenja pokretnih pokrivača, pruža povećanu zaštitu od utjecaja vremenskih prilika uz istovremeno mali obujam posla za skladištenje i izuzimanje sa skladišta. Ovdje se primjenjuje čitav niz različitih, u industriji i poljoprivredi uobičajenih konstrukcija. Zbog uštede troškova najpovoljnije je korištenje već postojećih objekata. Pored toga, u obzir dolazi i izgradnja povoljnih hala drvene konstrukcije. Pri tome su potrebni samo duboki temelji. U objektima je potrebno osigurati što veću provjetrenost zbog sprečavanja formiranja kondenzata koji bi mogli oštetiti objekt. Kod rasutog materijala treba voditi računa o dovoljnoj bočnoj stabilnosti i otpornosti.



Slika 15. Skladišni objekt za biomasu (Izvor: <https://torocorp.co.uk/Information/Articles/Biomass-BulkStorage-WhitePaper.html>)

5.4. Podna skladišta

Podna skladišta su hale u kojima je biomasa uskladištena u sloju koji leži na podu (Slika 16.). Radi očuvanja uskladištene biomase skladišta trebaju sadržavati ventilatore pomoću kojih se biomasa propuhuje zrakom i tako čuva od kvarenja. Najčešće imaju velike kapacitete prijema, a male kapacitete otpreme. Pogodna su za dugotrajno skladištenje biomase s vlažnošću ispod 20%.



Slika 16. Podno skladište s ugrađenim kanalima za razvođenje zraka prilikom ventiliranja (Izvor: vlastita arhiva)

6.

DORADA BIOMASE SUŠENJEM

Sušenje je proces konzerviranja biomase s ciljem odvođenja suvišne vode do ravnotežne vlažnosti, kako ne bi došlo do kvarenja. Zahvaljujući sušenju omogućeno je kr atkotrajno ili dugotrajno skladištenje biomase kojoj se zbog dorade poboljšavaju termička svojstva.

Sušenje se dijeli na:

- prirodno sušenje i
- tehničko sušenje.

Prirodno sušenje poljoprivredne biomase najčešće se obavlja:

- sušenjem biomase na tlu i
- prirodnom ventilacijom (cirkulacijom okolnog zraka).

Sušenje biomase na tlu obavlja se proticanjem zraka preko biomase vjetrom, okretanjem i sušenjem na suncu. Sušenje biomase prirodnom ventilacijom postiže se postupkom samozagrijavanja. Nastala toplina u rasutoj biomasi potaknula je cirkulaciju zraka prema gore, što omogućava hladnijem zraku ulazak u biomasu sa strane ili s dna. Kod toga se preporuča da dno skladišta bude konstruirano da u sebi sadrži kanale. Međutim, prirodno sušenje nije pokazalo zadovoljavajuće rezultate.

Tehničko sušenje poljoprivredne biomase najčešće se obavlja:

- prisilnom ventilacijom okolnog zraka,
- sušenjem toplim zrakom i
- sušenjem vrućim zrakom.

Sušenje prisilnom ventilacijom okolnim zrakom obavlja se kontinuirano, pomoću ventilatora za sušenje koji sustavom upuhivanja ili isisavanja zraka kroz biomasu, biomasu suši. Kod ovog sustava moguće je okolni zrak, zbog bolje efikasnosti, dogrijati 5 do 8°C. Osnovni princip rada prilikom sušenja toplim zra-

kom kontinuirano je zagrijavanje okolnog zraka do željene temperature od 20 do 100°C ovisno o vlazi biomase. Osnovni princip rada prilikom sušenja vrućim zrakom koristi se kod sušara velikih kapaciteta do temperature zraka od 300 do 600°C, a kod pojedinih kultura (najčešće trava i djetelina) i do 1000°C. Bez obzira na temperaturu zraka, temperatura biomase maksimalno iznosi 60 do 85°C ovisno o tehnologiji sušenja i tipu sušare (rotaciona, bubnjasta i sl.).

Uređaji za aktivno sušenje biomase najčešće su dio funkcionalne cjeline skladišnih objekata. Sušara iznimno može biti odvojena od skladišta kad se biomasa odmah nakon sušenja dalje prerađuje, npr. u pelete. Ovisno o načinu dovođenja topline u dio za sušenje sušare se mogu podijeliti na:

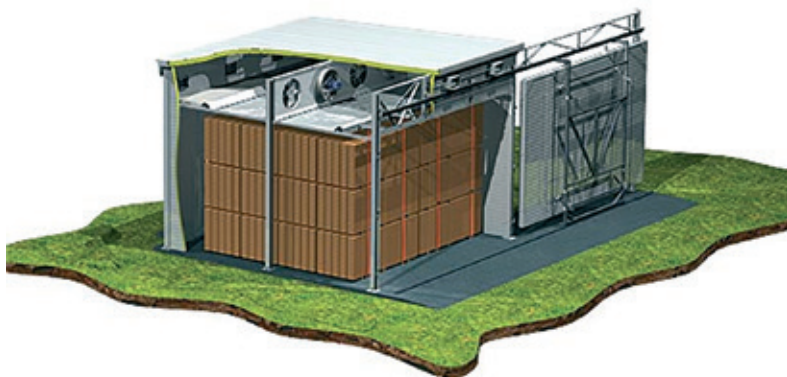
- sušare s izravnim dovođenjem topline i
- sušare s neizravnim dovođenjem topline.

U sušarama s izravnim dovođenjem topline biomasa se suši neposrednim kontaktom s vrućim zrakom.

6.1. Vrste sušara

Sušare se mogu široko podijeliti u dvije kategorije, ovisno o načinu na koji se predviđa dovođenje topline za sušenje. U izravnim sušarama materijal dobiva toplinu iz izravnog kontakta s tekućinom koja pruža toplinu – bilo vrući zrak ili vruća para. Kod neizravnog ili indirektnog načina sušenja biomase koja se suši, vrući zrak zagrijava se pomoću površine za izmjenu topline.

Izravno ili direktno grijane sušare mogu se dalje podijeliti u još dvije kategorije: sušare koje kao medij koriste zrak i sušare s pregrijanom parom. U zračnim sušarama vrući je zrak u dodiru sa suhom biomasom. Zrak gubi svo-



Slika 17. Ventilatorska sušara (Izvor: <http://www.simpol.hr/index.php/joomlaorg/susare/106-susara-sk-78>)

ju izravnu toplinu i osigurava latentnu toplinu isparavanja kako bi se biomasa osušila. Prolaskom preko biomase zrak također uklanja konvekcijski isparenu vodenu paru. Zbog boljeg sušenja biomasa se može tresti nekim mehaničkim sredstvima ili dodatnim strujanjem zraka.

U sušarama s pregrijanom parom, medij za grijanje je para, a ne zrak, no koncept je isti. Pregrijana para dolazi u dodir s biomasom i gubi dio topline kako bi osigurala latentnu toplinu isparavanja za sušenje. Para, međutim, ostaje iznad svoje temperature zasićenja, pa se ne kondenzira. Vodena para koja napušta biomasu zagrijava se pregrijanom parom, tako da je neposredni rezultat veća količina pare na nižoj temperaturi nego kada je para ušla u sušaru. Višak pare se ukloni, a ostatak se ponovo zagrije i reciklira natrag u sušaru.

U slučaju neizravno grijanih sušara koje rade pod vakuumom, ili s pregrijanom parom, latentna toplina isparavanja vodene pare lako se može doraditi jer se ne razrjeđuje zrakom. Prilikom sušenja u vakuumu, toplina je dostupna samo pri niskoj temperaturi, dok se kod sušare s pregrijanom parom sušara može dizajnirati za stvaranje pare pri praktički bilo kojem tlaku za uporabu u drugim dijelovima postrojenja. Sušenje biomase najčešće se izvodi pomoću ventilatorske sušare (Slika 17.), niskotemperaturne kontinuirane sušare (Slika 18.), rotacijske sušare (Slika 19.) te modularne sušare za sušenje bala (Slika 20.).

6.2. Faze sušenja

Postoji nekoliko faza prilikom procesa sušenja. Prvo, biomasa se mora zagrijati od ulazne temperature s kojom dolazi u sušaru, do temperature vlažnog zraka, kako bi se stvorila pokretačka snaga za vodu da napusti vlažnu biomasu. Zatim se isparava površinska vlaga na biomasi i taj se proces odvija brzo. Nakon što se uklo-



Slika 18. Niskotemperaturna kontinuirana sušara
(Izvor: <http://www.bharatprocess.com/dryers>)



Slika 19. Rotacijska sušara
(Izvor: http://www.arakawa-mfg.co.jp/products_rotarydryer.html)



Slika 20. Modularna sušara s metalnim kanalima
(Izvor: https://www.gros.si/index.php?page=izdelki&page_id=70)

ni sva površinska vlaga, biomasa se mora zagrijati kako bi voda s unutarnje strane biomase došla na površinu te isparila. To se događa tijekom “razdoblja pada brzine” kada brzina sušenja pada, dok biomasa postaje suša. Tijekom razdoblja pada brzine, površinska temperatura materijala ostaje blizu temperature vlažnog zraka. A kad se biomasa potpuno osuši, počinje se zagrijavati na temperaturu okoline jer voda više nije prisutna kako bi održavala nisku temperaturu.

U procesu sušenja postoje dvije točke kada postoji znatan požarni rizik. Prva se događa nakon što vlaga s površine ispari, ali prije nego što se iz unutrašnjosti biomase dovede znatna količina vode. Tijekom ovog vrlo kratkog razdoblja ne postoji vodena para u blizini površine kako bi se čestice goriva ohladile, a površina se može brzo zagrijati, dok unutrašnjost ostaje hladna. Ako površina ostaje vruća dovoljno dugo, materijal se može zapaliti, čak i ako nije sasvim suh. Međutim, kada unutrašnje čestice počinju otpuštati vodu na površinu, konstantna količina vlage koja se kreće na površinu zadržat će je hladnom, dok se potpuno osuši.

Druga točka opasnosti od požara je kada je materijal presušen. Ako materijal izgubi svu svoju vlagu, početak će se zagrijavati i može se zapaliti kad dostigne temperaturu izgaranja ili prilikom rasta određenih plinova do njihove točke zapaljenja. Budući da se brzina sušenja smanjuje kada biomasa postaje suša, većina sušara nije dizajnirana da bi potpuno osušila materijal. Očekuje se da će se presušivanje dogoditi samo tijekom poremećaja uvjeta ili pri obradi materijala s boljim svojstvima sušenja od onih za koje je sušara dizajnirana.

Kao što je prije spomenuto, kada materijal još uvijek sadrži vlagu, njegova će temperatura biti vrlo blizu temperaturi vlažnog zraka prilikom isparavanja, bez obzira na temperaturu zraka. To znači da se mogu koristiti izrazito vruće struje zraka za sušenje biomase u procesu istosmjernje struje jer se vrući zrak uvodi u sušaru zajedno s mokrom biomasom. Budući da će mokra biomasa imati temperaturu površine blizu temperature vlažnog zraka, neće se zapaliti. Do vremena kada se biomasa osuši, zrak će izgubiti dovoljno osjetne topline da bude ispod temperature paljenja biomase.

U sušarama s pregrijanom parom nema temperature vlažnog zraka jer je prisutna samo para. Voda u gorivu mora se umjesto toga odmah zagrijavati do temperature zasićenja prije isparavanja iz biomase, no nakon pretvorbe u paru, ne treba se raspršiti kroz zrak da se izvuče iz biomase ili ukloniti zasićeni zrak s površine radi poticanja isparavanja. Sve dok je temperatura biomase veća od temperature zasićenja, tlak para vode uzrokuje isparavanje vlage iz biomasa. To također znači da će biomasa ostati na svojoj temperaturi zasićenja dok ne bude posve suha, a zatim će se temperatura početi povećavati, baš kao u slučaju sušenja zrakom.

7.

SVOJSTVA BIOMASE KAO GORIVA I NJIHOVA KVALITETA

Biomasa dolazi na tržište s različitom kvalitetom i s promjenjivim svojstvima. Kako bi se osigurala određena kvaliteta čvrstih goriva, kao i njihovo poboljšanje, propisan je cijeli niz normi kojima su definirana svojstva i kvaliteta kako biomase, tako i krutog goriva.

Biomasa kao čvrsto gorivo ima svoje specifične karakteristike u odnosu na konvencionalne vrste goriva, i to u kemijskom sastavu, ogrjevnoj vrijednosti, sadržaju pepela, temperaturi sagorijevanja, kao i stupnju zagađivanja okoliša.

Kemijski sastav elemenata koji formiraju njenu ukupnu masu određuje se pomoću ugljika (C), vodika (H), kisika (O), dušika (N), sumpora (S), mineralnih tvari (A) i vlage (w) i može se prikazati pomoću jednadžbe masenih udjela:

$$C + H + O + N + S + A + w = 1$$

Kod toga kemijski sastav biomase definiran je formulom $CH_{1,4}O_{0,6}N_{0,1}$.

Nadalje, elementarni sastav biomase čine negoriva i goriva svojstva, ogrjevna vrijednost, mikro i makroelementi te lignocelulozni sastav.

U **negoriva svojstva** ubrajaju se vlaga, pepeo, fiksirani ugljik, koks, a u **goriva** suha tvar, ugljik, vodik, kisik, sumpor, hlapljive tvari. Uz spomenuto, kod krutih goriva mjere se **ogrjevna vrijednost** (donja i gornja) te **mikro i makroelementi** koji 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).

Osnovni sastav biomase najčešće se sastoji od ugljika (C), vodika (H) i kisika (O). Ugljik i vodik su komponente čijom se oksidacijom određuje oslobođena energija i tako zajedno određuju toplinsku (ogrjevnju) vrijednost biomase i osušenog krutog goriva. Kisik, za razliku od toga, samo podržava postupak

oksidacije, a ne stvara energiju. U poljoprivrednoj biomasi najveći sadržaj ugljika pri suhoj tvari najčešće je između 43 do 48%, sadržaj vodika između 5 do 7%, a sadržaj kisika između 40 do 45% na suhu tvar.

Metoda određivanja ukupnog sadržaja ugljika (C), vodika (H) i dušika (N) provodi se metodom suhog spaljivanja na CHNS analizatoru prema protokolu HRN EN ISO 16948:2015.

Sadržaj kisika (O) izračunava se računski:

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

Elementi koji posebno imaju utjecaj na emisiju štetnih plinova prilikom sagorijevanja su dušik (N), kalij (K), klor (Cl) i sumpor (S). Količina dušika u biomasi ovisi o količini bjelancevina i što je ona veća, veća je i količina dušika. Tako npr. slama pšenice ima dušika oko 0,5%, dok zrno pšenice ima 2,3%, a zrno uljene repice čak 4%. Dušik iz biomase formira ugljični oksid (NO_x) i u cjelosti prilikom izgaranja prelazi u plinovitu fazu pa ga u pepelu biomase nema. Nadalje, slama koja ostaje duže nakon košnje na oranici ima manje dušika u sebi.

Sadržaj sumpora (S) u čvrstim gorivima iz biomase u odnosu na fosilna goriva znatno je manji i iznosi npr. za slamu pšenice oko 0,08%, dok zrno pšenice sadrži oko 0,12%. Najviše sumpora u sebi sadrži trava s rubnih područja prometnica, čak do 0,2%, no u odnosu na npr. kameni ugljen (oko 0,95%) to je još uvijek znatno manje. Kod izgaranja goriva koje u sebi sadrži sumpor razvija se sumporni dioksid (SO₂) koji zbog oksidacije dobiva formu SO₃ i u kontaktu s vodenom parom na kraju procesa nastaje sumporna kiselina koja dovodi do korozije, ali i zagađenja okoliša. Sadržaj sumpora u biomasi određuje se metodom suhog spaljivanja na CHNS analizatoru prema protokolu HRN EN ISO 16994:2015.

Dodavanjem gnojiva na ratarskim površinama koja u sebi sadrže kalij, u biomasi ratarskih kultura javlja se klor. Zbog toga je sadržaj klora u slami žitarica znatno veći nego kod šumske biomase. Sadržaj u slami pšenice iznosi 0,19%, dok u zrnu pšenice 0,04%. Najveću količinu klora u sebi sadrži košena trava, odnosno sijeno, čak preko 1,2%. Prilikom sagorijevanja klor se od 40 do 95% veže u pepelu u obliku soli, ali se jedan dio oslobađa u atmosferu u obliku klorovodika (HCl). Uz to klor izaziva koroziju.

U biomasi se nalaze tzv. elementi u tragovima, i to su većinom teški elementi. Oni prije svega određuju karakteristike pepela nakon korištenja krutih goriva sagorijevanjem. Poljoprivredna biomasa ima znatno manje teških metala od šumske. U ovu kategoriju računaju se arsen (As), kadmij (Cd), krom (Cr), bakar (Cu), olovo (Pb), živa (Hg), nikal (Ni) i cink (Zn). Vrijednosti teških elemenata određene su normama. U tablicama 14. i 15. prikazane su vrijednosti elementarnog sastava i mikro i makroelemenata biomase pšenice, raži, kukuruza i soje.

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

Tablica 14. Kemijski sastav biomase pšenice, raži, kukuruza i soje

Vrsta biomase		% na ST									
		C	H	O	N	K	Ca	Mg	P	S	Cl
Slama pšenice	L	45,6	5,8	42,4	0,48	1,01	0,31	0,10	0,10	0,08	0,19
	V	43,43	6,10	49,32	0,90	2,24	1,68	0,48	-	0,26	-
Slama raži	L	47,5	5,8	41,4	0,46	1,38	0,49	0,07	0,21	0,089	0,40
	V	46,08	6,11	46,96	1,0	0,97	2,43	0,47	-	0,32	-
Kukuruzovina	L	45,7	5,3	41,7	0,65	1,43	0,92	0,48	0,18	0,12	0,35
	V	41,13	5,93	51,71	0,99	1,31	1,45	0,47	-	0,25	-
Slama soje	L	43,16	6,90	44,76	0,95	0,99	1,62	0,76	0,16	0,20	-
	V	43,34	6,24	49,00	0,99	1,03	7,13	0,47	-	0,26	-

Legenda: V – vlastita istraživanja (Matin i sur., 2018. – rezultati dobiveni u sklopu VIP-projekta)
L – literaturni navodi (Izvor: Hartmann, 2009; Cuiping i sur., 2004)

Tablica 15. Sastav mikroelemenata biomase pšenice, raži, kukuruza i soje

Vrsta biomase		% na ST								
		Fe	Zn	Cu	Cr	Mn	Ni	Pb	Cd	Co
Slama pšenice	V	0,03	0,003	*	*	0,06	0,005	0,06	0,001	0,0003
Slama raži	V	0,16	0,005	*	*	0,01	0,006	0,007	0,002	0,001
Kukuruzovina	V	0,92	0,08	0,005	0,1	0,04	0,1	0,01	0,001	0,004
Slama soje	V	0,08	0,005	0,001	*	0,005	0,008	0,007	0,002	0,003

* Ispod razine osjetljivosti

Legenda: V – vlastita istraživanja (Matin i sur., 2018. – rezultati dobiveni u sklopu VIP-projekta)

7.1. Lignocelulozni sastav biomase

Lignocelulozna biomasa najrasprostranjenija je biomasa jer je sastavni dio svih biljaka, a sastoji se od celuloze, hemiceluloze i lignina (Bayer i sur., 2007), kao i već gore spomenutih elemenata.

Celuloza je glavna komponenta građe biljaka. Njezina vlakna osiguravaju čvrstoću biljke i najčešće je ima između 40 do 60%. Celuloza je homopolisaharidni polimer sastavljen od molekule β -D-glukopiranoze. Karakteristika celuloze je stabilna konfiguracija bez međumolekularnih šupljina (Sanches i Cardona, 2008).

Hemiceluloza pripada grupi heteropolisaharida i najčešće je ima između 10 i 40%. Može se hidrolizirati do komponenata kao što su glukoza, monoza, galaktoza, ksiloza, arabinoza, kao i drugih manjih komponenata.

Lignin ima kompleksan molekularni sastav i sastavljen je od fenilpropana, a najčešće ga ima između 10 i 25%. Nastaje iz glukoze koja se formira iz tri vrste alkohola (kumaril, koniferil i ksinapil) (Semečko, 2013).

Molekule celuloze, hemiceluloze i lignina zajednički formiraju vlaknastu strukturu, tzv. mikrofibrile, koji se povezuju u snopove formirajući složeniju strukturu – makrofibrile. Kemijske veze između celuloze, hemiceluloze i lignina su esterske, etarske i glikozidne. Ove veze ligninu daju veću otpornost prema kemijskoj i enzimatskoj razgradnji, dok biološku razgradnju omogućuju različite vrste gljiva, kao i neke aktivno micete (Semečko V., 2013).

Sadržaj celuloze, hemiceluloze i lignina znatno se razlikuje između različitih tipova biomase (Jorgensen i sur., 2007). U Tablici 16. prikazan je sadržaj celuloze, hemiceluloze i lignina istraživanih kultura. Određivanje udjela celuloze, hemiceluloze i lignina provodi se modificiranom standardnom metodom ISO 5351-1:2002.

Tablica 16. Lignocelulozni sastav istraživanih kultura

Vrsta biomase		Celuloza (%)	Hemiceluloza (%)	Lignin (%)
Slama pšenice	L	31,2	37,6	22,3
	V	32,2	47,9	12,8
Slama raži	L	30,9	21,5	25,3
	V	34,1	50,0	10,7
Kukuruzovina	L	33,1	23,5	29,7
	V	25,1	38,2	30,4
Slama soje	L	24,99	11,91	17,64
	V	24,4	44,1	25,8

Legenda: V – vlastita istraživanja (Matin i sur., 2018. – rezultati dobiveni u sklopu VIP-projekta)
L – literaturni navodi (Izvor: Grubor i sur., 2015; Antonović i sur., 2017; García-Cubero i sur., 2009; Xui sur., 2007)

7.2. Ogrjevna vrijednost biomase

Ogrjevna vrijednost biomase najčešće je izražena u kJ ili MJ i podjeljena je na gornju i donju ogrjevnu vrijednost. Po definiciji gornja ogrjevna vrijednost (HHV) količina je toplinske energije koja je dostupna prilikom potpune oksidacije goriva kada se iskorištava i toplina kondenzacije vodene pare koja nastaje prilikom izgaranja.

Donja ogrjevna vrijednost količina je toplinske energije koja se oslobađa prilikom potpune oksidacije goriva kada se odbija toplina kondenzacije vodene pare sadržane u otpadnom plinu. Kod toga se oslobađa tzv. latentna toplina koja neće biti iskorištena.

U praksi danas relevantnu vrijednost ima donja ogrjevna vrijednost, dok gornja uglavnom ima samo teoretsku vrijednost i donja ogrjevna vrijednost uvijek je manja od gornje za 7 do 8% na suhu tvar. Međutim, kod vlažne poljoprivredne biomase razlika se povećava zbog mogućnosti kondenzacije veće količine vodene pare.

Na ogrjevnu vrijednost poljoprivredne biomase znatno više utječe sadržaj vode u gorivu nego vrsta biomase. Zbog toga se ogrjevne vrijednosti biomase međusobno uspoređuju u odnosu na suhu tvar.

Uz gornju i donju ogrjevnu vrijednost značajna svojstva u krutom gorivu su sadržaj vode i pepela. Gornja ogrjevna vrijednost određuje se korištenjem standardne EN 14918:2010 metode u adijabatskom kalorimetru.

Donja ogrjevna vrijednost (H_d) dobiva se računski:

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

Pri čemu je: * Energija potrebna za isparavanje vode

**Odnos molekularne mase između H_2O i H_2

7.3. Sadržaj vode

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 (%).

Izračun vlage na suhoj osnovi [u (%)]

$$u = \frac{W_w - W_0}{W_0} * 100$$

Izračun vlage na mokroj osnovi [M (%)]

$$M = \frac{W_w - W_0}{W_w} * 100$$

Gdje je: W_w = mokra masa biomase
 W_0 = masa biomase

Formule konverzije

Sljedeće se dvije formule koriste za izračunavanje u iz M i obrnuto (Tablica 17).

$$u = \frac{100 * M}{100 - M} \quad M = \frac{100 * u}{100 + u}$$

Tablica 17. Konverzija između vlage i sadržaja vode

M %	15	20	25	30	35	40	45	50	60
u %	18	25	33	43	54	67	82	100	150
u %	15	20	30	40	50	65	80	100	150
M %	13	16	23	28	33	39	44	50	60

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. Sadržaj vode određuje se u laboratorijskoj sušnici prema HRN EN 18134-2:2015 metodi.

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

Sadržaj vode predstavlja značajnu veličinu koja utječe na toplinsku vrijednost krutih goriva. Naime, u prirodi ne postoji apsolutno suha biomasa pa stoga tijekom izgaranja dolazi do određenog isparavanja vode. Za tu količinu isparavanja potrebna je određena količina topline koja se oduzima od ukupno oslobođene energije i time se umanjuje dobivena neto količina energije.

7.4. Sadržaj pepela

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.

Sadržaj pepela utječe zbog emisija štetnih tvari na okoliš, ali i na konfiguraciju ložišnog postrojenja. Za razliku od šumske biomase koja u sebi sadrži od 0,5 do 5% pepela nakon izgaranja, otpadno drvo i slama (različite poljoprivredne biomase) najčešće sadrže od 5 do 12% pepela nakon izgaranja.

S obzirom na sastav pepela iz poljoprivredne biomase on se može koristiti kao gnojivo, u industriji i u izgradnji prometnica i šumskih te poljskih putova.

U Tablici 18. prikazane su vrijednosti ogrjevnih vrijednosti poljoprivredne biomase.

Tablica 18. Ogrjevne vrijednosti poljoprivredne biomase

Vrsta biomase		HHV MJ/kg	LHV MJ/kg	Sadržaj pepela (%)	Hlapivi ostatak (%)
Pšenična slama	L	18,5	17,2	5,7	77,0
	V	16,7	15,4	4,2	78,5
Slama raži	L	18,5	17,4	4,8	76,4
	V	17,2	15,9	3,8	78,3
Kukuruzovina	L	18,9	17,7	6,7	76,8
	V	16,3	15,0	3,6	72,0
Sojina slama	L	18,76	-	5,1	75,0
	V	16,8	15,5	3,2	78,8
Usporedba – mrki ugljen	L	-	20,6	5,1	52,1

Legenda: V – vlastita istraživanja (Matin i sur., 2018 – rezultati dobiveni u sklopu VIP–projekta)

L – literaturni navodi (Grubor i sur., 2017; Hartman, 2009)

7.5. Fizikalno-mehanička svojstva biomase

Fizikalno-mehanička svojstva su ona svojstva goriva koja nastaju zbog načina žetve, kao i dorade. Definirana su rasporedom veličine čestica i udjelom sitne frakcije, sklonošću formiranja mostova (sipkost) te nasipnom, odnosno skladišnom gustoćom.

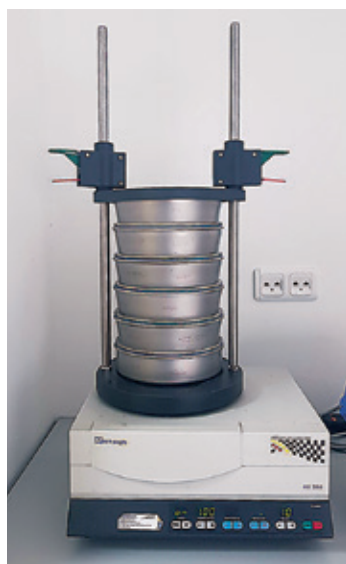
7.5.1. Raspored veličine čestica i udio fine frakcije

Raspored veličine čestica kao i udio fine frakcije definiraju transportne, manipulacijske i skladišne karakteristike biomase, poglavito sječka ili pelete. One su definirane oblikom i udjelom sitne frakcije. Temeljem navedenog kruta se goriva definiraju na osnovi udjela pojedinih veličina čestica (gruba:srednja:fina). Kod toga se posebno prati maksimalna dužina čestica.

Raspored veličine čestica prati se zbog kvalitete rada mehaničkih sustava za izuzimanje, transporta te dobave krutog goriva u postrojenja.

Raspored veličine čestica određuje se distribucijom čestica samljevene biomase prema metodi CEN/TS 15149-1: 2009 pomoću sitotresilice.

Klasifikacija se obavlja prosijavanjem pomoću sitotresilice s različitim promjerima sita (Slika 21.)



Slika 21. Sitotresilica
(Izvor: vlastita arhiva)

7.5.2. Sipkost (sklonost formiranju mostova)

Sipkost je pokretljivost uskladištene biomase u skladištu.

Na sipkost utječu:

- oblik i veličina biomase (dimenzije),
- površina biomase,
- vlažnost biomase i
- količina i sastav primjesa u biomasi.

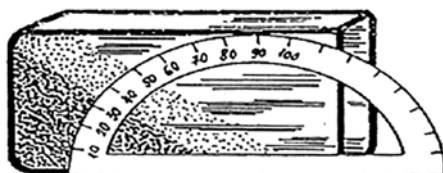
Sipkost se izražava kutom trenja ili kutom prirodnog nagiba. Veću sipkost, sadrži biomasa okruglog oblika i glatke površine, a uvjetovana je rasporedom veličine čestica.

Kut trenja je najmanji kut kod kojega masa počinje kliziti po nekoj kosoj površini (Slika 22).

Kut nagiba predstavlja kut između promjera osnovice i visine stošca koji nastaje slobodnim sipanjem mase na vodoravnu površinu (Slika 23).



Slika 22. Kut trenja (izvor: Ritz, 1997.)



Slika 23. Kut nagiba (izvor: Ritz, 1997.)

U procesu dorade i skladištenja biomasa kao i kruto gorivo mora se kraće ili duže vrijeme uskladištiti. Prilikom izuzimanja iz silosa ili sličnog načina skladištenja može doći do formiranja tzv. mosta. Bez obzira o kojem je obliku riječ, kruto gorivo više ne prolazi ili pak samo djelomično prolazi do transportnih elemenata, a u svrhu daljnjeg korištenja. Ova pojava javlja se zbog povećanog sadržaja vode u krutom gorivu, kao i neravnomjernih sadržaja veličina čestica te prevelikom nasipnom visinom.

7.5.3. Nasipna (skladišna) gustoća

Nasipna (skladišna) gustoća definirana je nasipnom gustoćom krutog goriva dobivenog iz biomase koja se prilikom skladištenja ne slaže.

U Tablici 19. prikazana je nasipna gustoća nekih čvrstih goriva.

Tablica 19. Nasipna gustoća nekih čvrstih goriva

Poljoprivredna biomasa		Nasipna gustoća (kg/m ³)
Zrno žitarica	triticale	750
Sječka	miscanthus	110
Bale	slama, sjeno	140, 160
Peleti	-	650

8.

ENERGETSKI POTENCIJAL

Energetski potencijal izračunava se s ciljem utvrđivanja raspoložive količine energije na određenoj jedinici površine. Za procjenu energetskog potencijala toplinske i/ili električne energije temeljni parametri su donja ogrjevna vrijednost, vlaga biomase i raspoloživa količina. Energetski potencijal uglavnom se izražava u MJ, PJ, TJ, kWh ili TOE po jedinici poljoprivredne površine.

Bazne procjene teoretski raspoložive količine biomase uglavnom se temelje na omjeru ostatak : zrno/pšeno te žetvenom indeksu. Spomenutim metodama procjenjuju se okvirni odnosi između glavnog proizvoda i ostataka pojedinih kultura. Utvrđene vrijednosti još uvijek ne pokazuju kolika je količina žetvenih ostataka tehnički dostupna za proizvodnju energije te se uvodi tzv. faktor iskorištenja i faktor dostupnosti. Među ostalim, nabrojani faktori valoriziraju potrebe održavanja organske tvari u tlu, hranidbe u sustavu stočarske proizvodnje, sprečavanja erozije tla te gubitke biomase nastale tijekom žetve i prikupljanja. Slijedom navedenog, razlikuju se teoretski i tehnički potencijal energije biomase, koji se temelje na osnovi teoretske ili tehničke procjene raspoložive biomase.

Međutim, izravno uzorkovanje biomase na pojedinoj mikrolokaciji najtočniji je pokazatelj raspoložive količine biomase, njene ogrjevne vrijednosti kao i svi ostalih parametara koji vrednuju biomasu kao energent u procesu izravnog izgaranja.

8.1. Energetski potencijal P. T. O. AGRO CIBALAE

Temeljem utvrđenih prinosa slame pšenice i soje te kukuruzovine kao i analiziranih donjih ogrjevnih vrijednosti, za potrebe utvrđivanja teoretskog energetskog potencijala na površinama P. T. O. AGRO CIBALAE razvijena su

tri scenarija, i to teorijski, progresivni i konzervativni u odnosu na 100%, 50%, 30% potencijalno dostupne biomase, redom. U Tablici 20. prikazani su prosječni prinosi sorata biomase, donje ogrjevne vrijednosti, površine pod pojedinim kulturama, kao i potencijal biomase u odnosu na nabrojane scenarije. Od istraživanih kultura pod poticajem bile su prijavljene pšenica, kukuruz i soja. S obzirom da je raž u godini istraživanja bila posijana na površini manjoj od 0,5 ha, nije bila prijavljena pod poticaj. U trenutku određivanja ogrjevne vrijednosti vlaga u biomasi kretala se kod pšenice 9,17%, kukuruza 14,27%, soje 10,41% te raži 9,97%.

Tablica 20. Prosječni teoretski energetski potencijal istraživane biomase na površinama P. T. O. AGRO CIBALAE

Kultura	Prinos biomase (t/ha)	Donja ogrjevna vrijednost (MJ/kg)	Energetski potencijal (MJ/ha)	Površine (ha)	Energetski potencijal (toe*)		
					Teorijski (100%)	Progresivni (50%)	Konzervativni (30%)
Pšenica	3,2	15,37	49 184	28	32,76	16,38	9,83
Kukuruz	5,1	14,98	76 398	32	57,28	28,64	17,18
Soja	3,6	15,51	55 836	42	55,86	27,93	16,76
Raž	6,0	15,94	95 640	0,5	1,15	0,75	0,35

*toe – tona ekvivalenta nafte

Prema dobivenim rezultatima kada se donja ogrjevna vrijednost stavi u omjer s naftom, kojoj je donja ogrjevna vrijednost 42 MJ/kg, proizlazi da je jedan kilogram nafte moguće zamijeniti s 2,73 kg pšenice, 2,80 kg kukuruza, 2,71 kg soje ili 2,63 kg raži.

9.

DIO OSVRTA NA VIP-PROJEKT „POTENCIJAL PROIZVODNJE ZELENE ENERGIJE IZ OSTATAKA RATARSKE PROIZVODNJE”

U ovaj projekt krenulo se zbog velikog potencijala poljoprivredne biomase i, što se tiče mene kao agronoma, iz obveze prema struci koja mora dati odgovor o podizanju razine konkurentnosti poljoprivrede i prehrambene industrije u Hrvatskoj. Poljoprivredna biomasa u obliku kultiviranog bilja i žetvenih ostataka nepresušiv je rezervoar obnovljivih izvora energije u obliku biogoriva.

Ovaj projekt istražiti će potencijal poljoprivredne biomase u obliku žetvenih ostataka i utvrditi važnost i potencijal u poljoprivrednoj proizvodnji. Pokazat će smjer institucijama Republike Hrvatske vezan uz energetska neovisnost u proizvodnji biogoriva i pokrenuti strateške projekte u izgradnji biorafinerija druge generacije. Danas Republika Hrvatska ima 100 000 obiteljskih gospodarstava koja ostvaruju prava na potpore u poljoprivredi. Obradive površine kao proizvodno-tehnološke cjeline zauzimaju 1 100 000 ha u obliku oranica, livada, pašnjaka, voćnjaka, vinograda, vrtova i ribnjaka. Neobrađene proizvodno-tehnološke cjeline u Republici Hrvatskoj zauzimaju 750 000 ha; one predstavljaju potencijal za proizvodnju energetskih usjeva (sudanska trava, sirak, miscanthus itd), kao sirovinske osnove za proizvodnju biogoriva čime se stvaraju preduvjeti za novo zapošljavanje, energetska neovisnost i gospodarski rast.

Ovim projektom otvaramo velike mogućnosti novim projektima u sektoru bioenergije i očekujemo da će postati strateški projekti za Republiku Hrvatsku te će ostvariti povlačenje sredstava kroz operativni program kohezije i konkurentnosti te mjere ruralnog razvoja. Dajemo odgovor na to što ekonomičnije proizvoditi na obradivim površinama te korištenjem dobre poljoprivredne prakse podižemo dohodak poljoprivrednim proizvođačima i štitimo tlo, vodu i zrak. Bioenergija je smjer kojim se okreće suvremena poljoprivreda te će biti jamac demografske obnove i gospodarske revitalizacije ruralnog prostora i veliki kotač zamašnjak gospodarskog rasta u Republici Hrvatskoj.

(Osvrt na projekt napisao Ivan Kopilović, mag. ing. agr.)

LITERATURA I POPIS SLIKA

Literatura

- Antonović, A., Krička, T., Matin, A., Voća, N., Jurišić, V., Bilandžija, N., ... & Stanešić, J. (2017). Lignocellulosic Composition of Some Important Oilseeds and Grains Biomass in the Republic of Croatia. 52. HRVATSKI I 12. MEĐUNARODNI SIMPOZIJ AGRONOMA, 623.
- Bayer, E. A., Lamed, R., Himmel, M. E. (2007). The potential of cellulases and cellulosomes for cellulosic waste management. *Current opinion in Biotechnology*, 18(3), 237-245.
- Brkić, M., Tešić, M., Furman, T., Martinov, M., Todor, J. (2007). Potencijali i mogućnosti briketiranja i peletiranja otpadne biomase na teritoriji pokrajine Vojvodine, studija, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
- Chakwizira, E., Teixeira, E. I., de Ruiter, J. M., Maley, S., George, M. J. (2016) Harvest index for biomass and nitrogen in maize crops limited by nitrogen and water. *Proceedings of the 2016 International Nitrogen Initiative Conference, "Solutions to improve nitrogen use efficiency for the world"*, 4 – 8 December 2016, Melbourne, Australia. 1-5.
- Chen, X., Cui, Z., Fan, M., Vitousek, P., Zhao, M., Ma, W., Deng, X. (2014). Producing more grain with lower environmental costs. *Nature*, 514(7523), 486-489.
- Christou, M., Eleftheriadis, I., Panoutsou, C., Papamichael, I. (2007) Current Situation and Future Trends in Biomass Fuel Trade in Europe. Country Report of Greece. <http://eubionet2.ohoi.net/>.
- Cui, S. J., Yu, D. J. (2005) Estimates of relative contribution of biomass, harvest index and yield components to soybean yield improvements in China. *Plant Breeding* 124, 473—476.

- Cuiping, L., Chuangzhi, W., Haitao, H. (2004). Chemical elemental characteristics of biomass fuels in China. *Biomass and bioenergy*, 27(2), 119-130.
- Dai, J., Bean, B., Brown, B., Bruening, W., Edwards, J. Flowers, M., Karow, R., Lee, C., Morgan, G., Ottman, M., Ransom, J., Wiersma, J. (2016) Harvest index and straw yield of five classes of wheat. *Biomass and Bioenergy* 85, 223–227.
- Daraz, G., Hameed, M., Ahmad, F. (2014) The Response of Different Soybean Varieties Yield and Yield Components to Different Reduced Irrigation Levels in District Swat of Pakistan. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare* 4 (6), 6-10.
- Di Matteoa, J. A., Ferreyrac, J. M. Cerrudoa, A. A., Echartea, L., Andradea, F. H. (2016) Yield potential and yield stability of Argentine maize hybrids over 45 years of breeding. *Field Crops Research* 197, 107-116.
- DIN EN 14961-2 (2011) Solid biofuels - Fuel specifications and classes
- Domac, J., Beronja, M., Fijan, S., Jelavić, B., Jelavić, V., Krajnc, N., Kajba, D., Krička, T., Krustulović, V., Petrić, H., Raguzin, I., Risović, S., Staničić, L., Šunjić, H. (2001). Bioen Program korištenja energije biomase i otpada. Nove spoznaje i provedba.
- Donaldson, E., Schillinger, W. F., Dofing, S. M. (2001) Straw production and grain yield relationships in winter wheat. *Crop Science* 41:100-106.
- Ecofys (2013) Low ILUC Potential of Waste and Residues for Biofuels. Ecofys. <http://www.ecofys.com/files/files/ecofys-2013-low-iluc-potential-of-wastes-and-residues.pdf>.
- Ecofys (2016) Maximising the yield of biomass from residues of agricultural crops and biomass from forestry. Final report. European Commission, DG Energy.
- Edwards, R. A. H., Šúri, M., Huld, M. A., Dallemand, J. F. (2005) GIS-Based Assessment of Cereal Straw Energy Resource in the European Union. Proceedings of the 14th European Biomass Conference & Exhibition. Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 17.-21. October 2005, Paris.
- Ellen, J. (1993) Growth, yield and composition of four winter cereals. I. Biomass, grain yield and yield formation. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 41, 153-165.
- Eltrop L., Hertlajn M., Jensen T., Hensler M., Kruk K., Ezdemir D. E., Pobos H. N. H., Šefkneht G. (2014). Priručnik o čvrstim biogorivima. Stručna agencija za obnovljive resurse, registrovano udruženje, (FNR), Njemačka
- Engel, R. E., Long, D. S., Carlson, G. R. (2003) Predicting straw yield of hard red spring wheat. *Agronomy Journal* 95: 1454-1460.

- FAOSTAT (2017) Fao Statistics Division, <http://www.fao.org/faostat/> Pristupljeno 2.11.2017.
- Frageria, N. K., Baligar, V. C., Clark, R. B. (2006) *Physiology of Crop Production*. Food Products Press, an imprint of The Haworth Press, Inc. 10 Alice Street, Binghamton, NY.
- García-Cubero, M. T., González-Benito, G., Indacochea, I., Coca, M., & Bolado, S. (2009). Effect of ozonolysis pretreatment on enzymatic digestibility of wheat and rye straw. *Bioresource technology*, 100(4), 1608-1613.
- Gauder, M., Graeff-Hönninger, S., Claupein, W. (2011) Identifying the regional straw potential for energetic use on the basis of statistical information. *Biomass Bioenergy* 35 (5):1646-1654.
- 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.
- Grubor, M., Krička, T., Jurišić, V., Antonović, A., Voća, N., Bilandžija, N., Matin, A. (2017). Energetic utilization of oilseeds' post-harvest residues in Croatia. 52. hrvatski i 12. međunarodni simpozij agronoma, 12. do 17. veljače 2017., Dubrovnik, Hrvatska. Zbornik radova, 641-645.
- 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.
- Jamal, M., Nazir, M. S., Shah, S. H., Ahmed, N. (1996) Varietal response of wheat to water stress at different growth stages. III. Effect on grain yield, straw yield, harvest index and protein content in grain. *Rachis* 1996; 15(1-2): 38-45.
- Johnson, J. M. F., Allmaras, R. R., Reicosky, D. C. (2006) Estimating Source Carbon from Crop Residues, Roots and Rhizodeposits Using the Grain-Yield Database. *Agronomy Journal* 2006 May-June, 98 (3): 622–636.
- Jørgensen, L. N., Olesen, J. E. (2002) Fungicide treatments affect yield and moisture content of grain and straw in winter wheat. *Crop Protection*, 21: 1023-1032.
- Krička, T., Leto, J., Bilandžija, N., Grubor, M., Jurišić, V., Matin, A., Dović, D., Horvat, I. (2017). Tehnologija uzgoja, dorade i skladištenja energetske kulture *Sida hermaphrodita* (L.) Rusby Grgić, Sveučilište u Zagrebu, Agromonski fakultet, Zagreb, Hrvatska

- Krisnawati, A., Muchlish, M. A. (2015) Variability of Biomass and Harvest Index from Several Soybean Genotypes as Renewable Energy Source. *Energy Procedia* 65 (2015) 14 – 21.
- Larsen, S. U., Bruun, S., Lindedam, J. (2012) Straw Yield and Saccharification Potential for Ethanol in Cereal Species and Wheat Cultivars. *Biomass and Bioenergy* 45 (0): 239–50. doi:10.1016/j.biombioe.2012.06.012.
- Nikolaou, A., Remrova, M., Jeliaskov, I. (2003) Lot 5: Bioenergy's Role in the EU Energy Market. *Biomass Availability in Europe*.
- Panoutsou, C., Eleftheriadis, J., Nikolaou, A. (2009) Biomass Supply in EU27 from 2010 to 2030. *Energy Policy* 37 (12): 5675–86. doi:10.1016/j.enpol.2009.08.032.
- Patterson, P. E., Markus, L., Momont, P., Robertson L. (1995) The Availability, Alternative Uses and Value of Straw in Idaho. Final Report of the Project BDK251'. Idaho Wheat Commission, College of Agriculture, University of Idaho.
- Pedersen, P., Lauer, J. G. (2004) Response of Soybean Yield Components to Management System and Planting Date. *Agronomy Journal* 96:1372–1381.
- Perlack, D., Wright, L., Turhollow, A., Graham, R., Stokes, B., Erbach, D. (2005) Biomass as a Feedstock for a Bioenergy and Bioproducts Industry: The Technical Feasibility of a Billion-Ton Annual Supply. A Joint Study Sponsored by U.S. Department of Energy and U.S. Department of Agriculture.
- Pospišil, A. (2010) Ratarstvo 1. Dio. Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu. Nakladnik Zrinski d.d., Čakovec.
- Powelson, D. S., Glendining, M. J., Coleman K., Whitmore, A. P. (2011) Implications for soil properties of removing cereal straw: results from long-term studies. *Agronomy Journal* 103 (1): 279-287.
- Riva, G., Pedretti, E. F., Toscano, G., Duca, D., Pizzi, A. (2011) Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in domestic pellet stove emissions. *Biomass and bioenergy*, 35(10), 4261-4267.
- Sanchez, O. J., Cardona, C. A. (2008) Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. *Bioresource technology*, 99(13), 5270-5295.
- Scarlat, N., Dallemand, J. F., Motola, V., Monforti-Ferrario, F. (2013) Bioenergy Production and Use in Italy: Recent Developments, Perspectives and Potential. *Renewable Energy* 57 (0): 448–461. doi:10.1016/j.renene.2013.01.014.

- Scarlat, N., Martinov, M., Dallemand, J. F. (2010) Assessment of the Availability of Agricultural Crop Residues in the European Union: Potential and Limitations for Bioenergy Use. *Anaerobic Digestion (AD) of Solid Waste Anaerobic Digestion* 30 (10): 1889–97. doi:10.1016/j.wasman.2010.04.016.
- Schjønning, P., Heckrath, G., Christensen, B. T. (2009) Threats to soil quality in Denmark. In: *A review of existing knowledge in the context of the EU soil thematic strategy*. Tjele DK: Faculty of Agricultural Sciences, Aarhus University; 2009 Oct. 124 p. DJF Report Plant Science No. 143.
- Semenčenko, V. V. (2013) Ispitivanje različitih hibrida kukuruza kao sirovine za proizvodnju bioetanola, skroba i hrane za životinje, doktorska disertacija, Beograd.
- Spaeth, S. C., Randall, H. C., Sinclair, T. R., Vendeland, J. S. (1984) Stability of Soybean Harvest Index. *Agronomy Journal* 76 (3), 482–486.
- Sparks, D. L. (ed) (2005) *Advances in Agronomy* 88. Elsevier Academic Press. California, USA.
- Statistics Denmark (2011). Statbank Denmark. Table HALM1: straw yield and use by region, crop, unit and use. c2011. Available from: [http://www.statistikbanken.dk/statbank5a/SelectVarVal/Define.asp? Maintable=HALM1&PLanguage=1](http://www.statistikbanken.dk/statbank5a/SelectVarVal/Define.asp?Maintable=HALM1&PLanguage=1).
- Statistički ljetopis Republike Hrvatske 2016. Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske. <https://www.dzs.hr/Hrv_Eng/ljetopis/2016/sljh2016.pdf>. Pristupljeno 2.11.2017.
- Thomsen, I. K., Djurhuus, J., Christensen, B. T. (2003) Long continued applications of N fertilizer to cereals on sandy loam: grain and straw response to residual N. *Soil Use Management* 19: 57–64.
- Wilhelm, W., Johnson, J. M. F., Hatfield, J. L., Voorhees, W. B., D. R. Linden (2004) Crop and Soil Productivity Response to Corn Residue Removal: A Literature Review. *Agronomy Journal*: 1–17.
- Wnuk, A., Górný, A. G., Bocianowski, J., Kozak, M. (2013) Visualizing harvest index in crops. *Communications in Biometry and Crop Science* 8 (2), 48–59.
- Würschum, T., Langer, S. M., Longin, C. F. H (2015) Genetic Control of Plant Height in European Winter Wheat Cultivars. *Theoretical and Applied Genetics* 128 (5): 865–74. doi:10.1007/s00122-015-2476-2.
- Xu, Z., Wang, Q., Jiang, Z., Yang, X. X., Ji, Y. (2007). Enzymatic hydrolysis of pretreated soybean straw. *Biomass and Bioenergy*, 31(2-3), 162–167.

Popis slika

Naslovna 1.-5. Vlastita arhiva

Naslovna 6. www.remussanctuary.org

Naslovna 7.-8. Vlastita arhiva

Slika 1. Vlastita arhiva

Slika 2. 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.

Slika 3. 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.

Slika 4. Vlastita arhiva

Slika 5. <https://www.bbbseed.com/tag/seeds/>; <https://www.braesequestrian.co.uk/>

Slika 6. <https://www.prometna-zona.com/palete-i-paletizacija/>

Slika 7. <http://www.gramip.hr/hu6c.html>

Slika 8. <https://euromarkt.hr/katalog/novi-strojevi/>

Slika 9. Vlastita arhiva

Slika 10. Vlastita arhiva

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

Slika 12. Vlastita arhiva

Slika 13. <http://www.agriexpo.online/prod/velitex-sas/product-170530-38291.html>

Slika 14. <http://bretbergsconstruction.com/services/>

Slika 15. <https://torocorp.co.uk/Information/Articles/Biomass-BulkStorage-WhitePaper.html>

Slika 16. Vlastita arhiva

Slika 17. <http://www.simpol.hr/index.php/joomlaorg/susare/106-susara-sk-78>

Slika 18. <http://www.bharatprocess.com/dryers>

Slika 19. http://www.arakawa-mfg.co.jp/products_rotarydryer.html

Slika 20. https://www.gros.si/index.php?page=izdelki&page_id=70

Slika 21. Vlastita arhiva

Slika 22. Kut trenja (izvor: Ritz (1997.) Uskladištavanje ratarskih proizvoda, udžbenik, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.)

Slika 23. Kut nagiba (izvor: Ritz (1997.) Uskladištavanje ratarskih proizvoda, udžbenik, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.)

PRILOG – REALNI UVJETI NA P.T.O AGRO CIBALAE

Autor: Ivan Kopilović, mag. ing. agr.

1. Opis gospodarstva P. T. O. Agro Cibalae

P. T. O. AGRO CIBALAE poljodjeljsko je trgovački obrt koji ima proizvodne resurse (farmu i proizvodno-tehnološke cjeline zemljišta) na području općine Ivankovo, Vukovarsko-srijemska županija. Primarna proizvodnja odnosi se na tovno govedarstvo u tehnologiji *baby beef*, biljnu proizvodnju žitarica i leguminoza, sušenje i skladištenje zrnatih proizvoda, proizvodnju hrane za životinje, uzgoj divljači i ekološku proizvodnju mješovitog nasada voća.

Tovno govedarstvo odvija se u tehnologiji *baby beef* u uzgoju na dubokoj prostirci (Slika 1.). Dominiraju mesne pasmine goveda koje se odlikuju do-



Slika 1. *Baby beef* na gospodarstvu (Izvor: vlastita arhiva – Ivan Kopilović)



Slika 2. Sušara i silosi na gospodarstvu (Izvor: vlastita arhiva – Ivan Kopilović)

brom tovnom sposobnošću, visokim dnevnim prirastom od 1600 g dnevno, dobrom konverzijom hrane od 6,5 hranidbenih jedinica za kilogram prirasta i visokim randmanom na liniji klanja od 64% u toplim polutkama goveđeg trupa. Pasmine tovnih goveda koje se proizvode su Charolais, Limusine, Aberdin Angus, Belgijsko plavo govedo, Piemont i Galovay koje u tehnologiji *baby beef* u hranidbi koriste omjer koncentriranih krmiva i voluminoznih krmiva dvije trećine naprama jednoj trećini. Ovakvim uzgojem proizvodi se mlado juneće meso koje je ružičaste boje i s malo intramuskularne masti.

Biljna proizvodnja odvija se na proizvodno-tehnološkim cjelinama automorfni i hidromorfni tala. Od automorfni tala gospodarstvo ima lesivirano tlo, a od hidromorfni tala pseudoglej i humoglej. Na lesu kao matičnom supstratu svake se godine radi organska gnojidba humificiranim stajskim gnojem proizvedenim tovom junadi u uzgoju na dubokoj prostirci. Na svim obradivim površinama na taj se način podiže razina organske tvari na tlu, održava razina opskrbljenosti tla hranjivima i poboljšava vodo-zračni odnos u tlu kao i mikrobiološka aktivnost. Uzgojem leguminoza, poglavito soje i lucerne, kojima se predstjetveno inokulira sjeme kvržičnim bakterijama rodova (*Rhizobium* i *Bradyrhizobium*), dodatno se obogaćuje tlo dušikom s približno 100 kg dušika po hektaru, što djeluje na racio-

nalizaciju troškova. Plodored, odnosno vremenska i prostorna rotacija na proizvodno-tehnološkim cjelinama izmjenjuju okopavinu, žitaricu i leguminozu. Kao okopavina dolazi kukuruz za proizvodnju suhog zrna, FAO grupa 350 do 400. Od žitarica su meka ozima pšenica i ozima raž te od leguminoza soja za proizvodnju suhog zrna i lucerna za proizvodnju voluminozne krme/suhog sijena.

Tehnologija sušenja i skladištenja odnosi se na liniju za prijam zrnatih proizvoda, transportere, čistače, protočno kontinuiranu sušaru i skladišne silose (Slika 2.). Proizvodnja hrane za životinje odvija se pomoću linije protočnih konusnih silosa, digitalnog sustava vaganja komponenata, čekićara s turbinom i vertikalne miješalice te silosa za hranu za životinje.

Cjelokupna proizvodnja (ratarska i stočarska) zaokružena je u koherentnu cjelinu. Obrada tla, kao i mehanizirana proizvodnja u stočarstvu obavlja se vlastitom mehanizacijom traktorima, mix-prikolicom, prikolicama za raspodjeljivanje stajnjaka, prikolicama za transport, kao i svom mehanizacijom za osnovnu obradu, dopunsku obradu, sjetvu i njegu usjeva. Žetveni ostaci kao nusproizvod u biljnoj proizvodnji koriste se u obliku rolobala za hranidbu i stelju u tovu junadi. Primjena dobre poljoprivredne prakse, a poglavito u smjeru zaštite okoliša, imperativ su u našoj proizvodnji u kojoj je jedan dio površina u ekološkoj proizvodnji (lucerna i djetelinsko travne smjese te voćnjak mješovitog voća). Uzgajalište divljači sastavni je dio gospodarstva gdje se u uzgoju visoko trofejnih grla divljači muflona i jelena lopatara, nalazi i lovačka kuća, restoran i objekti za rekreaciju kao i ribnjak sa slatkovodnom ribom. U ovoj cjelini nalazi se i botanički vrt. Znanstveni i istraživački rad obavlja se u smjeru genetike i oplemenjivanja bilja u kojem dominiraju žitarice, fakultativne i ozime krmne kulture i povrće. Klima kao edafski vegetacijski čimbenik je panonska kontinentalna s godišnjom količinom padalina 700 mm i srednjom godišnjom temperaturom 11°C. Prema Langovom kišnom faktoru klima je semihumidna, a glavina padalina je u proljeće i jesen. Reljef je nizinski (ravnica) i blaga uzvisina na đakovačko-fruškogorskoj lesnoj gredi (blagi obronci).

1.1. Sortiment i način uzgoja na gospodarstvu

Biljna proizvodnja odvija se u vremenskoj i prostornoj rotaciji usjeva kukuruza, soje, pšenice i raži te lucerne (Slika 3.).

1.1.1. Merkantilni kukuruz

Merkantilni kukuruz proizvodi se za suho zrno kao ugljikohidratno krmino namijenjeno hranidbi stoke. Hibridi kukuruza koji se proizvode od doma-



Slika 3. Polje s imanja (Izvor: vlastita arhiva – Ivan Kopilović)

ćih su sjemenarskih kuća FAO grupa 350 do 400. Karakteristike ovih hibrida su visoki prinosi, kakvoća zrna poglavito u sadržaju proteina, čvrsta stabljika i gust sklop i nizak sadržaj vlage u zrnu. Tehnologija proizvodnje polazi od osnovne obrade oranjem na dubinu od 30 do 35 cm. Lemešnim plugom s rešetkastim daskama sustavom razoravanja i naoravanja. Oranje se obavlja u jesenskom periodu, a kao pretkultura kukuruzu bila je pšenica ili raž koja je nakon žetve poorana gruberom kao prašenje strništa. Ore se trobrazdnim plugom s traktorom (Slika 4.) od 136 KS, brzina oranja je 8 do 9 km/h. Ovom brzinom i rešetkastom daskom postiže se kvalitetno zaoravanje žetvenih ostataka i mrvljenje brazde što poslije olakšava daljnju obradu. Dubina oranja i širina brazde reguliraju se na plugu, a nagib pluga izvan brazde je 135° , a u brazdi 90° .

Dopunska obrada obavlja se u proljetnom periodu, i to zatvaranjem zimske brazde plošnim kultivatorom, odnosno sjetvospremačem koji ima na prednjem dijelu nivelirajuće daske, više redova klinova za zubljenje i na kraju dva reda letvičastih valjaka (Slika 5.).

Prvi prohod sjetvospremačem radi se radi obilježavanja prohoda za raspodjeljivač mineralnog gnojiva; prohodi se rade na svakih 18 metara, što je radni zahvat raspodjeljivača. Kada su prohodi napravljeni, raspodjeljuje se mineralno gnojivo na cijelu proizvodno-tehnološku cjelinu, i to kompleksna i dušična mi-



Slika 4. Traktor prilikom oranja (Izvor: vlastita arhiva – Ivan Kopilović)



Slika 5. Sjetvospremač (Izvor: vlastita arhiva – Ivan Kopilović)



Slika 6. Oprema za gnojidbu

(Izvor: <https://racinovci.com.hr/vaznost-gnojidbe-mineralnim-gnojivima/>)

neralna gnojiva. Bacanjem gnojiva granule se raspodjeljuju po brazdama i nakon toga se zatvaraju zimske brazde. Ova mjera obavlja se kada to vremenski uvjeti dozvoljavaju, najčešće u trećem mjesecu. Prvi prohod sjetvospremača zatvara mineralno gnojivo i ravna parcelu, a dubina obrade je do 20 cm, odnosno cijeli klinovi moraju biti u zemlji. Drugi prohod sjetvospremačem radi se kao finalna obrada tla s ciljem stvaranja sjetvene posteljice i radi se na dubinu oko 10 cm, odnosno do pola klinova. Ovom mjerom dobivamo sjetvenu posteljicu koja mora biti mrvičaste strukture i relativno nivelirana kako bismo dobili jednolično klijanje i nicanje kukuruza. Gnojidba kukuruza odnosi se na organsku gnojidbu i mineralnu gnojidbu. Organska gnojidba obavlja se humificiranim goveđim stajskim gnojem prikolicama za raspodjeljivanje stajnjaka (Slika 6.).

Ove prikolice imaju vertikalne rotore za razbacivanje i lančasti sustav horizontalnih letvi za pražnjenje prikolice. Brzina raspodjeljivanja je od 4 do 5 km/h čime se aplicira 20 tona stajnjaka po hektaru. Organska gnojidba radi se prije oranja. Površina koja se gnoji u jednome danu treba biti proporcionalna



Slika 7. Sijačica za kukuruz (Izvor: http://pinova.hr/hr_HR/baza-znanja/ratarstvo/kukuruz/sjetva-kukuruza)

površini koju se može poorati također u jednome danu. Gnojidba mineralnim gnojivima obavlja se u rano proljeće po brazdi gdje se rade samo prohodi za prolaz raspodjeljivača mineralnog gnojiva. Kompleksno gnojivo koje se koristi je NPK 7-20-30 u količini 400 kg/ha i dušično gnojivo urea u količini od 300 do 350 kg/ha. Gnojidba se radi prema očekivanom prinosu, a i za održavanje visoke opskrbljenosti tla hranjivima. Sjetva kukuruza obavlja se u optimalnom agrotehničkom roku od 10. 4. do 25. 4.

Sijačica za sjetvu kukuruza (Slika 7.) je pneumatska sa šest redova. Među-redni razmak je 70 cm, dubina sjetve 6 cm. Sklop biljaka po hektaru je od 75 do 79 tisuća biljaka po hektaru, odnosno od 18 do 19 cm razmak unutar reda. Prijenos pneumatske sijačice ide preko priključnog vratila koje pokreće turbinu, a prijenos zupčanika pogonskim kotačima sijačice preko lanaca. Brzina sjetve je 6 do 8 km na sat .

Kukuruz koji se sijao je FAO grupa 350 kojim se postiže prinos suhog zrna od 10 do 11 tona po hektaru s prosječnom vlagom zrna od 16 do 17% i prosječno 10% sirovih bjelančevina. Korov u kukuruzu suzbija se kad je kukuruz u fazi 4 do 5 listova, a korovi u fazi porasta sistemskim herbicidom koji sadrži aktivne tvari, i to nikosulfuron, rimsulfuron, dikamba, etilheksil ester i fluorasulam, preparatom Principal plus s Mustangom u dozaciji 440 grama po



Slika 8. Prskalica (Izvor: <http://lesko.hr/?p=261>)

hektaru i 0,5 litara Mustanga po hektaru te 0,3 litre po hektaru okvašivača Trend 90. Prskanje se obavlja nošenom prskalicom s kopirajućim granama širine 12 metara pri radnom tlaku prskalice 2,7 atmosfera i tlaku pumpe od 2 atmosfere, diznama 0,4 (Slika 8.). Brzina traktora je oko 7 do 8 km/h uz utrošak vode od 200 litara po hektaru. Prska se u jutarnjim satima nakon što se digne rosa sve dok temperatura zraka ne prijeđe 25°C i kasno poslijepodne i predvečer. Herbicid se pravilno upotrebljava sa zaštitnom maskom i rukavicama. Prvo se ulijeva polovina vode u prskalicu, stavi se herbicid i upali miješalica te dodaje druga polovina vode. Nakon što se prskalica napuni, miješanje treba nastaviti 5 do 8 minuta. Prskalicom se mora pravilno spajati prohode po njivi. Ovaj je herbicid širokog spektra djelovanja i suzbija jednogodišnje i višegodišnje širokolisne i uskolisne korove. Efekt suzbijanja korova u kukuruзу vidi se nakon jednog dana kod širokolisnih korova, a kod uskolisnih korova nakon deset do petnaest dana. Kultiviranje kukuruza obavlja se 10 do 15 dana nakon aplikacije herbicida, kad kukuruz ima šest do sedam listova. Kultiviranje se obavlja međurednim kultivatorom brzinom 8 do 10 km/h, i to kada je jako sunce, najčešće nakon 10 sati prijepodne kad pada turgor u kukuruзу i on se tada savija bez pucanja.

Žetva kukuruza obavlja se nakon pune zriobe kukuruza u normalnim uvjetima u mjesecu listopadu. Žetva se obavlja kombajnom sa sitnilicom (Slika 9.) koja nakon žetve usitnjava žetvene ostatke.



Slika 9. Kombajn za kukuruz (Izvor: <http://www.savjetodavna.hr/savjeti/19/663/strojevi-za-berbu-kukuruza/>)

1.1.2. Merkantilna soja

Merkantilna soja je leguminoza kojoj je najčešća pretkultura okopavina kukuruz. Soja je proteinska biljka koja se proizvodi kao proteinsko krmivo i uljarica.

Kemijskom preradom soje, otapalom, izdvaja se sirovo ulje i ostaje sojina sačma kao nusproizvod. Soja je kultura koja ne podnosi jako kisela tla, a tla na gospodarstvu su neutralne do blago kisele reakcije. Soja se uzgaja s ciljem proizvodnje suhog zrna i proizvodnje sojine slame namijenjene za hranidbu i stelju junadi u tovu. Grupa dozrijevanja soje za ovaj agroklimat idealna je 0–1, gdje je optimalni rok sjetve 15. 4. do 1. 5. Osnovna obrada polazi od oranja lemešnim plugom s rešetkastim daskama dubine 30 do 35 cm. Zaoravaju se žetveni ostaci kukuruzovine.

U rano proljeće, kada dopuste uvjeti, na proizvodno-tehnološkim cjelinama rade se prohodi za raspodjeljivanje mineralnog gnojiva. Aplicira se kompleksno mineralno gnojivo NPK 7-20-30 u količini 500 kg/ha i dušično mineralno gnojivo KAN u količini 100 kg/ha. Nakon aplikacije mineralnih gnojiva zatvara se zimska brazda i gnojivo prohodom plošnog kultivatora koji nivelira parcelu i usitnjava tlo.

Drugi prohod sjetvospremačem obavlja se neposredno prije sjetve (dva dana prije), i to na dubinu sjetvene posteljice 7 do 8 cm. Postiže se sjetvena posteljica mrvičaste strukture koja omogućava jednolično klijanje i nicanje soje, kao i do-

bro ukorjenjivanje. Drugi prohod sjetvospremačem radi se na dubinu sjetvene posteljice brzinom 12 do 15 km/h. Sjetva soje obavlja se pneumatskom sijačicom od osam redova gdje je 50 cm međuredni razmak. Dubina sjetve je 4 do 5 cm. Razmak biljaka unutar reda je od 2,7 do 3,1 cm unutar reda.

Soja kao leguminoza ima sposobnost simbiotske fiksacije dušika iz atmosfere gdje soja živi u simbiozi ili životnoj zajednici s kvržičnim bakterijama na njenom korijenu. Kvržične bakterije dobivaju od soje ugljikohidrate, a one soji daju dušik koji uz pomoć enzima nitrogenaze vezuju iz zraka i koji soja koristi za rast i razvoj. Sorte soje koje se koriste u proizvodnji su Ika, Zora i Galina. Predsjetvena inokulacija sjemena radi se miješanjem preparata Biofiksina S koji je mikrobiološko gnojivo koje sadrži soj bakterije *Bradyrhizobium japonicum*. Pakiranje jedne doze cjepiva predviđeno je za 100 kg sjemena ili površinu od jednog hektara. Inokulacija se radi tako da se jedna vrećica Biofiksina S pomiješa s jednom litrom vode kojoj se dodaju još tri velike žlice konzumnog šećera i sve se promiješa te se ta količina ravnomjerno raspodijeli na četiri dijela od kojih se svaki dio miješa s 25 kg sjemena soje u betonskoj miješalici otprilike 3 minute. Soja se s bakterijama miješa u natkrivenom prostoru ili u sjeni da nema izravnog sunčevog zračenja koje uništava bakterije. Sjeme soje inokulira se neposredno prije sjetve, i to najduže nekoliko sati. Soje grupe dozrijevanja 0-1, idu na sklop od 580 do 600 000 biljaka po hektaru uz apsolutnu masu 150 do 180 grama. Brzina sjetve je oko 6 km/h s tim da se kod sjetve soje koristi asimetrični jaram pa se sijačica pomiče više na jednu stranu da kotači traktora ne bi gazili po redovima.

Korov u soji suzbija se od stadija kotiledona soje do faze četiri troliske. Stadij kotiledona soje dolazi u prosjeku 15 dana nakon sjetve i u ovoj fazi primjenjuje se polovična doza herbicida koji ima aktivnu tvar oksasulfuron (Laguna 75 WG) u dozaciji 60 g/ha plus okvašivač Trend 90 i kada su korovi u stadiju kotiledona. Druga split-aplikacija radi se nakon 7 do 10 dana kada je soja u fazi jedne troliske i tada se dodaje druga polovina oksasulfurona 60 g/ha i tifensulfuron-metil (Harmony SX) u dozaciji 8 g/ha uz dodatak okvašivača Trend 90. Ova kombinacija herbicida suzbija jednogodišnje širokolisne i jednogodišnje uskolisne korove koji se razvijaju iz sjemena i višegodišnje širokolisne korove. Ukoliko su na parcelama sa sojom prisutni višegodišnji uskolisni korovi, kao što su sirak iz rizoma i pirika, onda se tri dana nakon druge split-aplikacije primijenjuju graminičidi koji imaju aktivnu tvar kvizalofop tefuril (Pantera QT) u dozaciji 1,5 do 2 l/ha. Utrošak vode za sve aplikacije je 200 litara vode po hektaru uz radni tlak prskalice 2,7 atmosfera, tlak pumpe od dvije atmosfere uz dizne 0,4 i radnu brzinu traktora 7 do 8 km/h. U soji se



Slika 10. Prskanje soje (Izvor: <http://www.poljomagazin.com/?p=29549>)

korovi suzbijaju najbolje kada su u stadiju kotiledona što se tiče širokolisnih korova, a u stadiju porasta 10 do 20 cm visine kod višegodišnjih travnih korova (Slika 10.).

Vegetacijskim porastom razvijaju se etaže rasta na kojima se nalaze cvjetovi u obliku leptirića iz kojih se zameću mahune. Fenofazama rasta soje na korijenu razvijaju se kvržične bakterije koje žive u simbiozi s biljkom, kojoj daju dušik za njen rast i razvoj. Utvrđivanje kad su kvržice aktivne ili nisu provodi se tako da se jedna biljka izvadi iz tla i skine jedna kvržica s korijena koja se tada presiječe na pola. Ukoliko je kvržica aktivna, onda je crvenkaste boje, a ako je neaktivna, onda je bijelozelene boje. Aktivnost kvržičnih bakterija najčešće završava sredinom mjeseca kolovoza. U ekstremno vlažnim godinama i pojavom visokih temperatura soji prijete bolesti plamenjače ili paleži i tada se primijenjuje fungicid za suzbijanje ove bolesti. U ekstremno suhim godinama soju napada štetnik crveni pauk i atlantski crveni pauk koji napada slabo razvijene usjeve, a suzbija se najčešće tretiranjem uvratina akaricidom.

Žetva soje obavlja se u punoj zriobi kad soja odbaci gotovo sve lišće, a mahunice pucaju ako se stisnu prstima. Prinosi soje koji se ostvaruju su od 4 do 4,5 t/ha, uz vlagu zrna od 13% i 2% primjesa. Soja se vrši kombajnom sa žitnim adapterom sa sitnilicom (Slika 11.). Nakon žetve žetveni se ostaci prešaju, odnosno sojina se slama balira rolobalirkom.



Slika 11. Žetva soje (Izvor: <http://www.agroportal.hr/zetva-soje>)

1.1.3. Merkantilna pšenica

Merkantilna pšenica je strna žitarica koja služi za proizvodnju zrna, a žetveni ostaci u obliku slame služe za hranidbu i stelju junadi u tovu.

Pretkultura pšenici je soja koju nakon žetve u obliku sojine slame baliramo u rolobale koje se zatim odvoze na skladištenje. Osnovna obrada započinje oranjem podrivačem (čizl-plugom) koji ima radne organe koji idu do 30 cm dubine te razrahljuju tlo, a iza njih idu 2 reda jež-valjaka namijenjenih usitnjavanju velikih agregata tla (Slika 12.).

Mineralnim gnojivima gnoji se prije oranja sojino strnište ili nakon oranja s gnojivom NPK-7-20-30 ili 8-26-26 u količini 400 do 500 kg/ha. Zaliha dušika od simbiotske fiksacije soje koja ostaje u tlu je oko 70 do 80 kg/ha čistog dušika što je oblik rezerve u tlu. Brzina rada grubera je 8 do 10 km/h.

Dopunska obrada slijedi nakon oranja i gnojidbe, radi se tandem-tanjuračom gdje su prednje baterije s nazubljenim diskovima, a stražnje baterije s ravnim diskovima. Prednje baterije režu i miješaju, a stražnje baterije drobe i usitnjavaju agregate tla. Tanjuranje se radi u jednom ili dva prohoda, prvi prohod blago po dijagonali, a drugi prohod ravno u smjeru obrade. Finalna obrada radi se s plošnim kultivatorom koji na prednjem dijelu ima nivelirajuće daske, iza toga ide više redova klinova za zubljenje i iza toga dva reda letvičastih valjaka. Drugi prohod u finalnoj obradi za pripremu sjetvene posteljice



Slika 12. Podrivač (Izvor: https://grapak.hr/prodajni_program/poljoprivredna_mehanizacija/podrivaci/750/mehanicki_podrivac_alpego_kd/)

može se raditi plošnim kultivatorom s oprugama i s dva reda žičanih valjaka ili letvičastih valjaka.

Sjetvena posteljica radi se na dubini 6 do 8 cm. Nakon osnovne obrade može se na orano tlo primijeniti kombinirani priključak rotodrljača sa sijačicom koja u jednom proходу radi dopunsku obradu i izravnu sjetvu pšenice. Radna brzina je 6 do 8 km/h. Nedostatak je veća potrošnja goriva i manji dnevni učinak. Sjetva ozime pšenice ide u optimalnom agrotehničkom roku od 10. 10. do 1. 11. Sorte pšenice koje proizvodimo su Kraljica, Lucija i Viktorija kod kojih idemo na sklop od 700 biljaka po kvadratnom metru uz apsolutnu masu sjemena 40 do 42 g. Utrošak sjemena je 280 do 300 kg/ha u optimalnom roku sjetve. Kada se radi o kasnijim rokovima sjetve količina sjemena povećava se 1% više za svaki dan nakon optimalnog roka sjetve. Krajnji rokovi su do 15. 11. i tada utrošak sjemena treba biti 320 do 340 kg sjemena po ha. Sjetva pšenice obavlja se kombiniranim priključkom rotodrljačom sa sijačicom ili ako je klasična obrada u više proхода s finalnom pripremom sjetvene posteljice mehaničkom sijačicom za strne žitarice s diskosnim ulagačima i za-grtačima redova (Slika 13.). Dubina sjetve je 3 do 4 cm, a razmak između redova 12,5 cm.

Nakon sjetve pšenica prije zime razvija do tri lista, odnosno stadij busanja u kojem prezimljuje. Stadij jarovizacije, odnosno potrebnu sumu niskih temperatura ozima pšenica prolazi u zimskom periodu, što je potrebno za fiziološke procese ozimih žitarica. Pšenica je otporna na niske temperature, ali je bolje ako ima snježni pokrivač kao izolator da nije izložena izravno golomrazici. U

proljeće kada kreće vegetacija radi se prva prihrana pšenice u stadiju busanja dušičnim mineralnim gnojivima u količini 40 do 50 kgN/ha u obliku mineralnog gnojiva KAN 27% N u količini 150 do 200 kg/ha. Drugi put se pšenica prihranjuje u stadiju vlatanja i najčešće slijedi nakon 3 tjedna s količinom 130 do 150 kg/ha KAN-a. Treći put pšenica se može prihranjivati u fazi klasanja za bolje nalijevanje zrna ukoliko se ide sa smanjenom prvom gnojidbom. Ovdje treba biti oprezan da ne dođe do polijeganja pšenice zbog preobilne gnojidbe dušikom. Pšenica treba biti tamno zelene boje, gustoga sklopa, zdrave stabljike i lista, što su indikatori dobre opskrbljenosti hranjivima. Blijedo zelena boja, slaba stabljika, rjeđi sklop, indikatori su deficita hranjiva u tlu što je razlog za gnojidbu dušičnim gnojivima kroz prihrane.

Zaštita i njega usjeva pšenice odnosi se na suzbijanje korova od stadija busanja do stadija lista zastavice na pšenici. Herbicid koji sadrži aktivnu tvar aminopirialid i florasulam (Lancelot 450 WG) u dozaciji 33 g/ha u stadiju dva koljenca kod pšenice, koji suzbija jednogodišnje i višegodišnje korove u stadiju razvoja 6 do 8 listova. Utrošak vode je 200 l/ha uz mogućnost dodavanja okvašivača. Herbicidu se može dodati fungicid za preventivno djelovanje na pojavu biljnih bolesti, kao pepelnica, hrđa i pjegavost lista, koji sadrži aktivnu tvar tiofanat-metil (Topsin M 500) u dozaciji 1,4 l/ha. Aktivna tvar ciprokonazol i propikonazol (Artea Plus) u dozaciji 0,5 l/ha. Također može ići kao fungicid u kombinaciji s herbicidom. Zaštita klasa od bolesti (palež klasa pšenice) radi se u fazi kad je 50% pšenice isklasalo ili ako postoje manje površine u fazi cvatnje pšenice. Faza klasanja pšenice traje u prosjeku 5 do 8 dana nakon čega



Slika 13. Sijačica za pšenicu (Izvor: <http://www.se-kra.hr/tekst/pneumatska-sijacica-zs-53/>)



Slika 14. Prskanje pšenice (Izvor: vlastita arhiva – Ivan Kopilović)

slijedi fenofaza cvatnje pšenice koja traje oko 5 dana. Kada se primjenjuje fungicid koji ima aktivnu tvar pikoksistrobin i ciprokonazol (Acanto Plus) u dozaciji 0,75 do 1 l/ha ili aktivnu tvar tiofanat-metil (Topsin M 500) u dozaciji 1,4 l/ha (Slika 14.).

Zdravstveno stanje usjeva pšenice važno je zbog količine i kakvoće prinosa. Najvažnije je sačuvati zdrav list, posebice zastavicu koja omogućuje nalijevanje zrna. Štetnici koji napadaju pšenicu su žitni balac i žitne stjenice te lisne uši koje se suzbijaju najčešće u kombinaciji s fungicidima, insekticidima koji sadrže aktivnu tvar piretroid (Sumi Alfa, Karate Zeon) u dozaciji 0,12 do 0,15 l/ha. Uz sredstva za zaštitu bilja može se kombinirati i folijarna prihrana pšenice folijarnim gnojivom. P. T. O. Agro Cibalea primjenjuje folijarno gnojivo Plantafol u količini 1 do 1,5 kg/ha što pozitivno djeluje za nalijevanje zrna i podizanje sadržaja proteina u pšenici. Nakon fenofaze cvatnje i oplodnje slijedi faza mliječne, voštane i pune zriobe.

Žetva pšenice obavlja se najčešće početkom mjeseca srpnja za rane i srednje sorte pšenice, a nešto poslije za kasne sorte. Prinosi pšenice kreću se oko 7 do 8 t/ha, hektolitarska masa kreće se od 82 do 86 kg, vlaga zrna od 12 do 13% i sadržaj proteina 12 do 13%, dok se sadržaj primjesa kreće od 2 do 3%. Žetva se vrši kombajnom sa žitnim adapterom (Slika 15.) nakon čega se baliraju že-



Slika 15. Žitni kombajn (Izvor: vlastita arhiva – Ivan Kopilović)

tveni ostaci u rolobale te se odvoze na skladištenje. Na strništu pšenice nakon što su odvezene rolobale izvodi se agrotehnička mjera prašenja strništa s ciljem sprečavanja evapotranspiracije i mehaničkog suzbijanja korova, i to podrivačem (čizl-plugom) ili V-tanjuračem.

1.1.4. **Merkantilna raž**

Merkantilna raž ozima je strna žitarica namijenjena proizvodnji zrna i žetvenih ostataka za hranidbu i stelju junadi u tovu (Slika 16.).

Agrotehničke mjere identične su kao i za pšenicu od osnovne obrade, dopunske obrade, finalne obrade do sjetve. Gnojidba raži obavlja se kompleksnim gnojivima NPK 7-20-30 i 8-26-26 u količini 300 do 400 kg/ha. Pretkultura je soja koja simbiotskom fiksacijom ostavlja rezervu dušika u tlu 70 do 80 kg/ha. Optimalni rok sjetve raži je krajem devetog i početkom desetog mjeseca uz sklop 350 do 400 biljaka po kvadratnom metru s utroškom sjemena 130 do 150 kg/ha. Dubina sjetve je 3 do 4 cm. Sije se mehaničkom sijačicom za strne žitarice s diskosnim ulagačima i zagračima redova. Brzina sjetve 6 do 8 km/h.

U proljeće, kada dozvole uvjeti, u stadiju busanja radi se prihrana s 40 do 50 kgN/ha, odnosno 150 do 200kg KAN-a 27% N ili 100 do 110 kg UREA-e 46



Slika 16. Polje raži (Izvor: vlastita arhiva – Ivan Kopilović)

N. Raž je žitarica strano oplodna koja ima vrlo bujan rast i dostiže veliku vegetacijsku masu s visinom 150 do 170 cm visine. Gnojiti se treba reducirano, poglavito dušikom, da ne dođe do polijeganja usjeva. Zbog vrlo brzog porasta i bujne vegetacijske mase, raž je vrlo pogodna kao čistač na proizvodno-tehnološkim cjelinama od korova. Korov se suzbija od faze busanja do faze dva koljenca herbicidima (Lancelot 450 WG) u dozaciji 33 g/ha. Preventivna zaštita od pepelnice i hrđe radi se u kombinaciji s herbicidom, i to fungicid (Topsin M 500) u dozaciji 1,4 l/ha. Zbog visoke stabljike koristi se sredstvo regulator rasta koji sadrži aktivnu tvar trineksapak-etil (Modus 250 EC) u dozaciji 0,4 do 0,5 l/ha. Regulator rasta koristi se u fazi dva koljenca, a poboljšava bolje ukorjenjivanje, skraćuje rast stabljike i pojačava je, a koristi se samo jednom u vegetaciji.

Raž ima fenofazu klasanja cvatnje i oplodnje, a kako je strano oplodna vrsta poželjno je da bude vjetrovito vrijeme u vrijeme cvatnje. Žetva raži obavlja se nakon žetve pšenice u vrijeme pune zriobe. Prinosi zrna su 4 do 5,5 t/ha uz hektolitarsku masu 65 do 75 kg i apsolutnu masu sjemena (masa 1000 sjemenki oko 36 grama). Zbog velike vegetacijske mase ima najveći prinos žetvenih ostataka od 7 do 8 t/ha slame.

2. Tehnologija sakupljanja i skladištenja žetvenih ostataka na P. T. O. Agro Cibalae

Nakon žetve na proizvodno-tehnološkim cjelinama ostaju žetveni ostaci u obliku slame. Kod pšenice i žetvenih ostataka drugih strnih žitarica treba ostaviti slamu nekoliko dana na polju da odstoji. Ovim se postiže da slama malo omekša, čime je kompaktnija za kvalitetno baliranje. Mekša slama bolje se tlači u komori balirke pa je bala zbijenija i sadrži veću masu slame u volumenu rolobale. Žetveni ostaci sakupljaju se roloprešom s fiksnom komorom gdje je promjer bala 125 cm, a širina bale 123 cm. Za omatanje bala nakon što su isprešane i zarolane u završnu dimenziju koriste se mreže. Dimenzije mreže su 123 cm širina x 3000 m dužina, a jednu rolobalu preša omota 3 do 4 puta. Rolo-preša se sastoji od sustava za uvlačenje biomase (*pick up*) širine 2 m na kojem se nalaze opružne grabljice koje dižu i uvlače biomasu. Drugi sastavni dio rolopreše čini fiksna komora u kojoj se nalaze metalni valjci uz pomoć kojih se sabija biomasa i odvija proces prešanja. Radni tlak preše je 190 do 200 bara ili 19 000 do 20 000 kPa. Potreban broj okretaja izlaznog vratila na traktoru je 540 o/min uz 1700 o/min motora na traktoru. Brzina rada ovisi o debljini otkosa žetvenih ostataka i kreće se od 4 do 8 km/h. Radom rolopreše (Slika 17.) upravlja elektronski sustav u kojem se programira broj namotaja mreže na rolobalu, i on nakon što je bala gotova odraduje omatanje i rezanje mreže te daje instrukciju kada je preša puna te kada je preša završila postupak omatanja, odnosno kada je bala spremna za izbacivanje. U trenutku kada je bala omotana otvaranjem stražnjih vrata preše bala ispada van na polje. Kvaliteta sabijanja žetvenih ostataka i kompaktnost bale provjerava se na polju tako da je se kotrlja nekoliko metara. Dobro isprešana bala ima kompaktnu cjelinu, a mreža je čvrsta, ne puca i ne odmata se te je pogodna za nesmetanu manipulaciju traktorskim utovarivačem.

Sojina slama preša se 2 do 3 dana nakon žetve i važno je da slama ne pokisne jer se teže suši. Kod sojine slame najbolje je da kombajn radi bez sitnilice, kako bi otkosi bili u redovima radi jednostavnijeg prešanja.

Kukuruzovina se preša nakon što kombajn sa sitnilicom raširi žetvene ostatke koji se nakon nekoliko dana sakupljaju u redove sakupljačima sijena. Kukuruzovina se sakuplja u redove u sušnijim godinama kada je i suha te se na taj način jednostavnije preša. U vlažnijim godinama kukuruzovina se ne može osušiti, te se stoga ne preša. Kod kukuruzovine je važna i robusnost stabljike kukuruza i teškoće pri prešanju, te je stoga preporuka što manje balirati kukuruzovinu. Nakon baliranja u rolobale njima manipulira prednji traktorski utovarivač (Slika 18.).



Slika 17. Rolopreša (Izvor: <https://sprzedajemy.pl/>)



Slika 18. Prednji traktorski utovarivač (Izvor: <https://www.austrodiesel.at/hr/poduzece/news/detail/modeli-serije-mf-5700-sl-idealni-su-traktori-i-za-najteze-primjene-utovarivaca/>)

On tovari bale na transportne prikolice kojima se žetveni ostaci voze na skladištenje. Rolobale sa žetvenim ostacima skladište se slaganjem u kamare gdje se rolobale slažu jedna na drugu i međusobno povezuju. Svi žetveni ostaci namijenjeni su hranidbi junadi u tovu i za stelju.

POPIS SLIKA

Slika 1. Vlastita arhiva – Kopilović Ivan

Slika 2. Vlastita arhiva – Ivan Kopilović

Slika 3. Vlastita arhiva

Slika 4. Vlastita arhiva – Ivan Kopilović

Slika 5. Vlastita arhiva – Ivan Kopilović

Slika 6. <https://racinovci.com.hr/vaznost-gnojidbe-mineralnim-gnojivima/>

Slika 7. http://pinova.hr/hr_HR/baza-znanja/ratarstvo/kukuruz/sjetva-kukuruza

Slika 8. <http://lesko.hr/?p=261>

Slika 9. <http://www.savjetodavna.hr/savjeti/19/663/strojevi-za-berbu-kukuruza/>

Slika 10. <http://www.poljomagazin.com/?p=29549>

Slika 11. <http://www.agroportal.hr/zetva-soje>

Slika 12. https://grapak.hr/prodajni_program/poljoprivredna_mehanizacija/podrivaci/750/mehanicki_podrivac_alpego_kd/

Slika 13. <http://www.se-kra.hr/tekst/pneumatska-sijacica-zs-53/>

Slika 14. Vlastita arhiva – Ivan Kopilović

Slika 15. Vlastita arhiva – Ivan Kopilović

Slika 16. Vlastita arhiva – Ivan Kopilović

Slika 17. <https://sprzedajemy.pl/>

Slika 18. <https://www.austrodiesel.at/hr/poduzece/news/detail/modeli-serije-mf-5700-sl-idealni-su-traktori-i-za-najteze-primjene-utovarivaca/>