

Od ostataka biomase do krutih biogoriva

Raspoloživost i mogućnosti energetske
valorizacije

dr. sc. Božidar Matin

Sveučilište u Zagrebu Fakultet šumarstva i drvne tehnologije



Predavač i profesionalni kontekst



dr. sc. BOŽIDAR MATIN

Asistent

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet šumarstva i drvne tehnologije

bmatin@sumfak.unizg.hr www.sumfak.unizg.hr

STRUČNO ISKUSTVO

- Kruta biogoriva, utekućenje lignocelulozne biomase, biokompoziti, ekspandirajuća biopjena.
- Projekti: „Razvoj inovativnih peleta iz šumske i/ili poljoprivredne biomase – INOPELET”, „Razvoj srednjice troslojnog parketa iz utekućenog drva” i „Laki masivni proizvodi – inovativna metoda ekspandirajuće pjene u namještaju više dodane vrijednosti”
- Valorizacija biomase i otpada u održive energetske i materijalne proizvode

KLJUČNA PORUKA

Šumska i poljoprivredna biomasa može biti vrijedna sirovina za proizvodnju energije, materijala i proizvoda više dodane vrijednosti

Struktura predavanja

1

Sirovinska osnova i izvori biomase

2

Raspoloživost i logistička ograničenja

3

Proizvodnja i energetska valorizacija

4

Miješana biomasa – kvaliteta peleta i emisije

5

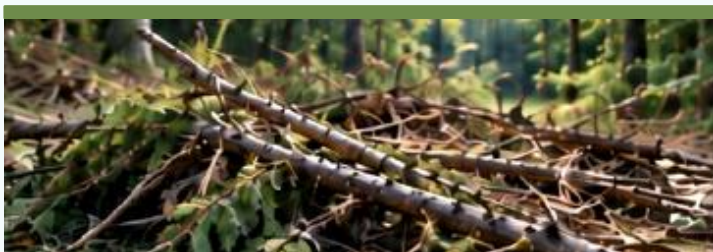
Zaključci i preporuke

Glavni izvori ostataka biomase

Značajni, ali još uvijek nedovoljno iskorišteni resursi

Šumarstvo

Ostaci iz gospodarenja šumama



- granjevina i vrhovi
- ostaci od sječe (sitno drvo)
- panjevi i korijenje
- ostaci iz njege šuma
- sanitarna sječa

Drvoprerađivačka industrija

Ostaci iz primarne i sekundarne prerade



- piljevina
- strugotina
- kora
- okomiti i ravni otpad
- ostaci od proizvodnje ploča, furnira i namještaja

Poljoprivreda

Žetveni ostaci i nusproizvodi



- slama žitarica (pšenica, soja)
- kukuruzovina
- ostaci suncokreta
- ostaci drugih ratarskih kultura
- nusproizvodi prerade (ljuske, komušina i dr.)

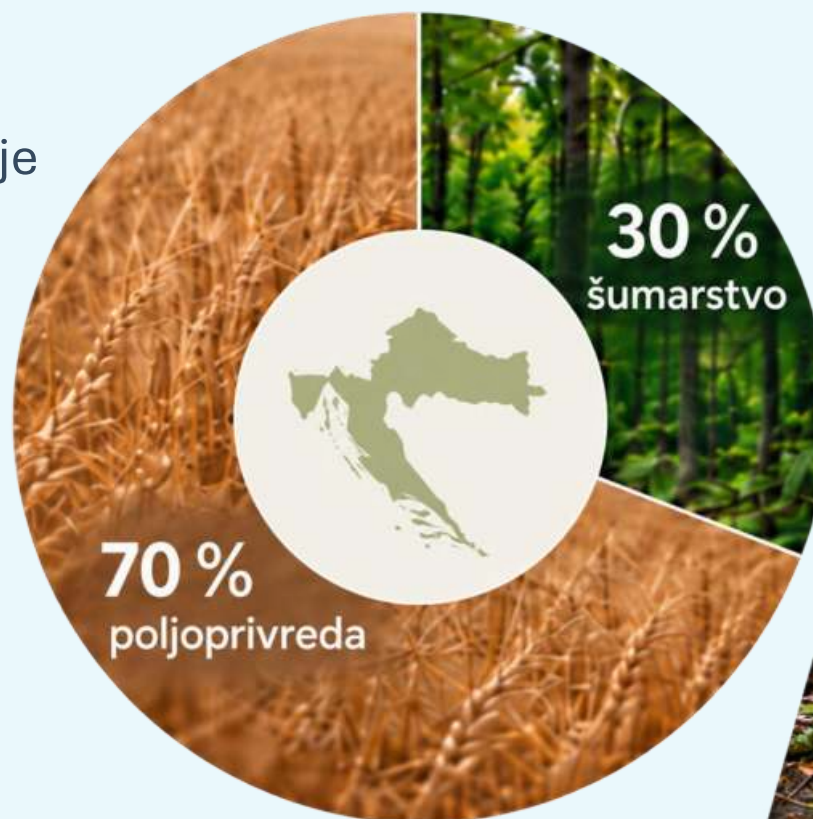
Ostaci biomase nastaju kontinuirano u velikim količinama te predstavljaju važnu sirovinsku osnovu

Biomasa u Hrvatskoj – veličina sirovinske osnove



Procjena godišnje
proizvodnje
biomase u
Hrvatskoj

9,3
milijuna t
godišnje



Ukupna proizvodnja biomase ≠ raspoloživi ostaci za energetske uporabu

Šumarstvo – značajna, ali ograničena sirovinaska osnova



2,764 mil. ha

šumskog zemljišta



5,269 mil. m³

ukupno posječenog drva

Od toga:



2,627 mil. m³

ogrjevno drvo



2,642 mil. m³

industrijsko drvo



Količina posječenog drva nije količina raspoloživih šumskih ostataka.



Dio biomase mora ostati u ekosustavu zbog hranjivih tvari, bioraznolikosti i održivosti gospodarenja.

Drvoprerađivačka industrija

Koncentrirani izvor ostataka iz primarne i sekundarne prerade drva

TRUPAC



GLAVNI PROIZVOD + OSTACI



PILJEVINA - KORA - DRVNI PRAH - OKRAJCI



PELETI - BRIKETI



Službena strategija razvoja prerade drva i proizvodnje namještaja RH navodi 1 mil. m³ ostataka nastalih preradom drva (FŠDT)



Prednosti:

- jednostavnije prikupljanje
- jednostavnije skladištenje
- niži logistički zahtjevi
- veća mogućnost kontinuirane opskrbe postrojenja

Poljoprivredni ostaci – koliki je potencijal?

Procijenjeni prinos žetvenih ostataka u razdoblju 2022. – 2025.



Kukuruz

Srednji omjer (ostaci/zrno): **0,9**

Prinos zrna (t/ha)			
2022.	2023.	2024.	2025.
6,10	7,40	7,60	6,40

Prinos žetvenih ostataka (t/ha)			
2022.	2023.	2024.	2025.
5,49	6,66	6,84	5,76



Soja

Srednji omjer (ostaci/zrno): **1,2**

Prinos zrna (t/ha)			
2022.	2023.	2024.	2025.
2,10	2,80	2,50	2,30

Prinos žetvenih ostataka (t/ha)			
2022.	2023.	2024.	2025.
2,52	3,36	3,00	2,76



Pšenica

Srednji omjer (ostaci/zrno): **0,8**

Prinos zrna (t/ha)			
2022.	2023.	2024.	2025.
6,00	4,80	5,80	6,70

Prinos žetvenih ostataka (t/ha)			
2022.	2023.	2024.	2025.
4,80	3,84	4,64	5,36



Suncokret

Srednji omjer (ostaci/zrno): **2,2**

Prinos zrna (t/ha)			
2022.	2023.	2024.	2025.
3,00	2,60	3,00	3,00

Prinos žetvenih ostataka (t/ha)			
2022.	2023.	2024.	2025.
6,60	5,72	6,60	6,60



Prosječni prinos žetvenih ostataka (t/ha) u razdoblju 2022.–2025.



Suncokret

6,38 t/ha



Kukuruz

6,19 t/ha



Pšenica

4,66 t/ha



Soja

2,91 t/ha

SOJA 88 000 (ha)

KUKURUZ 269 000

PŠENICA 157 000

SUNCOKRET 60 000

Proizvedeno ≠ stvarno raspoloživo



Ograničavajući čimbenici:

- PLODNOST TLA
- ORGANSKA TVAR
- EROZIJA
- NAČIN ŽETVE
- DRUGA UPORABA OSTATAKA
- TRANSPORT
- SKLADIŠTENJE
- TROŠKOVI

Nije sva proizvedena biomasa istodobno i raspoloživa za energiju. Količina se postupno smanjuje kada uzmemo u obzir održivost, tehničku dostupnost i ekonomsku opravdanost.

Glavni problem – logistika biomase

Izazovi kod sirove biomase



Mala nasipna gustoća

velik volumen, visoki transportni troškovi



Heterogenost

različita svojstva i kvaliteta



Visoka vlaga

potreba za sušenjem



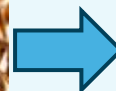
Skladištenje

veće površine, rizik od kvarenja



Transport

ekonomski i logistički zahtjevan



Oblici biomase pogodniji za rukovanje i energetske uporabu



Peleti

Visoka nasipna
gustoća
Jednolika
kvaliteta
Lako rukovanje



Briketi

Stabilan oblik
Manji volumen
Pogodniji za
transport



Bale

Jednostavno
rukovanje
Pogodne za
skladištenje
Široka primjena

Proizvodnja krutih biogoriva u Hrvatskoj



Ukupni kapacitet proizvodnje u 2024. bio je **428 580 t**

Vrsta krutog biogoriva	Proizvodnja			
	2021.	2022.	2023.	2024.
 Drvni peleti (t)	344 750 (75%)	351 128 (82%)	343 247 (80%)	276 296 (65%)
 Drvni briketi (t)	56 539	71 015	62 237	57 349
 Drveni ugljen (t)	14 227	11 476	10 231	9 596
 Drvna sječka (t)	424 891	474 793	442 453	416 162
 Ogrjevno drvo (m ³)	5 472 900	4 883 600	4 549 700	4 449 400

SAŽETI PREGLED (2024.)



Drvni peleti (t) 276 296 t (65%)



Drvni briketi (t) 57 349 t



Drveni ugljen (t) 9 596 t



Drvna sječka (t) 416 162 t



Ogrjevno drvo (m³) 4 449 400 m³
(u m³ – najveća apsolutna količina)

Iako proizvodnja raste, dio kapaciteta nije u potpunosti iskorišten, što ukazuje na prostor za daljni razvoj i veću uporabu domaćih sirovina

Mješavine šumske i poljoprivredne biomase – primjer valorizacije



Miješanje biomasa može omogućiti proširenje sirovinske osnove i istodobno prilagodbu svojstava konačnog goriva

Emisije dimnih plinova pri izgaranju peleta od pojedinačnih biomasa (11% O₂)

Vrsta	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (mg/m ³)	NO _x (mg/m ³)	NO (mg/m ³)	NO ₂ (mg/m ³)	SO ₂ (mg/m ³)
HRA	19,47	1,48	190,38	143,78	81,59	13,78	52,28
KUK	19,62	1,38	312,51	439,86	271,48	26,39	154,63
SOJ	19,49	1,47	215,90	565,20	355,41	22,83	158,89
PŠE	19,45	1,49	315,51	425,77	257,60	28,37	171,95
SUN	19,64	1,35	352,23	649,83	404,61	28,14	255,34

Emisije dimnih plinova pri izgaranju peleta od mješavina biomasa (11% O₂)

Vrsta	Omjer	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (mg/m ³)	NO _x (mg/m ³)	NO (mg/m ³)	NO ₂ (mg/m ³)	SO ₂ (mg/m ³)
HRA+PŠE	75/25	19,35	1,60	199,89	242,49	143,80	20,51	80,83
	50/50	19,51	1,55	222,10	315,90	192,65	24,38	104,90
	25/75	19,58	1,18	270,45	382,66	228,49	28,31	131,39
HRA+KUK	75/25	19,42	1,53	198,61	225,22	134,28	19,35	84,15
	50/50	19,30	1,49	232,39	287,12	176,22	21,43	94,10
	25/75	19,34	1,50	263,75	352,69	210,51	26,50	112,60
HRA+SUN	75/25	19,35	1,59	213,07	305,07	184,95	19,52	96,94
	50/50	19,27	1,49	242,35	438,61	281,41	23,23	144,00
	25/75	19,52	1,42	294,96	559,93	361,04	27,67	216,15
HRA+SOJ	75/25	19,27	1,59	184,97	276,35	168,20	18,35	77,36
	50/50	19,22	1,60	192,09	392,86	234,43	21,13	102,02
	25/75	19,05	1,61	199,88	487,54	300,82	23,51	136,71

Razredi peleta od mješavina biomase prema normi HRN EN ISO 17225

BIOMASA	PROM	DUŽ	VLA	PEP	MI	HHV	NG	ADIT	N	S	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	Ni
HRA+PŠE1	A1	A1	A1	B+	A1	A1	A1	A1	A1	A	A1	A1	A1	A1	A1	A1
HRA+PŠE2	A1	A1	A1	I3	B+	A1	A1	A1	A1	A	A1	A1	A1	A1	A1	A1
HRA+PŠE3	A1	A1	A1	A	B	A1	A1	A1	A1	A	A1	A1	A1	A1	A1	A1
HRA+KUK1	A1	A1	A1	A2	A2	A1	A1	A1	A1	A	A1	A1	A1	A1	A1	A1
HRA+KUK2	A1	A1	A1	B+	A2	A1	A1	A1	A1	A	A1	A1	A1	A1	A1	A1
HRA+KUK3	A1	A1	A	I3	A1	A1	A1	A1	A2	A	A1	A1	A1	A1	A1	A1
HRA+SUN1	A1	A1	A1	A	A1	A1	A1	A1	A1	A	A1	A1	A1	A1	A1	A1
HRA+SUN2	A1	A1	A1	B	A1	A1	A1	A1	B+	A	A1	A1	A1	A1	A1	A1
HRA+SUN3	A1	A1	A1	A2	A1	A1	A1	A1	A1	A	A1	A1	A1	A1	A1	A1
HRA+SOJ1	A1	A1	A1	A	A1	A1	A1	A1	A1	A	A1	A1	A1	A1	A1	A1
HRA+SOJ2	A1	A1	A1	B+	A1	A1	A1	A1	A2	A	A1	A1	A1	A1	A1	A1
HRA+SOJ3	A1	A1	A1	I3	A2	A1	A1	A1	A2	A	A1	A1	A1	A1	A1	A1

PORUKE ZA KRAJ

- 01** **Rezidualna biomasa je značajan resurs**
Šumarstvo, drvna industrija i poljoprivreda stvaraju značajne količine rezidualne biomase.
- 02** **Nije sav ostatak stvarno raspoloživ**
Ukupna količina ostataka nije jednaka količini koja je održivo, tehnički i ekonomski raspoloživa.
- 03** **Prešanje povećava vrijednost**
Prešanje biomase može povećati energetske, logističke i tržišne vrijednosti dijela tih ostataka.
- 04** **Kombiniranje širi sirovinsku osnovu**
Kombiniranje drvnih i poljoprivrednih ostataka može proširiti sirovinsku osnovu, ali zahtijeva kontrolu kvalitete goriva i emisija.

HVALA NA POZORNOSTI

PITANJA I RASPRAVA

dr. sc. BOŽIDAR MATIN

Sveučilište u Zagrebu Fakultet šumarstva i drvne tehnologije

bmatin@sumfak.unizg.hr • www.sumfak.unizg.hr

WASTE TO ENERGY IV • SLAVONSKI BROD • 1.–2. LISTOPADA 2026.

OD OTPADA DO STRATEŠKE ENERGIJE