

Utjecaj dodavanja poljoprivrednih ostataka na svojstva i kvalitetu drvnih peleta izrađenih od sirovine obične jele (*Abies alba* Mill.)

Postružin Gašpar, Karlo

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry and Wood Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:437928>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-10**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK**

**PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ
DRVNA TEHNOLOGIJA**

KARLO POSTRUŽIN GAŠPAR

**UTJECAJ DODAVANJA POLJOPRIVREDNIH OSTATAKA NA
SVOJSTVA I KVALITETU DRVNIH PELETA IZRAĐENIH OD
SIROVINE OBIČNE JELE (*Abies alba* Mill.)**

ZAVRŠNI RAD

ZAGREB, RUJAN, 2022.

PODACI O ZAVRŠNOM RADU

| | |
|--|--|
| AUTOR: | Karlo Postružin Gašpar 22.09.1996. Zagreb 0068231317 |
| NASLOV: | Utjecaj dodavanja poljoprivrednih ostataka na svojstva i kvalitetu drvnih peleta izrađenih od sirovine obične jele (<i>Abies Alba Mill.</i>) |
| PREDMET: | Energetika u drвноj industriji |
| MENTOR: | doc. dr. sc. Branimir Šafran |
| KOMENTOR: | doc. dr. sc. Matija Jug |
| IZRADU RADA JE POMOGAO: | M. Sc. Marin Dujmović |
| RAD JE IZRAĐEN: | Sveučilište u Zagrebu – Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Drvnotehnoški odsjek |
| AKAD. GOD.: | 2021/2022 |
| DATUM OBRANE: | 23.09.2022. |
| RAD SADRŽI: | Stranica: 42 Slika: 31 Tablica: 7 Dijagrama: 12 Navoda literature: 21 |
| SAŽETAK: U kontekstu energetske neovisnosti RH, proizvodnja gorivih peleta ima veliki značaj. Proizvodnja drvnih peleta prilično je raširena, ali se sirovinska baza svodi isključivo na nekoliko vrsta drva (bukva, jela, hrast). Postojeća drvna sirovinska baza ima svoja ograničenja, a naznake su takve da će se ona u budućnosti zasigurno i smanjiti ili morati zamijeniti drugim drvnim vrstama, ali i ostalim dostupnim sirovinama. Cilj istraživanja je pokušati napraviti pelet iz smjese drvne i poljoprivredne biomase čija će svojstva zadovoljavati propisane standarde. | |

PREDGOVOR

U današnje vrijeme i dalje se najviše kućanstva grije na plin, ali ipak sve se više ljudi okreće tradicionalnom načinu grijanja na drvo. Korištenje cjepanica za grijanje je zahtjevno i potrebno je imati veći prostor za njihovo skladištenje pa su mnoga kućanstva i industrije prešli na drvene pelete jer je s njima lako rukovati i ne zauzimaju puno prostora. Porastom trenda grijanja na pelete smanjuje se postojeća sirovinska baza što me potaklo na razmišljanje i istraživanje. U istraživanju ću pokušati proizvesti pelete koji nisu isključivo izrađeni od drvene sirovine, a novo proizvedeni peleti će se sastojati od mješavine drvene i poljoprivredne biomase odnosno od tzv. poljoprivrednog ostatka.

Zahvalio bih se doc. dr. sc. Branimiru Šafranu, doc. dr. sc. Matiji Jugu i M. Sc. Marinu Dujmoviću koji su mi ustupili na korištenje Laboratorij za energijska mjerenja, Fakulteta šumarstva i drvene tehnologije, Sveučilišta u Zagrebu te pomogli prilikom istraživanja, svojim znanjem i vremenom koje su odvojili.

SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| UVOD..... | 1 |
| CILJ RADA | 2 |
| PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA | 3 |
| BIOMASA | 3 |
| DRVENI PELETI I BIOMASA ZA NJIHOVU PROIZVODNJU | 3 |
| CERTIFIKACIJA PELETA..... | 4 |
| POLJOPRIVREDNA BIOMASA..... | 5 |
| MATERIJALI I METODE..... | 5 |
| ISPITANI MATERIJAL ZA IZRADU PELETA..... | 5 |
| OBIČNA JELA (<i>Abies alba</i> Mill.)..... | 5 |
| VINOVA LOZA (<i>Vitis vinifera</i>)..... | 6 |
| KUKURUZNI OKLASAK..... | 7 |
| KUKURUZNO BRAŠNO | 8 |
| PRIPREMA UZORAKA | 8 |
| LEGENDA UZORAKA OSNOVNIH SIROVINA..... | 11 |
| GRANULOMETRIJSKI SASTAV | 11 |
| ODREĐIVANJE SADRŽAJA VODE (HRN EN ISO 18134-3:2015)..... | 11 |
| ODREĐIVANJE SADRŽAJA PEPELA (HRN EN ISO 18122:2015)..... | 12 |
| KONDICIONIRANJE UZORAKA..... | 14 |
| PREŠANJE PELETA | 16 |
| IZMJERA DIMENZIJA I ODREĐIVANJE GUSTOĆE POJEDINOG PELETA..... | 20 |
| ODREĐIVANJE TLAKA PRI MAKSIMALNOJ VRIJEDNOSTI SILE PRILIKOM TLAČNOG ISPITIVANJA PELETA..... | 21 |
| ODREĐIVANJE VODOUPOJNOSTI PELETA | 23 |
| ODREĐIVANJE KALORIJSKE VRIJEDNOSTI..... | 24 |
| REZULTATI ISTRAŽIVANJA | 27 |
| REZULTATI ISPITIVANJA SIROVINE | 27 |
| GRANULOMETRIJSKI SASTAV SIROVINE..... | 27 |
| SADRŽAJ VODE SIROVINE..... | 29 |
| SADRŽAJ VODE SMJESE ZA IZRADU PELETA..... | 29 |
| SADRŽAJ PEPELA SIROVINE | 30 |

| | |
|--|----|
| REZULTATI ISPITIVANJA UZORAKA (PELETA)..... | 31 |
| SADRŽAJ VODE PELETA..... | 31 |
| SADRŽAJ PEPELA PELETA | 32 |
| DIMENZIONALNA STABILNOST PELETA | 33 |
| GUSTOĆA PELETA | 34 |
| REZULTATI TLAČNOG ISPITIVANJA PELETA | 35 |
| REZULTATI VODOUPOJNOSTI PELETA | 36 |
| REZULTATI KALORIJSKE VRIJEDNOSTI PELETA..... | 37 |
| RASPRAVA I ZAKLJUČCI..... | 39 |
| LITERATURA | 41 |

UVOD

U ovom završnom radu analizirat će se kvalitativna svojstva peleta proizvedenih od drvene sirovine, obične jele (*Abies alba* Mill.) i poljoprivrednih ostataka kao što su kukuruzni oklasak, vinova loza te kao dodatak kukuruzno brašno. Dobro je poznato da se u svijetu najveći dio energije dobiva sagorijevanjem fosilnih goriva koji su ograničeni izvor energije i njihovim otpuštanjem u atmosferu povećava se emisija stakleničkih plinova. Drvo je dokazano neutralna CO₂ alternativa i obnovljiv izvor energije. U zadnjih par godina mnoga kućanstva, a i industrijski pogoni, vratili su se primjeni drva kao sirovini za dobivanje energije ili topline. Samim povećanjem trenda povećala se potrošnja i danas imamo sve manje kvalitetne drvene sirovine, zbog čega je došlo do pojave peleta. Danas se peleti naveliko primjenjuju u cijelom svijetu pa tako i u Hrvatskoj zbog svoje kvalitete, jednostavnog rukovanja, velike energetske iskoristivosti i niže cijene u odnosu na druge energente. Peleti se proizvode iz različitih drvnih ostataka kao što su piljevina, sječka, ostaci u primarnim i sekundarnim pilanama, a za prešanje peleta nema nikakvog dodavanja kemikalija nego kao vezivno sredstvo služi lignin. Prednost proizvodnje peleta je što se peleti mogu proizvoditi od biomase u koju također spada poljoprivredni „otpad“, pa umjesto neiskorištavanja istog, on može se iskoristiti za upotrebu kao dio smjese zajedno s drvnim „ostacima“, te će se dobiti pelet koji je CO₂ neutralan.

CILJ RADA

U RH smo ograničeni sa sirovinskom bazom za izradu peleta na određene vrste drva - bukvu, jelu i hrast. Samim porastom potražnje na tržištu, jasno je da će biti sve manje sirovine u budućnosti i da će se morati pronaći alternativna zamjena. Stoga je cilj ovog rada ukazati na mogućnost dodavanja raznih poljoprivrednih ostataka osnovnoj sirovini jele (*Abies alba* Mill.) s ciljem postizanja što boljih kvalitativnih svojstava gorivih peleta, a u isto vrijeme koristeći jedan dio dosad neiskorištenog poljoprivrednog ostatka. Dodavanjem ostataka vinove loze i kukuruznog oklaska te kukuruznog brašna osnovnoj sirovini jele, pokušati će se proizvesti peleti koji svojim gorivim svojstvima, ali i mehaničkom čvrstoćom zadovoljavaju svim normativnim uvjetima za spaljivanje istih u kotlovima instaliranim u kućanstvima.

PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Biomasa

Biomasa je najstariji izvor energije poznat čovjeku i predstavlja skupni pojam za brojne, najrazličitije proizvode biljnog i životinjskog svijeta. Također je jedini obnovljivi i neograničeni izvor energije koji se može koristiti za proizvodnju električne i toplinske energije te tekućih goriva za vozila. Biomasa se općenito može podijeliti na drvenu, nedrvnu i životinjski otpad, unutar čega se mogu razlikovati (Šafran, 2015):

- drvena biomasa (ostaci iz šumarstva, otpadno drvo)
- drvena uzgojena biomasa (brzorastuće drveće)
- nedrvna uzgojena biomasa (brzorastuće alge i trave)
- ostaci i otpatci iz poljoprivrede
- životinjski otpad i ostaci.

Primjenom biomase za proizvodnju energije dobiva se (<https://www.fkit.unizg.hr/>):

- energetska neovisnost i smanjenje uvoza
- ruralni razvitak
- zapošljavanje
- niska emisija štetnih plinova,
- očuvanje rezervi fosilnih goriva.

Drvni peleti i biomasa za njihovu proizvodnju

Biomasa za proizvodnju drvnih peleta dobiva se iz ostataka u drвноj industriji (pilanska obrada) i u šumarstvu (grane, korijenje, panjevi, itd.). Upotrebom raznih drvnih ostataka biomase za proizvodnju peleta postiže se povećanje iskorištenosti sirovine i smanjenje neželjenog ostatka, a isto tako drveni proizvodi koji se ne mogu više primijeniti mogu se iskoristiti za proizvodnju peleta.

Drvni pelet je proizvod dobiven prešanjem usitnjene drvene biomase. Drvni peleti moraju imati svojstva kao što su: ujednačena veličina i oblik te niski sadržaj vode što mu daje visoku ogrjevnu vrijednost (Dujmović i dr., 2020, prema Mobini i dr., 2014)

U današnje vrijeme sama upotreba drvnih peleta se povećala u industriji i u kućanstvima zbog dobrih svojstava peleta, jednostavnije i lakše upotrebe i mogućnosti skladištenja (<https://www.forestresearch.gov.uk/>).

Certifikacija peleta

Prilikom proizvodnje i prodaje peleta moraju se zadovoljiti propisani standardi određenih svojstava peleta kao što su dimenzije, sadržaj vode, sadržaj pepela, mehanička trajnost, nasipna gustoća, udio finih čestica i kalorijska vrijednost. Najpoznatija i najzastupljenija certifikacija danas je ENplus. Svi peleti koji imaju ENplus oznaku znači da zadovoljavaju standarde propisane u tablici 1 (Enplus Handbook: Part 3, Pellet Quality Requirements).

Tablica 1. Zahtjevi Enplus certifikacije

| Svojstvo | Jedinica | ENplus A1 | ENplus A2 | ENplus B |
|---|---------------------------------|---|---------------------------|-------------|
| Promjer | mm | 6 ± 1 or 8 ± 1 | | |
| Duljina | mm | $3,15 < L \leq 40$ ⁴⁾ | | |
| Sadržaj vode | w-% ²⁾ | ≤ 10 | | |
| Sadržaj pepela | w-% ³⁾ | $\leq 0,7$ | $\leq 1,2$ | $\leq 2,0$ |
| Mehanička izdržljivost | w-% ²⁾ | $\geq 98,0$ ⁵⁾ | $\geq 97,5$ ⁵⁾ | |
| Udio finih čestica (< 3,15 mm) | w-% ²⁾ | $\leq 1,0$ ⁶⁾ ($\leq 0,5$ ⁷⁾) | | |
| Temperatura peleta | °C | ≤ 40 ⁸⁾ | | |
| Neto ogrjevna vrijednost | kWh/kg ²⁾ | $\geq 4,6$ ⁹⁾ | | |
| Nasipna gustoća | kg/m ³ ²⁾ | $600 \leq BD \leq 750$ | | |
| Aditivi | w-% ²⁾ | ≤ 2 ¹⁰⁾ | | |
| Dušik | w-% ³⁾ | $\leq 0,3$ | $\leq 0,5$ | $\leq 1,0$ |
| Sumpor | w-% ³⁾ | $\leq 0,04$ | $\leq 0,05$ | |
| Klor | w-% ³⁾ | $\leq 0,02$ | | $\leq 0,03$ |
| Temperatura taljenja pepela ¹⁾ | °C | ≥ 1200 | ≥ 1100 | |

Poljoprivredna biomasa

Poljoprivredna biomasa obuhvaća sve oblike biološke tvari koja nastaje prilikom proizvodnje i prerade biljnog i životinjskog podrijetla koji se iskorištavaju za proizvodnju energije. Biomasa kao obnovljiv izvor energije može se koristiti kao kruto, tekuće i plinovito gorivo.

Poljoprivrednu biomasu biljnog podrijetla čini zrno, korijen i list, ali isto tako i biljni ostaci poput slame, stabljike suncokreta, kukuruznog oklaska, kukuruzovine itd.

Koristeći poljoprivrednu biomasu dobiva se bioplin koji se u kogeneracijskom postrojenju razdvaja u električnu i toplinsku energiju ili se može proizvesti biometan koji se u konačnici koristi kao pogonsko gorivo čime se zamjenjuju fosilna goriva.

Kao primjer iskorištavanja poljoprivredne biomase može se navesti da jedan hektar kukuruzne silaže može osigurati proizvodnju bioplina od oko 10 000 m³ (hrcak.srce.hr).

MATERIJALI I METODE

Ispitani materijal za izradu peleta

Kao osnovni materijal za pelete odlučili smo se za običnu jelu (*Abies alba* Mill.), a kao dodatak od poljoprivrednih ostataka smo koristili vinovu lozu (*Vitis vinifera*), oklasak kukuruza (*Zea mays*) i kukuruzno brašno.

Obična jela(*Abies alba* Mill.)

Obična jela (slika 1) je prirodno rasprostranjena u planinskim predjelima srednje, južne i dijela zapadne Europe. Ona je jedina autohtona jela u Hrvatskoj te je treća najrasprostranjenija šumska vrsta drveća poslije bukve i hrasta lužnjaka. Jela je zastupljena s 50 % u crnogoričnim šumama Hrvatske.

Naraste do 40 m (u prašumama do 60 m) i postiže debljinu veću od 1,5 m prsnog promjera. Deblo je valjkasto. Krošnja je u početku čunjasta, a u starosti vrh izgleda kao da je odsječen (Horvat i Krpan, 1967).

U Hrvatskoj najčešće dolazi u sastojinama s bukvom i one su rasprostranjene u Lici, na Velebitu, Plješivici, Velikoj i Maloj kapeli, te u Gorskom Kotaru. Očuvano je i više prašuma kao što su Čorkova uvala u sklopu NP Plitvička jezera, Devčića tavani na Sjevernom Velebitu, Plješivička uvala u Ličkoj Plješivici, Klepina duliba pokraj Krasna.

Nažalost jako je osjetljiva na štetne plinove zbog čega se ne sadi uz industrijska postrojenja te je ugrožena zbog djelovanja kiselih kiša (<https://prirodahrvatske.com>).



Slika 1. Uzorak drva jele

Tablica 2. Svojstva drva jele

| SVOJSTVO | Obična jela (<i>Abies alba</i> Mill.) |
|-------------------------------------|---|
| Gustoća, ρ | 0,350...0,450...0,750 g/cm ³ |
| Ogrjevna vrijednost, H ₀ | 19,47 MJ/kg |

Vinova loza (*Vitis vinifera*)

Vinova loza (slika 2.) je biljka penjačica. Izrastanjem se oblikuje u grm a visina joj varira između 5 i 15 m. Dugački izdanci koji se razvijaju iz osnovnih mladica, razlikuju se od kratkih koji se razvijaju iz pazuha listova.

Ova biljka je rasprostranjena od Dalekog istoka pa sve do srednje Europe. Uzgaja se u Aziji, Europi, Africi, Južnoj i Sjevernoj Americi, Novom Zelandu, Australiji, a može je se naći čak i u nekim južnim dijelovima Sibira.

Hrvatska je, zahvaljujući reljefu, klimi i tlu te drugim čimbenicima jedna od rijetkih zemalja gdje vinova loza uspijeva u svih pet zona. Ona najsunčanija, pa samim time i najpovoljnija zona, započinje južno od Splita, a završava južno od Dubrovnika, u Konavlima, uključujući i srednjodalmatinske otoke(<https://web.archive.org/>).



Slika 2. Uzorak vinove loze

Kukuruzni oklasak

Kukuruz (*Zea mays*) je jednogodišnja biljka iz porodice Poaceae, a porijeklom je iz Srednje Amerike (južni Meksiko i Gvatemala), a u Europu je donesen 1493., a po nekim izvorima 1535. u Hrvatsku.

Korijen mu je žiličast, a stablo visoko i člankovito s odvojenim muškim i ženskim cvjetovima. Plod mu je klip sa zrnjem koje je uglavnom žuto ili bijelo. Također je uzgojen veliki broj raznih vrsta hibrida.

Sami oklasak (slika 3.) se danas u Slavoniji baca ili spaljuje dok se u Italiji pakira i prodaje kao materijal za potpaljivanje roštilja.



Slika 3. Uzorak kukuruznog oklasa

Kukuruzno brašno

Kukuruzno brašno (slika 4) je brašno dobiveno mljevenjem kukuruza. Nutritivne vrijednosti u 100 g brašna su: energetska vrijednost (361 kcal/1518 kJ), masti (2.6 g), zasićene masne kiseline (0.4 g), ugljikohidrati (24 g), šećeri (1.3 g), bjelančevine (7 g), sol (0.2 g). Dodavanjem kukuruznog brašna peletima probala se postići bolja povezanost između čestica unutar peleta (www.podravka.hr).



Slika 4. Kukuruzno brašno

PRIPREMA UZORAKA

Sama priprema uzoraka je započela usitnjavanjem koje se sastojalo od dvije faze, prva se izvodila pomoću čekića, dlijeta i voćarskih škara. Pomoću navedenog alata usitnjavala se drvena građa jelovine, kukuruzni oklasak i grančice vinove loze kako bi se mogle pripremiti za drugu fazu usitnjavanja - usitnjavanje mlinom.

Druga se faza izvodila pomoću mlina Retsch SM 300 (slika 5) koji za usitnjavanje koristi spiralni nož (slika 6) i sito četvrtastog otvora (promjera 2 mm), a sama frekvencija vrtnje noža je iznosila 1500 min^{-1} .



Slika 5. Mlin SM 300



Slika 6. Spiralni nož



Slika 7. Usitnjena jelovina



Slika 8. Usitnjena vinova loza



Slika 9. Usinjeni kukuruzni oklasak

Nakon usitnjavanja osnovne sirovine odvojila se određena količina svakog uzoraka za ispitivanja osnovne sirovine i za izradu smjesa uzoraka od kojih će se peleti prešati. Na osnovnoj sirovini su se provodila ispitivanja: granulometrijski sastav, sadržaj vode i udio pepela. Isprešanim peletima su se ispitivala svojstva: sadržaj vode, udio pepela, dimenzijska stabilnost, gustoća pojedinog peleta, maksimalna tlačna čvrstoća, vodoupojnost i kalorijska vrijednost.

LEGENDA UZORAKA OSNOVNIH SIROVINA

Tablica 3. Legenda uzoraka osnovnih sirovina

| | |
|--------|-------------------|
| V.L. | VINOVA LOZA |
| JE. | JELOVINA |
| KU.OK. | KUKURUZNI OKLASAK |
| KU.BR. | KUKURUZNO BRAŠNO |

GRANULOMETRIJSKI SASTAV

Nakon usitnjavanja i odvajanja osnovne sirovine jelovine, kukuruznog oklasaka i vinove loze provodilo se testiranje granulometrijskog sastava. Testiranje je služilo za dobivanje uvida u količinu udjela finih čestica prije prešanja peleta. Fine čestice tzv. "prašina" nisu prikladna sirovina za prešanje peleta, a prema literaturi to su čestice manje od 0,5mm. (Stelte i dr., 2012).

ODREĐIVANJE SADRŽAJA VODE (HRN EN ISO 18134-3:2015)

Nakon što se osnovni materijal usitnio na željenu granulaciju, određuje se sadržaj vode. Mjerenje sadržaja vode se provodi pomoću sušionika koji ima mogućnost podešavanja temperature na $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ u kojem se uzorak osuši nakon čega se stavlja u eksikator na hlađenje. Pomoću analitičke vage s preciznošću 1 mg izvaže se masa prazne posudice (m_1), posudica s uzorkom (m_2) i na kraju posudica s apsolutno suhim uzorkom (m_3), te se zatim izračuna sadržaj vode pomoću formule:

$$M = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} \times 100$$

ODREĐIVANJE SADRŽAJA PEPELA (HRN EN ISO 18122:2015)



Slika 10. Mufolna peć

Određivanje sadržaja pepela provodi se u mufolnoj peći marke Nabertherm L9/13/B180 (slika 10). Pomoću analitičke vage s preciznošću od 1 mg važe se masa praznih keramičkih posudica koje se napune s 1 g uzorka nakon čega se slažu unutar peći, a svojstvo svakog uzorka određuje se u tri ponavljanja. Ispitivanje započinje jednolikim podizanjem temperature na 250 °C u trajanju od 30 minuta, a postignuta temperatura se zadržava sljedećih 60 minuta radi isparavanja hlapivih komponenti iz materijala. U sljedećih 30 minuta peć se zagrijava do konačne temperature od 550±10 °C i sama temperatura se zadržava još 120 minuta.



Slika 11. Eksikator s uzorcima

Nakon završetka procesa peć se prazni, a uzorci (slika 12) se 5 do 10 minuta hlade na otvorenom nakon čega se stavljaju u eksikator (slika 11) da se ohlade na sobnu temperaturu i na kraju se uzorak ponovno važe.



Slika 12. Isprženi uzorci

Izračun sadržaja pepela se provodi po formuli:

$$A_{db} = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100 \times \frac{100}{100 - M_{ad}}$$

A_{db} – sadržaj pepela (%)

m_1 – masa posude (g)

m_2 – masa posude i uzorka prije žarenja (g)

m_3 – masa posude i uzorka nakon žarenja (g)

M_{ad} – sadržaj vode (%)

KONDICIONIRANJE UZORAKA

Nakon što se materijal usitnio stavlja se u klima komoru (slika 13) na kondicioniranje koje traje tjedan dana, a ono se provodilo na temperaturi od 30 °C i relativnoj vlazi zraka 80 % u svrhu postizanja što ujednačenijeg sadržaja vode koji pri navedenim parametrima iznosi 12 do 13 %.



Slika 13. Klima komora

Nakon kondicioniranja kreće proces pripreme 10 različitih smjesa uzoraka za izradu peleta pomoću legende (tablica 4) koja sadrži podatke o svim masenim udjelima uzoraka koji su se miješali.

Tablica 4. Legenda s omjerima za izradu smjese uzorka

| Parametar | udio sirovine (maseni) | | | |
|-----------------|------------------------|-------------|-------------------|------------------|
| | jelovina | vinova loza | kukuruzni oklasak | kukuruzno brašno |
| Mjerna jedinica | % | % | % | % |
| Grupa uzoraka | | | | |
| 1 | 100,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2 | 98,2 | 0,0 | 0,0 | 1,8 |
| 3 | 90,0 | 10,0 | 0,0 | 0,0 |
| 4 | 88,2 | 10,0 | 0,0 | 1,8 |
| 5 | 85,0 | 15,0 | 0,0 | 0,0 |
| 6 | 83,2 | 15,0 | 0,0 | 1,8 |
| 7 | 90,0 | 0,0 | 10,0 | 0,0 |
| 8 | 88,2 | 0,0 | 10,0 | 1,8 |
| 9 | 80,0 | 0,0 | 20,0 | 0,0 |
| 10 | 78,2 | 0,0 | 20,0 | 1,8 |

Smjesa se priprema po legendi (tablica 4) uz pomoć analitičke vage preciznosti od 1 mg i žlice za miješanje. Izvagana željena količina uzorka sipa se u praznu posudu i miješa žlicom. Dobivena smjesa se pomoću lijevka sipa u bočicu (slika 15) koja se nakon zatvaranja treba protresti.



Slika 14. Miješanje uzoraka



Slika 15. Bočice s pripremljenim uzorcima za peletiranje

PREŠANJE PELETA

Za proizvodnju peleta iz pripremljenih uzoraka upotrebljena je sljedeća oprema: analitička vaga, posudica, hidraulička preša, termometar, računalo sa softverom i mikrometar. Hidraulična preša (slika 16) sastoji se od dva odvojena hidraulična sklopa; 1.) vertikalni - kojim se ostvaruje tlak prešanja, a kojeg pokreće hidraulična pumpa (HAWE), 2.) horizontalni – koji služi za pomak zatvarača, a pogonjen je drugom hidrauličnom pumpom (WÖRNER). Sklopovi su neovisni jedan o drugome pa se tako vertikalnim sklopom može regulirati tlak i brzina protoka. Preša je opremljena s regulatorom temperature (Sestos PID temperaturni kontroler) i grijačem koji ima snagu 300 W, a za dodatnu provjeru temperature matrice koristi se termometar čije se sonde nalaze u utoru matrice. Dinamometar (HBM C9C / 20 kN) koristi se za mjerenje sile prešanja peleta. Računalom se očitava sila pomoću podataka dobivenih preko mjernog pojačala marke HBM Spyder 8 i softvera Catman 4.0.



Slika 16. Osnovni dijelovi preše



Slika 17. Analitička vaga

Postupak prešanja započinje vaganjem posudice s uzorkom čija masa iznosi 0.25 g, a sama matrica zagrijana je na 150 °C pomoću regulatora temperature i grijača koji je smješten na samoj matrici. Podešavanje sile od 5 kN s kojom će klip djelovati na uzorak vrši se pomoću regulatora tlaka i protoka, a sama sila se pratila pomoću pojačala i softvera na računalu. Na računalo su spojeni još analitička vaga i mikrometar pomoću kojih se mjeri masa, duljina i promjer proizvedenog peleta i svi podaci se automatski unose u odgovarajuće tablice za daljnje analize.



Slika 18. Punjenje matrice lijevkom



Slika 19. Spuštanje klipa na uzorak

Nakon što se preša zagrije, uzorak se pomoću lijevka stavlja u matricu (slika 18) i započinje s prešanjem uzorka tako što se povećava sila s kojom klip (slika 19) djeluje na uzorak do iznosa 5 kN. Nakon postignute sile ona se zadržava još 10 sekundi. Sila prestaje djelovati, otvara se matrica i lagano se djelovanjem klipa istisne uzorak u posudicu. Pelet se važe na analitičkoj vagi, a potom se na mikrometru mjere promjer i duljina peleta i tako se za svaku skupinu uzoraka ponavlja 20 puta. Na kraju se uzorci odlažu u epruvete (slika 20).



Slika 20. Izrađeni peleti u epruvetama

IZMJERA DIMENZIJA I ODREĐIVANJE GUSTOĆE POJEDINOG PELETA

Mjerenje dimenzija peleta (duljine i promjera) i mase nakon prešanja provodi se pomoću mikrometra sa stalkom (slika 21), a masa se važe na analitičkoj vagi s točnošću 1mg (Sartorius Talent TE214S-OCE). Uređaji su povezani s računalom koji pomoću softvera sprema podatke izmjera.



Slika 21. Mjerenje dimenzija peleta

Pomoću upisanih podataka u Excel tablicu izračunala se gustoća peleta. Gustoća se izračunava tako što se prvo izračuna njihov volumen po formuli:

$$V = \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 \times l$$

Nakon izračuna volumena računa se gustoća za koju je još potrebna masa uzorka, a formula izračuna je; $\rho = m / V$. Nakon izračuna potrebno je preračunati dobiven rezultat iz g/mm^3 u kg/m^3 .

Nakon što su se peletima izmjerile dimenzije stavljeni su u epruvete te ostavljeni na sobnoj temperaturi sedam dana da se stabiliziraju. Nakon sedam dana ponovo su se izmjerile njihove dimenzije (slika 21.). Nakon dobivenih podataka izračunala se promjena dimenzija peleta i izrazila u postocima kako bi se dobio uvid u dimenzijsku stabilnost peleta.

ODREĐIVANJE TLAKA PRI MAKSIMALNOJ VRIJEDNOSTI SILE PRILIKOM TLAČNOG ISPITIVANJA PELETA

Nakon izmjerenih podataka o promjeru, duljini i masi, započinje određivanje maksimalne vrijednosti sile pri tlačnom ispitivanju koje se provodilo na kidalici (Shimadzu Autograph AG – X plus) (slika 22). Peleti koji su se isprešali koriste se za ispitivanje, a svaka grupa uzoraka ima 10 peleta za ispitivanje.



Slika 22. SHIMADZU kidalica



Slika 23. Ispitivanje tlačne čvrstoće

Softverom (Trapezium X) se namješta početna visina glave vijka od 15 mm do ploče s peletom i započinje pomak vijka prema uzorku brzinom 300 mm/min. Na visini od 6,5 mm od osnovne ploče brzina pomaka se smanji na 1,5 mm/min i tom brzinom se provodi tlačno ispitivanje (slika 23). Ispitivanje je gotovo kada dođe do loma uzorka nakon čega se glava vijka vrati u početni položaj, a sam softver na računalu iscrtava tokom ispitivanja dijagram $F-dl$. Pomoću njega je moguće odrediti maksimalnu silu pri kojoj pelet puca te međusobno uspoređivati sve skupine peleta.



Slika 24. Pelet nakon ispitivanja

ODREĐIVANJE VODOUPOJNOSTI PELETA

U početku ispitivanja mjeri se masa prazne posudice (m_1) i masa posudice s uzorkom (m_2) te se navedene vrijednosti masa oduzimaju radi dobivanja mase uzorka. Nakon mjerenja uzorci se stavljaju na sušenje u sušionik (slika 25) na temperaturu od 103 ± 2 °C do konstantne mase.



Slika 25. Sušionik

Uzorci se ponovno važu i dobivena je masa posudice s osušenim uzorkom (m_3). Određivanje sadržaj vode osušenih uzoraka izračunava se pomoću formule:

$$M = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} \times 100$$

Proces počinje punjenjem klima komore (MEMMERT, IPP 55) (slika 13) s apsolutno suhim uzorcima i podešavaju se parametri temperature na 30 °C te relativne vlage zraka na 90 %. Ispitivanje se provodi u šest vremenskih perioda koji sveukupno traju 180 minuta.



Slika 26. Osušeni pelet

Vremenski intervali u kojima su uzorci tretirani u klima komori su 20 ; 40 ; 60 ; 90 ; 120 i 180 minuta. Nakon svakog intervala uzorci se vade iz komore i važe se njihova masa pomoću analitičke vage s preciznošću od 1 mg te se podaci unose u Excel tablicu za kasnije analize.

ODREĐIVANJE KALORIJSKE VRIJEDNOSTI



Slika 27. Kalup za prešanje tableta iz drvene sirovine

Ispitivanje započinje vaganjem materijala za izradu tablete, a za svaka tableta ima masu približno 1 g. Izvagani uzorci pune se u kalup koji ima 4 kanala promjera 13 mm.(slika 27).



Slika 28. Hidraulična ručna preša

Prešanje tableta od drvene sirovine se provodi uz primjenu ručne hidraulične preše (slika 28) tako što se u kanale kalupa stavljaju klinovi te se pomoću hidrauličnog cilindra ostvaruje sila 40 kN po uzorku. Navedena sila prešanja se zadržava 30 sekundi.

Završetkom prešanja sila se otpusti, a tablete (slika 29) se istisnu iz kanala i ponovno se važu na analitičkoj vagi (slika 17). Masa tablete za određivanje kalorijske vrijednosti potrebno je unijeti u kalorimetar.



Slika 29. Isprešana tableta od drvene sirovine

Ispitivanje kalorijske vrijednosti provodilo se kalorimetrom (IKA C200) (slika 31). Priprema kalorimetarske bombe započinje punjenjem kvarcne posudice izvaganom tabletom. Tableta se postavlja na celuloznu nit koja je zavezana za platinastu žicu za paljenje. Postavljeni uzorak se zatvara u bombu (slika 30) nakon čega se bomba puni kisikom.

Uređaj se napuni s 3 l vode čija je temperatura u rasponu 18 do 25 °C. Na kraju se bomba ulaže u kalorimetar i zatvara se poklopac, a za početak procesa unosi se točna masa uzorka nakon čega kalorimetar sam vodi proces.

Proces se sastoji od triju faza:

1. Faza – miješanje i stabilizacija temperature vode
2. Faza – paljenje i izgaranje tablete
3. Faza – izjednačavanje temperature vode

Na kraju treće faze na ekranu kalorimetra se iščitava bruto kalorijska vrijednost pri sadržaju vode u J/g .



Slika 30. Osnovni dijelovi bombe kalorimetra



Slika 31. Kalorimetar (IKA C200)

REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Svrha ovog rada bila je proizvesti pelete iz smjese obične jele (*Abies alba* Mill.) i poljoprivrednih ostataka, kukuruznog oklaska i vinove loze, a kao dodatak koristilo se kukuruzno brašno. Proizvedeni peleti moraju zadovoljavati svim normativnim uvjetima, a najvažniji su udio pepela, te goriva i mehanička svojstva. Peleti su proizvedeni i ispitani prema opisanim postupcima u materijalima i metodama, a dobiveni rezultati i izmjere upisivani su u Excel tablice pomoću kojih se može jasno iščitati i prodiskutirati o svojstvima proizvedenih peleta. Peleti iz skupine 1. odnosno peleti od čiste jele bez dodatka služiti će kao osnova po kojem će se uspoređivati dobivena svojstva ostalih smjesa.

REZULTATI ISPITIVANJA SIROVINE

GRANULOMETRIJSKI SASTAV SIROVINE

Tablica 5. Granulometrijski sastav jelovine

| Razred (μm) | N čestica | Udio fr. (%) | kum. % |
|--------------------------|---------------|--------------|--------------|
| 0,0 - 90,0 | 867427 | 0,13 | 0,13 |
| 90,0 - 100,0 | 85211 | 0,04 | 0,17 |
| 100 - 125 | 180950 | 0,15 | 0,33 |
| 125 - 140 | 131074 | 0,16 | 0,49 |
| 140 - 180 | 225550 | 0,53 | 1,02 |
| 180 - 250 | 255661 | 1,38 | 2,4 |
| 250 - 355 | 230125 | 3,42 | 5,82 |
| 355 - 500 | 156331 | 6,54 | 12,37 |
| 500 - 710 | 105048 | 12,12 | 24,49 |
| 710 - 1000 | 54364 | 17,33 | 41,82 |
| 1000 - 1400 | 22209 | 19,13 | 60,95 |
| 1400 - 2000 | 7818 | 18,65 | 79,6 |
| 2000 - 10000 | 2228 | 20,4 | 100 |
| 10000 - 20000 | 0 | 0 | 100 |

Tablica 6. Granulometrijski sastav kukuruznog oklaska

| Razred (μm) | N čestica | Udio fr. (%) | kum. % |
|--------------------------|---------------|-----------------|--------------|
| 0,0 - 90,0 | 1032653 | 0,14 | 0,14 |
| 90,0 - 100,0 | 84505 | 0,03 | 0,18 |
| 100 - 125 | 193316 | 0,15 | 0,33 |
| 125 - 140 | 158086 | 0,17 | 0,5 |
| 140 - 180 | 250609 | 0,53 | 1,03 |
| 180 - 250 | 273487 | 1,31 | 2,35 |
| 250 - 355 | 243506 | 3,19 | 5,54 |
| 355 - 500 | 152107 | 5,62 | 11,16 |
| 500 - 710 | 102457 | 10,58 | 21,73 |
| 710 - 1000 | 65257 | 19,04 | 40,77 |
| 1000 - 1400 | 41075 | 32,23 | 73 |
| 1400 - 2000 | 12688 | 24,44 | 97,44 |
| 2000 - 10000 | 485 | 2,56 | 100 |
| 10000 - 20000 | 0 | 0 | 100 |

Tablica 7. Granulometrijski sastav vinove loze

| Razred (μm) | N čestica | Udio fr. (%) | kum. % |
|--------------------------|---------------|-----------------|-------------|
| 0,0 - 90,0 | 841641 | 0,05 | 0,05 |
| 90,0 - 100,0 | 70622 | 0,01 | 0,06 |
| 100 - 125 | 156850 | 0,05 | 0,11 |
| 125 - 140 | 123848 | 0,06 | 0,17 |
| 140 - 180 | 200539 | 0,18 | 0,35 |
| 180 - 250 | 228027 | 0,46 | 0,81 |
| 250 - 355 | 213132 | 1,19 | 2 |
| 355 - 500 | 147326 | 2,31 | 4,31 |
| 500 - 710 | 105774 | 4,61 | 8,92 |
| 710 - 1000 | 64013 | 7,77 | 16,69 |
| 1000 - 1400 | 34599 | 11,44 | 28,13 |
| 1400 - 2000 | 18027 | 16,81 | 44,94 |
| 2000 - 10000 | 10750 | 55,06 | 100 |
| 10000 - 20000 | 0 | 0 | 100 |

Dobiveni rezultati ispitivanja su upisani i prikazani pomoću Excel tablica u kojima su vidljivi udjeli pojedinih frakcija. Sva količina sirovine koja se nalazi ispod 500 μm smatra se finim česticama, koje nisu najpodobnije za prešanje peleta. Nakon uspoređivanja frakcija triju osnovnih sirovina može se zaključiti da najveći udio finih čestica sadrži sirovina jelovine čija kumulativna vrijednost iznosi 12,37 %, a najmanji udio finih čestica je imala sirovina vinove

loze te je njena kumulativna vrijednost iznosila 2 %. Kukuruzni oklasak je imao malo manji udio finih čestica od jelovine, a on je iznosio 11,16 % (tablice 4, 5, 6).

SADRŽAJ VODE SIROVINE



Dijagram 1. Sadržaj vode u sirovini

Pomoću dijagrama 1 može se iščitati sadržaj vode osnovne sirovine koja se upotrebljavala za pripremu uzoraka. U grafu se vidi da daleko najveći sadržaj ima vinova loza, a najmanji sadržaj je pokazala jelovina, dok kukuruzni oklasak i kukuruzno brašno ne pokazuju značajnu razliku u sadržaju vode od jelovine.

SADRŽAJ VODE SMJESE ZA IZRADU PELETA



Dijagram 2. Sadržaj vode smjesa za izradu peleta

Pomoću dobivenih rezultata koji su prikazani u dijagramu 2, može se zaključiti da sve smjese imaju sličan sadržaj vode. Sve prosječne vrijednosti sadržaja vode iznose blizu 13 %, dok je malo niži sadržaj vode dobiven kod uzorka 9. (jela 80 % i kukuruzni oklasak 20 %) i uzorka 10. (jela 78.5 %, kukuruzni oklasak 20 % i kukuruzno brašno 1.5 %) i iznosi blizu 12 %. Iz toga se može reći da povećavanjem udjela kukuruznog oklaska u smjesi pada sadržaj vode. Sadržaj vode sirovine za prešanje u iznosu od 12 do 14 % smatra se povoljnim za prešanje (Dujmović i dr., 2022)

SADRŽAJ PEPELA SIROVINE



Dijagram 3. Udio pepela osnovne sirovine

Prikazani dijagram 3 prikazuje prosječni sadržaj pepela osnovne sirovine i može se vidjeti da jelovina ima najmanji sadržaj pepela. Od ostalih sirovina najbolje se pokazalo kukuruzno brašno koje je blizu rezultata drva jele, a najveći sadržaj pepela se dobio spaljivanjem vinove loze.

REZULTATI ISPITIVANJA UZORAKA (PELETA)

SADRŽAJ VODE PELETA



Dijagram 4. Sadržaj vode peleta

Pomoću prikazanog dijagrama 4 može se vidjeti kako svi isprešani peleti zadovoljavaju ENplus standard u kojemu je propisano da svi razredi peleta moraju imati $\leq 10\%$ sadržaja vode. Isto tako može se iščitati kako su uzorak 3. (jela 90 % i vinova loze 10 %) i uzorak 7. (jela 90 % i kukuruzni oklasak 10 %) imali manji sadržaj vode od osnovnog uzorka jelovine, a najveći sadržaj vode je određen kod uzorka 8. i 9. Kod isprešanih peleta se uočilo kako povećanjem udjela poljoprivredne biomase u smjesi dolazi do povećanja sadržaja vode.

SADRŽAJ PEPELA PELETA



Dijagram 5. Sadržaj pepela peleta

Nakon ispitivanja i svrstavanja podataka u tablicu izrađen je dijagram 5 u kojem je vidljivo da peleti sa sadržajem pepela manjim od 0,7 % zadovoljavaju ENplus A1 standard, dok peleti čiji je sadržaj pepela veći od 0,7 i manji od 1,2 % zadovoljavaju ENplus A2 standard.

Iz dijagrama je još vidljivo da su najbolji rezultati dobiveni kod uzorka 2. (jela 98,5 % i kukuruzno brašno 1,5 %), a njihov prosjek je iznosio 0,49 % sadržaja pepela što je nešto manje od peleta čiste jele. Uzorak 5. (jela 85 % i vinova loza 15%) te uzorak 6. (jela 83,5 %, vinova loza 15 %, kukuruzno brašno 1.5 %) imaju najveći sadržaj pepela, ali zaključuje se da kod svih uzoraka u čijoj je smjesi vinova loza dolazi do lošijih rezultata sadržaja pepela. Iz rezultata uzoraka koji sadrže kukuruzni oklasak (uzorci 7, 8, 9, 10) može se jasno iščitati kako uzorci koji imaju manji postotak kukuruznog oklaska u smjesi daju bolje rezultate, a najbolji rezultat je postignut kod uzorka 8. gdje se kao dodatak u smjesu dodalo kukuruzno brašno.

DIMENZIONALNA STABILNOST PELETA

Nakon prešanja peleta mjere se njihove osnovne dimenzije, a to su duljina i promjer te ih se ostavlja sedam dana u otvorenim epruvetama u laboratoriju u kojem su konstantni uvjeti temperature i relativne vlage zraka. Uvjeti u laboratoriju se prate pomoću "Data Logger"-a, a izmjerene su srednje vrijednosti relativne vlage od 57 % i temperature od 17 °C.



Dijagram 6. Dimenzijska stabilnost – promjena duljine



Dijagram 7. Dimenzijska stabilnost – promjena promjera

Pomoću dijagrama 6 i 7 s rezultatima prosječnih vrijednosti promjena dimenzija, može se vidjeti da skoro svi uzorci različitih smjesa imaju veću dimenzijsku stabilnost u odnosu na standardni pelet izrađen od čiste jelovine. Najveća dimenzijska promjena dogodila se kod uzorka 7. (jela 90 % i kukuruzni oklasak 10 %) u svim smjerovima, odnosno u duljini i promjeru. Analizom dijagrama dolazi se do zaključka da na dimenzijsku stabilnost isprešanih peleta ima velik utjecaj dodatak kukuruznog brašna koji znatno smanjuje dimenzijske promjene, a kao dokaz možemo uzeti uzorak 2 (smjesa jele 98,5 % i kukuruznog brašna 1,5 %) koji ujedno ima i najbolju dimenzijsku stabilnost.

GUSTOĆA PELETA



Dijagram 8. Gustoća pojedinog peleta

Proizvedenim peletima kojima je ispitivana gustoća i tlačno ispitivanje maksimalne sile mjerene su dimenzija i masa. Pomoću izmjerenih vrijednosti računala se gustoća svih 10 uzoraka peleta, a mjerilo se 10 peleta po svakoj smjesi. Iz dijagrama 8 vidi se da proizvedeni peleti od jelovine tj. uzorak 1. ima malu gustoću, dok se najmanja gustoća pokazala kod uzorka 3. (jela 90 % i vinova loza 10 %) te uzorka 4. (jela 88,5 %, vinova loza 10 % i kukuruzno brašno 1,5 %). Nakon što su ispitani uzorci 5. i 6. zaključuje se da se povećanjem od 5 % udjela vinove loze u smjesi, postiže veća gustoća. Najveću gustoću daju peleti u čijoj se smjesi nalazi kukuruzni oklasak, a najveća prosječna vrijednost je dobivena kod uzorka 9. (jela 80 % i

kukuruzni oklasak 20 %). Kukuruzno brašno kao dodatak smjesi pokazao je u pozitivan utjecaj kod svih uzoraka kojima je dodan te je vidljiva veća gustoća u odnosu na uzorak bez dodatka brašna. Navedeno se ne odnosi na uzorak 10. (jela 78.5 %, kukuruzni oklasak 20 % i kukuruzno brašno 1,5 %) koji je pokazao manju gustoću od uzorka 9. i nalazi se u sredini po vrijednosti gustoće.

REZULTATI TLAČNOG ISPITIVANJA PELETA



Dijagram 9. Tlačno ispitivanje peleta

Ispitivanje maksimalne tlačne sile koju je izdržao pelet u radijalnom smjeru prije pojave loma provodilo se na 10 peleta. Iz dijagrama 9 vidljivo je da su najmanje maksimalne sile izmjerene kod uzoraka 9. i 10. i bile su na razini 180 N, odnosno da za razliku od uzoraka s vinovom lozom uzorci s kukuruznim oklaskom imaju manju čvrstoću na tlak. Kod uzorka 6. u čijoj je smjesi veći postotak vinove loze te dodatak kukuruznog brašna izmjerena je najveća maksimalna tlačna sila. Kad se uspoređuju rezultati uzorka 6. i uzorka 1. može se vidjeti da je dobivena puno veća tlačna čvrstoća. Ponovno kao i kod mjerenja gustoće uzorci peleta u kojima se nalazi kukuruzno brašno kao dodatak pokazali su bolja svojstva prilikom ispitivanja. Dodatak kukuruznog brašna jedino se pokazao nepovoljnim kod jelovine, jer se dobio nešto manji rezultat kod peleta uzorka 2. u odnosu na pelete izrađenih od čiste jelovine.

REZULTATI VODOUPOJNOSTI PELETA



Dijagram 10. Vodoupojnost peleta (uzorci 1 do 5)



Dijagram 11. Vodoupojnost peleta (uzorci 6 do 10)

Nakon ispitivanja vodoupojnosti koje se provodilo tri sata dobiveni su rezultati primitka vode uzoraka tretiranih u oštrim mikroklimatskim uvjetima. Iz dijagrama 10 i 11 vidljivo je da pelet iz čiste jelovine ima najveću vodoupojnost. Najmanju vodoupojnost je pokazao uzorak 4. (jela 88,5 %, vinova loza 10 % i kukuruzno brašno 1,5 %), a uzorak 3. (jela 90 %, vinova loza 10 %) koji u svojoj smjesi nema kukuruznog brašna pokazao je veću vodoupojnost. Kukuruzno

brašno se pokazalo kao dobro sredstvo kao dodatak smjesi u proizvodnji peleta jer je poboljšalo svojstva osnovnog materijala iz kojeg su smjese rađene. Prilikom uspoređivanja rezultata primjećuje se da uzorci u kojima se koristila vinova loza kao materijal pokazuju manju vodoupojnost, a njihov prosječni sadržaj vode nakon 180 min tretiranja bio je manji od 8 %. Uzorci peleta u kojima se nalazi kukuruzni oklasak kao sirovina pokazali su bolja svojstva od peleta iz jelovine. Ispitivanje vodoupojnosti proizvedenih peleta služi da bi se dobila informacija o ponašanju peleta prilikom skladištenja u vlažnim uvjetima.

REZULTATI KALORIJSKE VRIJEDNOSTI PELETA

U Excel tablicama se upisivao prosječan sadržaj vode svih uzoraka i rezultati ispitivanja kalorijske vrijednosti. Bruto kalorijska vrijednost pri sadržaju vode se prepisivala s ekrana uređaja (kalorimetra), dok se bruto kalorijska vrijednost u apsolutno suhom stanju računala pomoću bruto kalorijske vrijednosti pri sadržaju vode te prosječnog sadržaja vode uzoraka.



Dijagram 12. Kalorijska vrijednost peleta

Iz priloženog dijagrama 12 vidljivo je da su uzorci 2, 5 i 6 postigli bolju kalorijsku vrijednost u usporedbi s uzorkom čiste jelovine. Ostali ispitani uzorci su pokazali slabiju ogrjevnu vrijednost. Dodatkom oklaska koji imaju nižu kalorijsku vrijednost od čiste jele dobile su se smjese niže ogrjevne vrijednosti. Dodatkom 10 % vinove loze dobivena je niža ogrjevna

vrijednost peleta u odnosu na pelete iz čiste jela, dok je dodatkom 15 % vinove loze ogrjevna vrijednost porasla.

Prilikom ispitivanja kalorijske vrijednosti dodatak kukuruznog brašna pokazao se kod većine uzoraka kao poboljšanje kalorijske vrijednosti osim kod uzorka 4. (jela 88,5 %, vinova loza 10 % i kukuruzno brašno 1,5 %) i uzorka 10. (jela 78.5 %, kukuruzni oklasak 20 % i kukuruzno brašno 1,5 %) gdje se dobila manja vrijednost u odnosu na uzorke bez njegovog dodatka.

RASPRAVA I ZAKLJUČCI

U ovom završnom radu provedena su laboratorijska istraživanja na peletima iz drvene biomase i peletima izrađenih iz različitih smjesa drvene biomase (jele) i poljoprivredne biomase (vinova loza, kukuruzni oklasak i kukuruzno brašno). Isprešanim peletima su se ispitivala sljedeća svojstva: sadržaj vode, udio pepela, dimenzionalna stabilnost, gustoća, određivanje tlaka pri maksimalnoj vrijednosti sile prilikom tlačnog ispitivanja peleta, vodoupojnost i kalorijska vrijednost. Provedena ispitivanja su dala uvid je li moguće proizvesti pelet iz kombinacije drvene i poljoprivredne sirovine, a da njegova svojstva budu jednaka svojstvima drvnog peleta.

Peleti iz smjese jele i vinove loze su se pokazali najbolji kod ispitivanja sadržaja vode, tlačnog ispitivanja i vodoupojnosti. Isto tako peleti u čijoj smjesi je bio veći udio vinove loze imali su najbolje kalorijske vrijednosti. Problem ovih peleta je bio udio pepela i njihova mala gustoća.

Iako je najbolja gustoća postignuta kod peleta iz smjese jele i kukuruznog oklaska pokazalo se da su kod navedenih peleta ostala svojstva lošija od peleta iz smjese vinove loze i jele osim udjela pepela. Ipak i ovi peleti su pokazali u nekim svojstvima osim gustoće da su bolji od peleta iz drvene biomase, a ta svojstva su dimenzionalna stabilnost i vodoupojnost.

Sve smjese iz kojih su se proizveli peleti imali su i uzorke istih smjesa u kojima se kao dodatak koristilo kukuruzno brašno pomoću kojeg su se dobivali još bolji rezultati kod skoro svakog ispitivanja.

Početni sadržaj vode smjesa pripremljenih za peletiranje, a koji je bio između 12 i 13 %, pokazao se podobnim za uspješno prešanje peleta, što je u skladu s Dujmović i dr. (2022), gdje se navode slične vrijednosti koje su potrebne za ostvarivanje uspješnog prešanja drvene i/ili poljoprivredne sirovine.

Općenito, povećanjem udjela poljoprivrednog ostatka u smjesi za peletiranje, raste i udio pepela u isprešanim peletima. Ovaj zaključak je očekivan s obzirom na rezultate ispitivanja sadržaja pepela osnovnih sirovina, gdje su vinova loza i kukuruzni oklasak pokazali značajno više vrijednosti od drva jelovine. Ovi rezultati su u skladu s Kamperodou i dr. (2017), koji su

također zaključili kako je udio pepela u drvu (0,5 %) značajno manji od onog u nekim vrstama poljoprivrednog ostatka (čak 9,9 %).

Dodatak vinove loze se pokazao kao prednost kod ispitivanja kalorijske vrijednosti, što iznenađuje s obzirom na visok udio pepela. Preporučuju se dodatna istraživanja za utvrđivanje ovisnosti dodavanja poljoprivrednog ostatka i kalorijske vrijednosti.

Pomoću ovoga rada možemo ukazati da je moguće proizvesti pelete iz smjese drvene i poljoprivredne biomase čija svojstva će zadovoljavati propisane standarde, a i samim time da bi bilo jako korisno provođenje daljnjih istraživanja u svrhu poboljšanja dobivenih rezultata ili pronalaska bolje smjese osnovnih sirovina.

LITERATURA

Dujmović, M., Šafran, B., Jug, M., Radmanović, K., Antonović, A., 2022: Biomass Pelletizing Process: A Review. *Drvna industrija*, 73 (1), str. 99-106

ENplus, Quality Certification Scheme For Wood Pellets: Enplus Handbook, Part 3: Pellet Quality Requirements, 2015, str. 7

Horvat, I., Krpan, J., 1985: Osnovne nauke o drvu. Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb, 26, str. 57-58

Kamperodou, V., Lykidis, C., Barmpoutis, P., 2017: Assessment of the Thermal Characteristics of Pellets Made of Agricultural Crop Residues Mixed with Wood, *Crop residue in pellets*, *BioResources* 12(4), str. 9263-9272

Mobini, M., Meyer, J. C., Trippe, F., Sowlati, T., Fröhling, M., Schultman, F., 2014: Assessing the integration of torrefaction into wood pellet production. *Journal of Cleaner Production*, 78, str. 216-225

Šafran, B.: Ovisnost mehaničkih svojstava peleta o ulaznim veličinama drvene sirovine, Šumarski fakultet Zagreb 2015

Internetski izvori:

<http://hirc.botanic.hr/fcd/KorisnoBilje/Detalji.aspx?IdVrste=149>

<https://hr.andamanislandtrip.com/kukuruzno-brasno-korisna-svojstva-i-steta-444>

<https://hrcak.srce.hr/file/192534>

<https://hrcak.srce.hr/file/293573>

<https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/2992>

<https://priodahrvatske.com/2020/03/22/jela-kraljica-planinskih-suma/>

<https://termometal.hr/blog/clanci/kako-prepoznati-kvalitetan-pelet-18/>

<https://web.archive.org/web/20090529014217/http://www.zagorskevinskeceste.net/str.aspx?id=povijest>

<https://web.archive.org/web/20100911095407/http://www.poslovni.hr/vijesti/proizvodaci-izvoze-pelete-jer-ih-u-hrvatskoj-nitko-nece-105691.aspx>

https://web.archive.org/web/20160304185647/http://www.obz.hr/vanjski/CD_AGBASE2/index.htm

<https://www.agroklub.com/kolumna/slavonci-ih-bacaju-i-pale-talijani-prodaju/27874/>

<https://www.drvnipelet.hr/o-drvnom-peletu/>

https://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/2_OIE_Jukic_biomasa%5B1%5D.pdf

<https://www.forestresearch.gov.uk/>

<https://www.podravka.hr/proizvod/kukuruzno-brasno/>