

Proizvodnja peleta iz biomase dobivene iz ne-drvnih i poljoprivrednih ostataka

Rašić, Dominik

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:466527>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-14**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Dominik Rašić

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Davor Ljubas, dipl.ing

Student:

Dominik Rašić

Zagreb, 2019.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru, prof.dr.sc. Davoru Ljubasu, na pomoći, uloženom trudu i savjetima tijekom pisanja završnog rada; Marku Skozritu, lab.tehn. na pomoći tijekom izvođenja svih pokusa unutar Laboratorija za vodu, gorivo i mazivo.

Zahvaljujem se tvrtki EURO-TIM d.o.o. koja mi je omogućila uzorke peleta za analizu te potrebne podatke o proizvodnji peleta. Zahvaljujem se prijateljici Ines Grivičić bez koje ta suradnja ne bi bila moguća.

Ponajviše se zahvaljujem roditeljima i obitelji na pruženoj podršci, moralnoj, financijskoj i svakoj drugoj podršci tijekom ovih godina studiranja.

Posebnu zahvalu dugujem svojoj djevojci Ivani na podršci koju mi je pružila tijekom proteklih godina te i na samoj pomoći oko izrade završnog rada.

Također, zahvaljujem se i svojim prijateljima koji su mi uljepšali i olakšali studiranje.

Dominik Rašić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomске ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Dominik Rašić** Mat. br.: 0035201684

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Proizvodnja peleta iz biomase dobivene iz ne-drvnih i poljoprivrednih ostataka**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Production of biomass pellets obtained from non-wood and agricultural residues**

Opis zadatka:

Biomasa se može nazvati svaki prirodni organski materijal koji se može iskoristiti kao gorivo ili za proizvodnju goriva (biogorivo). Osim drvene biomase i ostataka prilikom prerade drva, ostala biomasa na raspolaganju kao potencijalno gorivo obuhvaća ostatke i otpatke u poljoprivredi, životinjski otpad i ostatke, razne druge oblike otpada te energetske usjeve (brzo rastuće drveće i trave poput miscanthusa, prosa, indijske konoplje, kukuruza, topole, vrbe...). Biogoriva se mogu koristiti u prometu za pogon vozila, ali i za direktno izgaranje u pećima i kotlovima. Njihova uobičajena podjela je na prvu, drugu, treću i četvrtu generaciju, ovisno o izvoru materijala za proizvodnju, troškovima proizvodnje, cijeni i emisiji CO₂.

Peletiranje je postupak pripreme proizvoda – peleta – ugušćivanjem u obliku valjčića (češće) ili kuglica (rjeđe) koji se sastoji od mehaničkog zbijanja piljevine, blanjevine ili bruševine s vezivnim sredstvom ili bez njega. Peleti izrađeni od biomase u odnosu na fosilna goriva ekološki su prihvatljiviji oblik goriva, a predviđeni su za direktno izgaranje.

Stoga je u ovom radu potrebno:

- objasniti podjelu biogoriva prema tzv. generacijama (1. - 4.)
- definirati osnovne pojmove vezane uz svojstva, proizvodnju i korištenje peleta iz ne-drvnih i poljoprivrednih ostataka te posebno naglasiti prednosti i eventualne nedostatke postupka peletiranja biomase
- prikazati i objasniti zahtjeve međunarodnih i domaćih normi vezanih za pelete
- nabaviti nekoliko uzorka peleta od ne-drvnih i poljoprivrednih ostataka dostupnih na tržištu i obaviti na njima osnovne laboratorijske analize (vlaga, dimenzije, nasipna gustoća, pepeo, gornja i donja ogrjevna vrijednost).

U završnom dijelu rada potrebno je istražiti koje su količine energije potrebne za proizvodnju jedinične količine pojedinih vrsta ne-drvnih peleta te prikazati procijenjene količine i udio peleta u količini biogoriva koja se koriste u Republici Hrvatskoj i u nekoliko odabranih europskih zemalja.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

29. studenog 2018.

Rok predaje rada:

1. rok: 22. veljače 2019.
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2019.
3. rok: 20. rujna 2019.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 25.2. - 1.3. 2019.
2. rok (izvanredni): 2.7. 2019.
3. rok: 23.9. - 27.9. 2019.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Davor Ljubas

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Igor Balen

Sadržaj

POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA.....	III
POPIS OZNAKA	IV
SAŽETAK.....	V
SUMMARY	VI
1. UVOD	1
2. PELETI	3
2.1. Proizvodnja peleta (peletiranje).....	3
2.1.1. Postrojenje za proizvodnju agropeleta ProPelety.....	4
2.2. Prednosti peletiranja biomase	5
2.3. Nedostaci peletiranja biomase	5
3. NORME	6
3.1. Hrvatske norme za pelete	6
3.2. Europske norme za pelete.....	8
4. ISTRAŽIVAČKO-EKSPERIMENTALNI DIO	10
4.1. Uzorci za ispitivanje	10
4.2. Ispitivanja u laboratoriju za vodu, gorivo i mazivo (LVGM) FSB-a	11
4.2.1. Određivanje sadržaja vlage (HRN EN 14774-3:2010 [9]).....	12
4.2.1.1. Rezultati određivanja sadržaja vlage	14
4.2.2. Određivanje nasipne gustoće.....	16
4.2.2.1. Rezultati mjerenja nasipne gustoće.....	17
4.2.3. Određivanje sadržaja pepela (HRN EN 14775:2010 [11])	17
4.2.3.1. Rezultati određivanja sadržaja pepela.....	19
4.2.4. Određivanje ogrjevne vrijednosti	19
4.2.4.1. Gornja i donja ogrjevna vrijednost	23
4.2.4.2. Rezultati određivanja gornje i donje ogrjevne vrijednosti.....	23
4.3. Analiza rezultata ispitivanja u laboratoriju.....	24
5. ZASTUPLJENOST PELETA.....	25
5.1. Analiza tržišta peleta u Republici Hrvatskoj	25
5.2. Analiza tržišta peleta u Republici Austriji.....	26
6. ZAKLJUČAK	29
7. LITERATURA	30

POPIS SLIKA

Slika 1.	Ciklus ugljika i CO ₂ u prirodi	1
Slika 2.	Peleti	3
Slika 3.	Postrojenje za proizvodnju agropeleta ProPelety [4]	4
Slika 4.	Tržišni oblici čvrstih biogoriva [6]	7
Slika 5.	Primjer deklaracije proizvoda [6]	8
Slika 6.	Uzorak A	10
Slika 7.	Uzorak B	10
Slika 8.	Uzorak C	11
Slika 9.	Korištena oprema u laboratoriju	12
Slika 10.	Uzorci A,B i C u sušioniku	13
Slika 11.	Hlađenje u eksikatoru (lijevo) i vaganje uzoraka nakon sušenja (desno)	14
Slika 12.	Osušeni usitnjeni uzorci a,b i c	14
Slika 13.	Određivanje nasipne gustoće	16
Slika 14.	Uzorci prije žarenja (lijevo) i poslije žarenja (desno)	18
Slika 15.	Shematski prikaz adijabatskog kalorimetra [12]	20
Slika 16.	Tablete benzojeve kiseline	21
Slika 17.	Ukupna opskrba primarnom energijom u Austriji u 2016.god. [19]	27
Slika 18.	Ukupna opskrba primarnom energijom iz obnovljivih izvora u Austriji u 2016.god [19]	27
Slika 19.	Ukupna opskrba primarne energije iz bioenergije u Austriji u 2016. god [19]	28

POPIS TABLICA

Tablica 1.	Popis nekoliko usvojenih normi [6]	7
Tablica 2.	Pregled normi za drvene pelete [8].....	9
Tablica 3.	Popis korištene opreme	11
Tablica 4.	Rezultati određivanja sadržaja vlage	15
Tablica 5.	Rezultati mjerenja nasipne gustoće, g/L	17
Tablica 6.	Rezultati određivanja sadržaja pepela	19
Tablica 7.	Toplinski kapacitet kalorimetra.....	23
Tablica 8.	Gornja i donja ogrjevna vrijednost.....	24
Tablica 9.	Proizvodnja primarne energije [17].....	25

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
M_{ad}	%	sadržaj vlage u analiziranom uzorku na osnovi suh na zraku (engl. <i>air dried/as analysed</i>), (W)
A_{ad}	%	sadržaj pepela u analiziranom uzorku na osnovi suh na zraku (engl. <i>air dried/as analysed</i>), (A)
m_1	g	masa praznog staklenog/keramičkog posuđa
m_2	g	masa staklenog/keramičkog posuđa s uzorkom prije sušenja/žarenja
m_3	g	masa staklenog/keramičkog posuđa s uzorkom nakon sušenja/žarenja
C	J/K	toplinski kapacitet sustava (vodena vrijednost kalorimetra)
H_B	J/g	ogrjevna vrijednost poznate ili standardne tvari (benzojeve kiseline)
m_B	g	masa poznate ili standardne tvari (benzojeve kiseline)
Q	J	zbroj svih količina vanjske energije (žice i konca)
ΔT	°C	mjereni temperaturni porast ($T_K - T_P$)
T_P	°C	početna temperatura očitana na kalorimetru (početak izgaranja)
T_K	°C	konačna temperatura očitana na kalorimetru (kraj izgaranja)
H_U	J/g	ukupna (kalorimetrijska) ogrjevna vrijednost uzorka koji se ispituje
m_U	g	masa uzorka čija se ogrjevna vrijednost ispituje
H_g	J/g	gornja ogrjevna vrijednost
H_d	J/g	donja ogrjevna vrijednost
ρ	g/L	nasipna gustoća
m	g	masa uzorka
V	L	volumen posude

SAŽETAK

Biomasa se ubraja u obnovljivi izvore energije i predstavlja biorazgradivi dio proizvoda, koji se može ponovo iskoristiti bez dodatne štete za prirodu i okoliš. Rad se bavi istraživanjem prikladnosti peleta iz biomase dobivene

iz ne-drvnih i poljoprivrednih ostataka u svrhu grijanja. Analiziraju se ukupno tri uzorka ne-drvnih peleta proizvedenih u Republici Hrvatskoj. Ispitivanja peleta se provode u redom navedenim kategorijama: sadržaj vlage, nasipna gustoća, sadržaj pepela te gornja i donja ogrjevna vrijednost u Laboratoriju za vodu, gorivo i mazivo Fakulteta strojarstva i brodogradnje. Nakon provedenih ispitivanja odredit će se koji je od uzoraka najprikladniji za svrhu grijanja. Od analizirana tri uzorka peleta, najprikladnijim se pokazao pelet od slame uljane repice i slame soje.

Ključne riječi: biomasa, peleti, ogrjevna vrijednost, grijanje

SUMMARY

Biomass makes parts of renewable sources of energy and it represents biodegradable part of a product, that can be reused without additional damage to nature and the environment. This thesis deals with the suitability of biomass pellets obtained from non-wood and agricultural residues for heating purposes. There is a total of three samples of non-wood pellets produced in the Republic of Croatia that are being analyzed. Pellet tests are carried out in the following categories: humidity content, bulk density, ash content, and gross and net calorific values at the Laboratory for Water, Fuel and Lubricants of the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture. After the tests have been completed, which of the samples is most suitable for heating purposes will be determined. Of the three pellet samples analyzed, the most suitable was the pellet of rapeseed straw and soybean straw.

Keywords: biomass, pellets, calorific value, heating

1. UVOD

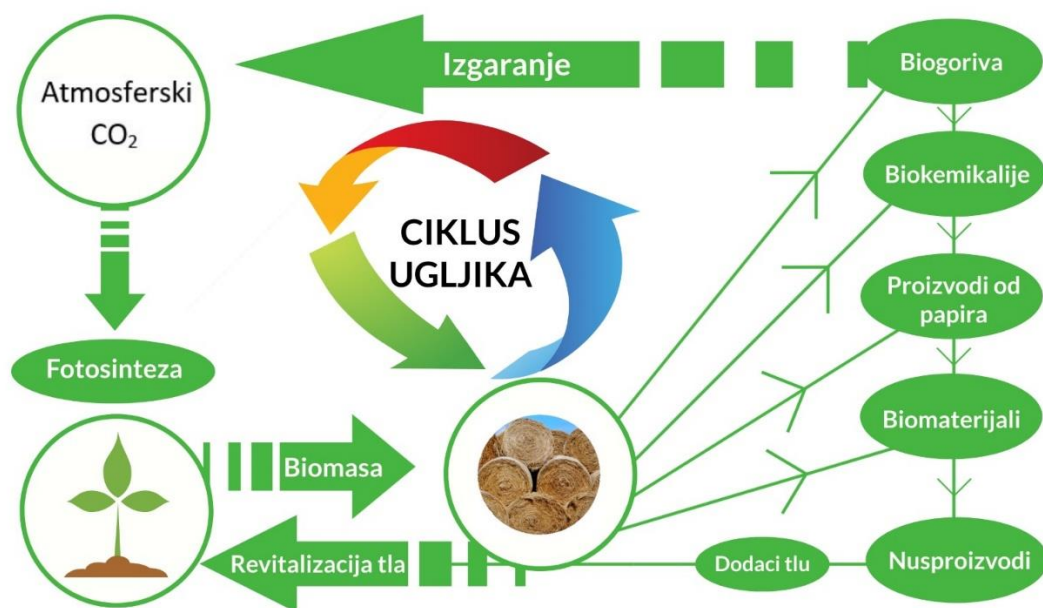
U Republici Hrvatskoj prema članku 4. Zakona o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (NN 111/18) pojam biomase definiran je kao biorazgradivi dio proizvoda, otpada i ostataka biološkog podrijetla iz poljoprivrede (uključujući tvari biljnog i životinjskog podrijetla), šumarstva i srodnih proizvodnih djelatnosti, uključujući ribarstvo i akvakulturu, kao i biorazgradivi dio industrijskoga i komunalnoga otpada. [1]

Biomasa se općenito može nazvati svaki prirodni organski materijal koji se može iskoristiti kao gorivo ili za proizvodnju goriva (biogorivo). Preradom biomase se mogu dobiti biogoriva. Ona mogu biti proizvedena direktno iz biljaka ili indirektno iz industrijskog ili poljoprivrednog otpada. Tri su osnovne metode proizvodnje biogoriva:

- spaljivanje suhog organskog otpada,
- fermentacija mokrog otpada
- fermentacija šećerne trske ili kukuruza.

Od navedenih fermentacija je najpoznatija i njome se dobivaju dvije najpoznatije vrste biogoriva: alkohol i esteri.

Biogoriva imaju potencijal smanjiti produkciju ugljikovog dioksida (CO_2). Biljke, iz kojih se proizvode biogoriva, apsorbiraju CO_2 tijekom svog rasta, koji oslobađaju ponovo prilikom sagorijevanja. Studije su pokazale kako biogoriva u usporedbi s fosilnim gorivima stvaraju znatno manje količine stakleničkih plinova te bi njihova uporaba, odnosno zamjena fosilnih goriva, značila značajnu redukciju efekta staklenika.



Slika 1. Ciklus ugljika i CO_2 u prirodi

Biogorivo se dijeli na tzv. generacije i to njih 4:

1. Prva generacija biogoriva;
2. Druga generacija biogoriva;
3. Treća generacija biogoriva;
4. Četvrta generacija biogoriva.

Prva generacija biogoriva su ona sastavljena od šećera, škroba, biljnog ulja i životinjskih masti. Osnovne sirovine za proizvodnju biogoriva prve generacije su žitarice i sjemenje poput pšenice koje daje škrob, a potom fermentira u bioetanol. U prvu generaciju se ubrajaju:

- Bioalkoholi
- Biodizel
- Biljno ulje
- Bioplin

Biogoriva **druge generacije** su ona goriva za čiju proizvodnju se rabi lignocelulozni dio biomase koji potječe od ostataka proizvodnje žitarica, biorazgradljivi dio otpada ili biljki i stabala namjenski uzgajanih za proizvodnju energije (Miscantus, sudanska trava, topola). Drugoj generaciji biogoriva pripadaju:

- Celulozni etanol
- Biovodik
- Biometanol

U **treću generaciju** biogoriva pripadaju biogoriva proizvedena iz mikro- i makroalgi. Alge biokemijskom ili termokemijskom pretvorbom stvaraju biogorivo. Velika prednost je to što su ta goriva biorazgradiva.

Četvrta generacija biogoriva temelji se na genetički modificiranim algama ili mikroorganizmima koji neposredno proizvode biogoriva, (etanol ili smjesu ugljikovodika) koji se potom izdvajaju jednostavnim postupcima izbjegavajući destrukciju biomase. [2]

U ovom radu će se istražiti peleti iz ne-drvnih i poljoprivrednih ostataka te će se ispitati u laboratoriju svojstva dobivenih uzoraka. Uz to će se navesti neke od europskih i hrvatskih normi za krutu biomasu te će se istražiti zastupljenost peleta kao biogoriva u Republici Hrvatskoj i pojedinim stranim zemljama.

2. PELETI

Peleti su proizvodi biomase, drvenog ili poljoprivrednog porijekla, uobičajenog valjkastog oblika promjera od 6 do 8 mm i duljine od 10 do 30 mm. Peleti se prešanjem biomase procesom zvanim peletiranje. Osim što se peleti većim dijelom proizvode za grijanje, proizvode se isto tako i za hranjenje životinja. Drveni peleti su najprodavaniji oblik biogoriva u svijetu.



Slika 2. Peleti

2.1. Proizvodnja peleta (peletiranje)

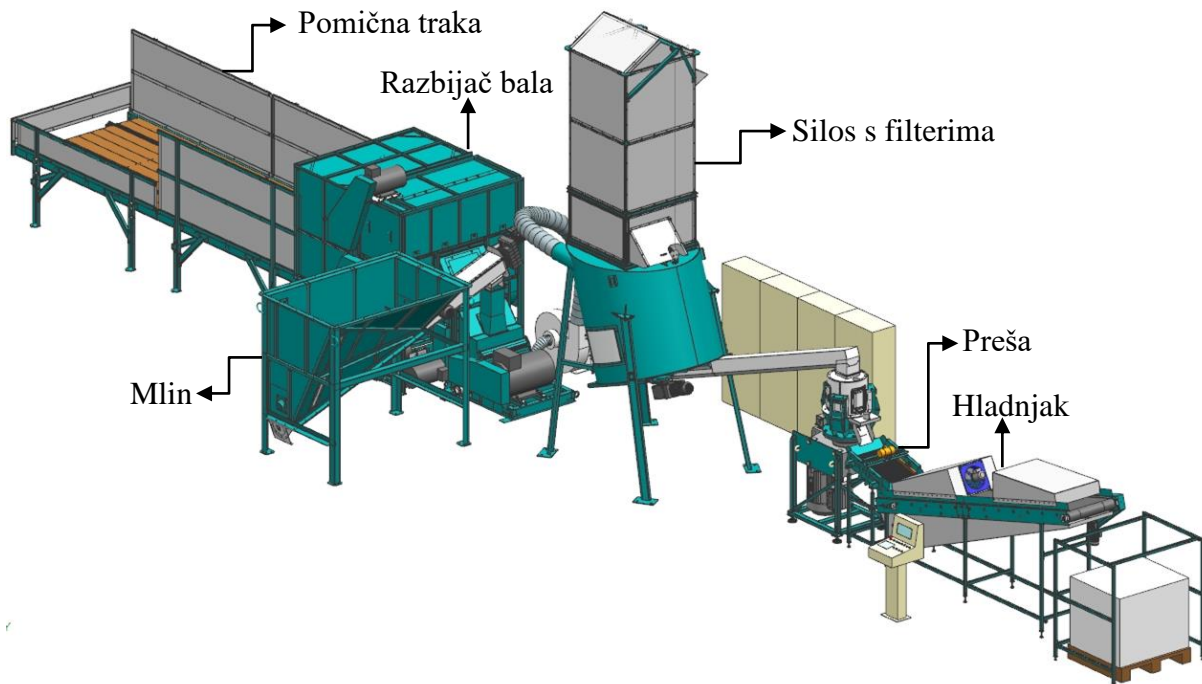
Peletiranje je termoplastični proces oblikovanja istiskivanjem, prilikom koje se sitne čestice formiraju u kompaktne pelete, pogodne za rukovanje. Proces peletiranja može se podijeliti u više faza:

- miješanje i homogeniziranje
- kondicioniranje
- peletiranje
- sušenje i hlađenje
- drobljenje

Za dobivanje boljih rezultata prilikom peletiranja, smjesa se zagrijava i ovlažuje parom kako bi se oslobodio lignin koji služi kao prirodno vezivo te pospješuje nastajanje peleta. Para se dodaje kondicioniranjem jer poboljšava proizvodnost, produžuje vijek trajanja matrice, smanjuje potrošnju energije te poboljšava kvalitetu peleta. [3]

Nakon peletiranja, peleti se moraju podvrgnuti hlađenju jer imaju visoku izlaznu temperaturu (90-95°C) te samim time i veliku sklonost lomljenju. Postupkom hlađenja, peleti se stabiliziraju, otporniji su na lom te su mogu lakše transportirati i skladištiti.

2.1.1. Postrojenje za proizvodnju agropeleta ProPelety



Slika 3. Postrojenje za proizvodnju agropeleta ProPelety [4]

Slika 3 prikazuje postrojenje za proizvodnju agropeleta češkog proizvođača ProPelety. Proizvodna linija sastoji se od ulaznog transportera za pripremu paketa, separatora, mlina, pneumatskog transporta, transporta za hlađenje, kontrolnog pulta, prese, opreme za doziranje te mnogih drugih dijelova. Karakteristike ovakvog postrojenja su kompaktna proizvodnja- od dovoda sirovine do skladištenja peleta, proizvodnja je automatizirana. Ovakva proizvodna linija zahtijeva površinu od svega 65 m² te su moguće izmjene i prilagodbe prema karakteristikama objekta, ali i prema zahtjevima kupca. U ovakvoj liniji za proizvodnju agropeleta kao ulazna sirovina mogu biti:

- sijeno
- slama od žitarica, uljarica i mahunarki
- ljuske, piljevina
- ostaci od čišćenja sjemenki
- specijalne energetske kulture: tritikal, kiseljak i slično

te mnoge druge. Izlazni proizvod su granule promjera 6-12mm dužine 1-3 promjera, bez kemijskih dodataka te s visokim stupnjem prešanja. [4]

2.2. Prednosti peletiranja biomase

Najveći značaj peletiranja biomase u proizvodnji energije je dobivanje proizvoda veće gustoće, bolje ogrjevne vrijednosti po jedinici volumena, što ima za posljedicu smanjenje troškova transporta i skladištenja. Ono što peletiranje biomase ima za prednost kod izgaranja za potrebe grijanja je što se dovod sirovine može automatizirati, a i sama gorivna svojstva su im poboljšana. Peletirana biomasa u svrhu proizvodnje energiju ima visok stupanj iskorištenja, radi u tihom režimu te koristi lako dostupnu paru kao vezivno sredstvo.

Biomasa za peletiranje je posvuda, obnovljiva je sirovina i upravo je to razlog koji potrošača čini neovisnim o nepredvidivoj cijeni nafte i plina. Već prije spomenuto je kako se korištenjem biogoriva smanjuje ispuštanje CO₂ u atmosferu, a i udio sumpora je znatno manji nego kod ostalih goriva. Peleti se mogu lako skladištiti i imaju dugi rok trajanja ukoliko nisu vlažni. Ekonomski su isplativi jer sami utrošak energije za njihovu proizvodnju manji je od proizvodnje loživog ulja, plina ili struje. [3]

2.3. Nedostaci peletiranja biomase

Najveća prepreka korištenju peletirane biomase su iznimno visoki troškovi investicija u Republici Hrvatskoj za kupnju uređaja za grijanje na pelete biomase zbog malih ili gotovo nikakvih državnih poticaja za kupnju uređaja. Isto tako, problem se javlja u održavanju sustava grijanja jer peleti u prosjeku sadrže 5-7% pepela u svom sastavu te je potrebno redovno čišćenje i uklanjanje pepela iz kotla.

3. NORME

Norma je dokument donesen konsenzusom i odobren od priznatoga tijela, koji za opću i višekratnu uporabu daje pravila, upute ili značajke za djelatnosti ili njihove rezultate s ciljem postizanja najboljeg stupnja uređenosti u danome kontekstu. Postoji više vrsta normi :

- Osnovna norma
- Terminološka norma
- Norma za ispitivanje
- Norma za proizvod
- Norma za proces
- Norma za uslugu
- Norma za sučelje
- Norma o potrebnim podacima [5]

Norme određuju, objavljuju i donose zavodi tj. organizacije za izradu i objavljivanje normi, a neke od njih su:

ISO – International Organization for Standardization, www.iso.org

CEN – European Committee for Standardization. www.cen.eu

HZN – Hrvatski zavod za norme, www.hzn.hr

3.1. Hrvatske norme za pelete

Hrvatske norme nastaju na četiri načina s odgovarajućim oznakama:

- Prihvaćanjem stranih normi uz prevedene na hrvatski jezik (pp)
- Prihvaćanjem stranih normi u izvorniku s hrvatskim ovitkom (po)
- Prihvaćanjem stranih normi u izvorniku objavom obavijesti o prihvaćanju (pr)
- Izradom izvorne hrvatske norme (izv.)

Hrvatski zavod za norme u svojoj normoteci ima dostupno 36 normi o čvrstim biogorivima koje su iz CEN/TC 335 *Solid biofuels* prihvatili kao hrvatske norme kroz tehničku upravu (TU N1). [8] Neke od prihvaćenih europskih normi donosimo u Tablici 1.

Tablica 1. Popis nekoliko usvojenih normi [6]

1.	HRN EN 14588:2010 Čvrsta biogoriva – Nazivlje, definicije i opisi
2.	HRN EN 14774-1:2010) Čvrsta biogoriva – Metode određivanja udjela vlage – Metoda sušionika – Prvi dio: Ukupna vlaga – Referentna metoda
3.	HRN EN 14774-2:2010 Čvrsta biogoriva – Metode određivanja udjela vlage – Metoda sušionika – Drugi dio: Ukupna vlaga – Pojednostavljena metoda
4.	HRN EN 14775:2010 Kruta biogoriva – Metoda određivanja udjela pepela
5.	HRN EN 14778:2011 Čvrsta biogoriva – Uzorkovanje
6.	HRN EN 14918:2010 Čvrsta biogoriva - Određivanje kalorične vrijednosti
7.	HRN EN 14961-1:2010 Opći zahtjevi
8.	HRN EN 14961-5:2011 Ogrjevno drvo za neindustrijsku uporabu

Naziv goriva	Tipična veličina čestice	Uobičajena metoda pripreme
Briketi	Ø > 25 mm	Mehanička kompresija
Peleti	Ø < 25 mm	Mehanička kompresija
Gorivo u prahu	< 1 mm	Mljevenje
Piljevina	1 mm do 5 mm	Rezanje oštrim alatima
Sječka, iver	5 mm do 100 mm	Rezanje oštrim alatima
Grubi iver	Različito	Lomljenje tupim alatima
Cjepanice	100 mm do 1000 mm	Rezanje oštrim alatima
Cijelo drvo	> 500 mm	Rezanje oštrim alatima
Male bale slame Velike bale slame Okrugle bale slame	0,1 m ³ 3,7 m ³ 2,1 m ³	Stisnute i povezane u četverokute Stisnute i povezane u četverokute Stisnute i povezane u cilindre
Svežnjevi	Različito	Polegnuti u dužinu i povezani
Kora	Različito	Ostatak odkoravanja stabala Može biti isjeckana ili ne
Sjeckana slama	10 mm do 200 mm	Sjeckano tijekom sječe
Zrno ili sjeme	Različito	Nema pripreme ni sušenja
Ljuske i koštice voća	5 mm do 15 mm	Nema pripreme
Pogača od vlakana	Različito	Pripremljeno od vlaknastog otpada isušivanjem

Slika 4. Tržišni oblici čvrstih biogoriva [6]

Slika 4. prikazuje tablicu tržišnih oblika čvrstih biogoriva preuzetu iz norme HRN EN 14961-1:2010 Čvrsta biogoriva – **Specifikacije goriva i klase- -Prvi dio: Opći zahtjev** te prikazuje uobičajene veličine čestica za određena goriva te metodu pripreme goriva.

Slika 5. prikazuje primjer deklaracije istaknuta na pakiranju peleta sa svim potrebnim informacijama u skladu s normom.

Deklaracija proizvoda – drvene sječke	
Dobavljač	Hrvatske šume, UŠP Vinkovci Šumarija
Norma osiguranja kvalitete	HRN EN 15234-1
Država porijekla (lokacija)	Hrvatska, Vinkovci
Oblik kojim se trguje	Drvene sječke
Normativna svojstva – HRN EN 14961-1	
Porijeklo	Mješavina drva očišćenog od manjih grana od bjelogoričnih i crnogoričnih stabala (1.1.3.1, 1.1.3.2)
Veličina materijala, P, mm	P45B
Udio vlage, M, w-%	M35
Udio pepela, w-% suhe tvari	A1.5
Informativna svojstva – EN 14961-1	
Neto kalorična vrijednost dostavljenog, Q, MJ/kg (najniža vrijednost)	Q11.5
Prosječna gustoća, BD, kg/m ³	BD200
Kemijski obrađeno	Ne

Slika 5. Primjer deklaracije proizvoda [6]

3.2. Europske norme za pelete

Europska komisija još je 2000. godine odobrila mandat CEN-u (European Committee for Standardization) za pripremu standarda za čvrsta biogoriva. U prvoj fazi objavili su 27 tehničkih specifikacija u periodu između 2003. i 2006. godine. Kasnije su ove ranije objavljene specifikacije prešle u europske EN-standarde. Postoji ukupno 40 normi za nazivlje, uzorkovanje, jamstva kvalitete, analiza fizičkih, kemijskih i mehaničkih svojstava itd. [7]

Europske norme su standardne norme po kojima su načinjene i hrvatske norme. Naime, hrvatske norme su samo prevedene europske norme u potpunosti te zbog toga nećemo posebno izlagati europske norme jer smo već u prethodnom 3.1. poglavlju u Tablici 1, na Slikama 4 i 5 pokazali određene norme i njihove značajke. Pokazat ćemo samo određene zahtjeve pojedinih europskih normi za drvene pelete u Tablici 2.

Tablica 2. Pregled normi za drvene pelete [8]

Norma		ENplus A1	ENplus A2	EN-B	DIN 51 731	ÖNORM M 7135	DINplus
Promjer (mm)		6 (±1)	6 ili 8 (±1)	6 ili 8 (±1)	4 do 10	4 do 10	-
Dužina (mm)		3,15 ≤L ≤ 40	3,15 ≤L ≤ 40	3,15 ≤L ≤ 40	< 50	< 5 x d	< 5 x d
Gustoća (kg/mm ³)		600 ≤	600 ≤	600 ≤	1000 – 1400	1120 <	1120 <
Energetska vrijednost (MJ/kg)		16,5 ≤	16,5 ≤	16,5 ≤	17,5 – 19,5	18,0 <	18,0 <
Sadržaj vode (%)		10 ≥	10 ≥	10 ≥	< 12	< 10	< 10
Učešće sitnih komada (<3,15 mm) (%)		1 ≥	1 ≥	1 ≥	-	-	-
Ostatak pepela nakon gorenja (%)		0,7 ≥	1,5 ≥	3,0 ≥	< 0,5	< 0,5	<0,5
Mehanička kohezivnost (%)		97,5 ≤	97,5 ≤	97,5 ≤	-	-	-
Talište pepela (°C)		1200 ≤	1100 ≤	1100 ≤	-	-	-
Sadržaj:							
Klor	Ma.-%	≤ 0,02	≤ 0,03	-	< 0,03	< 0,02	< 0,02
Sumpor	Ma.-%	≤ 0,05	≤ 0,05	-	< 0,08	< 0,04	< 0,04
Dušik	Ma.-%	≤ 0,3	≤ 0,5	-	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Bakar	mg/kg	≤ 10	≤ 10	-	< 5	-	< 5
Krom	mg/kg	≤ 10	≤ 10	-	< 8	-	< 8
Arsen	mg/kg	≤ 1	≤ 1	-	< 0,8	-	< 0,8
Kadmij	mg/kg	≤ 0,5	≤ 0,5	-	< 0,5	-	< 0,5
Živa	mg/kg	≤ 0,1	≤ 0,1	-	-	-	-
Olovo	mg/kg	≤ 10	≤ 10	-	< 10	-	< 10
Cink	mg/kg	≤ 100	≤ 100	-	< 100	-	< 100

4. ISTRAŽIVAČKO-EKSPERIMENTALNI DIO

U ovom dijelu rada prikazat će se postupanje s dobivenim uzorcima peleta ne-drvnog i poljoprivrednog podrijetla te analize provedene u Laboratoriju za vodu, gorivo i mazivo (LGVM) Fakulteta strojarstva i brodogradnje (FSB). Nakon svakog postupka bit će prikazani dobiveni rezultati.

4.1. Uzorci za ispitivanje

Jedan od glavnih ciljeva ovog rada je analizirati više vrsta peleta ne-drvnog porijekla te procijeniti njihovu prikladnost u svrhu grijanja. Uzorke nam je osigurala tvrtka EURO-TIM d.o.o. koja se bavi proizvodnjom peleta iz poljoprivrednih ostataka. Radi lakšeg snalaženja, uzorke smo nazvali A, B i C te smo ih tako kroz cijeli rad nazivali. Slike 6, 7 i 8 predstavljaju uzorke peleta korištenih u ispitivanjima. Za potrebe određivanja sadržaja vlage koristili smo se čitavim peletima, ali i onima usitnjenima, a njih smo nazvali po uzoru na čitave samo malim odgovarajućim latiničnim slovima **a**, **b** i **c**.



Slika 6. Uzorak A



Slika 7. Uzorak B



Slika 8. Uzorak C

Uzorak 'A' predstavlja pelet proizveden od slame uljane repice i slame soje. Ekološki peletiranu lucernu predstavlja uzorak 'B' dok je uzorak 'C' pelet od pšenične slame. Potrebno je reći da se uzorci 'B' i 'C' zapravo ne koriste za grijanje nego za ishranu životinja, ali ćemo ispitati njihova svojstva te vidjeti postoji li mogućnost za njihovu primjenu i u grijanju.

4.2. Ispitivanja u laboratoriju za vodu, gorivo i mazivo (LVGM) FSB-a

Tablica 3 prikazuje popis opreme korištene unutar LVGM-a tijekom analize uzoraka peleta ne-drvnog porijekla. Ispod tablice mogu se vidjeti na Slika 9. fotografije neke od korištene opreme. Brojevi kraj opreme u tablici povezani su s brojevima na slici.

Tablica 3. Popis korištene opreme

Naziv	Tip/model	Broj	Proizvođač
Analitička vaga	AG204	1	Mettler Toledo
	-	2	
Mufolna peć za žarenje	L3/C6	3	Nabertherm
Sušionik	11.1	4	Instrumentaria
Kalorimetar	C4000	5	IKA
Stanica za punjenje kisikom	C48	6	IKA
Eksikatori	-	7	Schott
Porculanske ladice	-	8	Haldenwanger
Petrijeve zdjelice	-	9	-
Menzura	-	9	-
Hvataljka	-	-	-
Rukavica	-	-	-
Termometar	Laboratorijski	-	Istočna Njemačka



1 (Analitička vaga)



2 (Analitička vaga)



3 (Peć za žarenje)



4 (Sušionik)



5 (Kalorimetar)

6 (Stanica za punjenje O₂)

7 (Eksikator)



8 (Porculanska lađica)



9 (Posuđe)

Slika 9. Korištena oprema u laboratoriju

4.2.1. Određivanje sadržaja vlage (HRN EN 14774-3:2010 [9])

Uzorak peleta pripremljen za analizu, suši se na temperaturi od 105 °C, a sadržaj vlage računa se iz masenog gubitka pojedinog uzorka. Uzorak se osim u zračnoj atmosferi može sušiti i u atmosferi dušika ukoliko je isti podložan oksidaciji na temperaturi sušenja.

Prije samog procesa sušenja uzorka u peći potrebno je pripremiti za korištenje laboratorijsko posuđe namijenjeno toj svrsi (petrijeve zdjelice). Petrijeve zdjelice pripremaju se pranjem standardnim deterdžentom za suđe nakon čega se ispiru vodom te se stavlja na sušenje,

a potom se hlade u eksikatoru. Nakon prethodne pripreme, posuđe se važe s točnošću od 0,1 mg, a očitana vrijednost m_1 se zapiše. Nakon vaganja i zapisivanja mase petrijevih zdjelica, ravnomjerno se stavljaju uzorci peleta u njih nakon čega se ponovo provodi postupak vaganja (zdjelica i peleti) s točnošću od 0,1mg koja nam predstavlja m_2 . Za određivanje sadržaja vlage, osim čitavih peleta koristili smo se i usitnjenim odnosno izmrvljenim peletima koje smo prethodno u laboratoriju izmrvili. Sami postupak određivanja mase jednak je prethodnom. Tako odvagani uzorci stavljaju se u sušionik gdje se uzorci suše na temperaturi od $105 \pm 2^\circ\text{C}$. Vrijeme sušenja je ograničeno postizanjem nepromijenjene mase. Norma nam kaže da je uobičajeno trajanje sušenja između 2 do 3 sata te smo u skladu s tim naše uzorke sušili 150min odnosno 2 i pol sata. Uzorci se iz sušionika premještaju u eksikator (s desikantom - silika gel, kako bi se izbjegla apsorpcija vlage) te se u njemu hlade do sobne temperature. Nakon što su se uzorci ohladili na sobnu temperaturu ponavlja se postupak vaganja s točnošću od 0,1 mg kojim se dolazi do konačne vrijednosti m_3 .



Slika 10. Uzorci A,B i C u sušioniku

Sadržaj vlage (maseni postotak) određuje se računanjem prema izrazu (1)

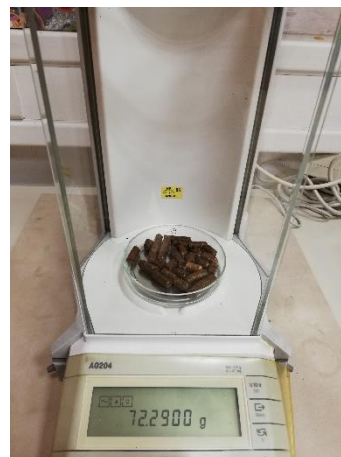
$$M_{ad} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \cdot 100 \quad (1)$$

gdje je: m_1 –masa prazne petrijeve zdjelice, g

m_2 –masa petrijeve zdjelice i uzorka peleta prije sušenja, g

m_3 –masa petrijeve zdjelice i uzorka peleta poslije sušenja, g

a M_{ad} predstavlja masei udio vlage u analiziranim uzorcima na osnovi suh na zraku (engl. air dried).



Slika 11. Hlađenje u eksikatoru (lijevo) i vaganje uzoraka nakon sušenja (desno)

Važno je za napomenuti da je potrebno provesti minimalno dva određivanja sadržaja vlage na jednom ispitnom uzorku. U sklopu ovog rada, sva mjerenja izvodila su se minimalno tri puta za svaki ispitni uzorak. Ponovljivost je usko slaganje između rezultata uzastopnih mjerenja iste mjerene veličine izvedenih u istim mjernim uvjetima. Uvjeti ponovljivosti uključuju: isti mjerni postupak; istog motritelja; isto mjerilo upotrijebljeno u istim uvjetima; isto mjesto; ponavljanje u kratkom razdoblju.[10]



Slika 12. Osušeni usitnjeni uzorci a,b i c

4.2.1.1. Rezultati određivanja sadržaja vlage

U Tablici 4 prikazani su dobiveni rezultati određivanja sadržaja vlage zajedno s ponovljivosti. Uzorci pisani malim latiničnim slovima predstavljaju odgovarajući uzorak označen velikim slovom samo što su za potrebe određivanja sadržaja vlage ti uzorci usitnjeni. Svakom od uzoraka sadržaj vlage određen je tri puta.

Tablica 4. Rezultati određivanja sadržaja vlage

Uzorak	Rd.broj mjerjenja	m_1	m_2	m_3	M_a (%)	Ponovljivost (%)
A	1.	53,039	74,6132	72,1369	11,4781	2,21
	2.	53,0408	83,8238	80,2756	11,5265	1,80
	3.	60,626	87,4112	84,1407	12,2101	4,02
				Prosjek	11,7382	2,68
a	1.	60,6249	81,3383	78,9006	11,7687	0,65
	2.	55,0408	78,9408	75,9584	12,4787	0,53
	3.	60,6243	88,5692	85,4142	11,2901	0,47
				Prosjek	11,8458	0,55
B	1.	48,3607	76,4859	72,2884	14,9243	0,76
	2.	48,3821	83,1559	77,9946	14,8425	0,21
	3.	55,0671	91,465	86,1258	14,6690	0,97
				Prosjek	14,8119	0,65
b	1.	55,0662	75,0229	72,0572	14,8607	0,13
	2.	55,0665	81,6875	77,8426	14,4431	0,16
	3.	48,3824	75,8441	71,8023	14,7180	0,03
				Prosjek	14,6739	0,11
C	1.	60,7406	87,2039	83,7159	13,1805	0,74
	2.	61,2337	88,4575	84,9012	13,0632	0,16
	3.	60,7417	87,8649	84,3369	13,0073	0,58
				Prosjek	13,0837	0,49
c	1.	61,2326	76,839	74,8052	13,0318	0,22
	2.	61,2323	81,1326	79,5055	12,5697	0,14
	3.	60,7412	78,7523	76,4768	12,6339	0,09
				Prosjek	12,7451	0,15

Rezultati određivanja sadržaja vlage su pomalo neočekivani, naime, očekivali smo niži sadržaj vlage u peletima, a ovako visok sadržaj vlage pripisujemo načinu pakiranja samih peleta (stajali su u rinfuzi nekoliko dana pa su se vjerojatno ovlažili). Kod uzorka A, javljaju se izrazito velika odstupanja u mjerenjima, prosječno odstupanje je 2,68%, a gledajući ostale uzorke gdje niti jedno prosječno odstupanje ne prelazi 0,65% uistinu je velika razlika. Pretpostavka je bila da će u usitnjenim uzorcima biti manji sadržaj vlage, što se donekle pokazalo točnim u uzorcima B i C, dok uzorak A ne prati tu pretpostavku. Za pretpostaviti je da se u postupanju s uzorcima A dogodila greška u mjerenjima, rukovanju ili nečemu trećem koja je rezultirala ovakvim rezultatima.

4.2.2. Određivanje nasipne gustoće

Gustoća predstavlja fizikalnu veličinu određenu omjerom mase i volumena nekog tijela ili kemijske tvari. Pojam nasipna gustoća također se određuje količnikom mase i volumena nekog tijela, ali se pod tim pojmom misli kada se govori o skladištenju proizvoda.

Nasipna gustoća određuje se tako da se posuda poznatog volumena, u našem slučaju mjerna menzura, postavlja na vagu, a potom se u nju usipa ispitni uzorak do zadanog volumena V . Na vagi se očitava masa uzorka m s točnošću od 0,1g. Nasipna gustoća računa se prema izrazu:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

gdje je: ρ – nasipna gustoća, g/L

m – masa uzorka, g

V – volumen posude, L



Slika 13. Određivanje nasipne gustoće

4.2.2.1. Rezultati mjerenja nasipne gustoće

Tablica 5 prikazuje rezultate provedena tri mjerenja nasipne gustoće za svaki uzorak te njihovu prosječnu vrijednost.

Tablica 5. Rezultati mjerenja nasipne gustoće, g/L

Uzorak/Rd.Broj mjerenja	A	B	C
1	649,6	583,2	522,2
2	655,6	581,8	517,2
3	649,0	574,6	516,2
Prosjek	651,4	579,8667	518,533

Određivanjem nasipne gustoće dolazi se do zaključka da uzorak A ima najveću nasipnu gustoću, a uzorak C najmanju. Uzorak A zauzimat će najmanje mjesta za skladištenje, što ukoliko imamo velike količine proizvoda može imati veliki značaj kod odabira robe.

4.2.3. Određivanje sadržaja pepela (HRN EN 14775:2010 [11])

Postupak određivanja sadržaja pepela u peletima ne-dravnog porijekla provodi se na način opisan u nastavku teksta.

Prvo se priprema posuđe. Za određivanje sadržaja pepela koristimo porculanske lađice koje se peru standardnim deterdžentom za suđe te se ispiru demineraliziranom vodom. Prilikom postupka žarenja koristili smo dvije lađice. Nakon pripreme posuđa, koje se prethodno opralo i osušilo, potrebno je to isto posuđe izvagati. Vaganjem praznih porculanskih lađica s točnošću od 0,1mg dobivamo vrijednost m_1 koju zapisujemo.

Nakon što smo odredili masu m_1 potrebno je u lađice dodati uzorak ravnomjerno raspoređen po dnu lađice te ponoviti postupak vaganja (lađice i uzorka) s točnošću 0,1mg kojim se dolazi do vrijednosti m_2 . Lađica s uzorkom se potom postavlja u peć u kojoj se uzorak žari. Žarenje se provodi na temperaturi od 550°C u trajanju od 260 min.

Poslije procesa žarenja, lađica i pepeo nastao žarenjem premještaju se iz peći u eksikator gdje se hlade do okolišne odnosno sobne temperature. Nakon postizanja sobne temperature lađica s pepelom ponovo se važe te tako dobijemo konačnu vrijednost m_3 .

Sadržaj pepela (maseni postotak) određuje se računanjem prema izrazu (3)

$$A_{ad} = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100 \quad (3)$$

gdje je: m_1 - masa prazne lađice, g

m_2 - masa lađice i uzorka prije žarenja, g

m_3 - masa lađice i uzorka (pepeo) nakon žarenja, g

a A_{ad} predstavlja maseni udio pepela u analiziranom uzorku na osnovi suh na zraku (engl. *air dried*).



Slika 14. Uzorci prije žarenja (lijevo) i poslije žarenja (desno)

Važno je za napomenuti da je potrebno provesti minimalno dva određivanja sadržaja pepela na jednom ispitnom uzorku. U sklopu ovog rada, sva mjerenja izvodila su se minimalno tri puta za svaki ispitni uzorak. Ponovljivost je usko slaganje između rezultata uzastopnih mjerenja iste mjerene veličine izvedenih u istim mjernim uvjetima. Uvjeti ponovljivosti uključuju: isti mjerni postupak; istog motritelja; isto mjerilo upotrijebljeno u istim uvjetima; isto mjesto; ponavljanje u kratkom razdoblju.

4.2.3.1. Rezultati određivanja sadržaja pepela

Tablica 6 prikazuje dobivene rezultate određivanja sadržaja pepela. Za određivanje sadržaja pepela odlučili smo se određivati pepeo samo za čitave uzorke, a postupak smo ponovili tri puta za svaki od uzoraka.

Tablica 6. Rezultati određivanja sadržaja pepela

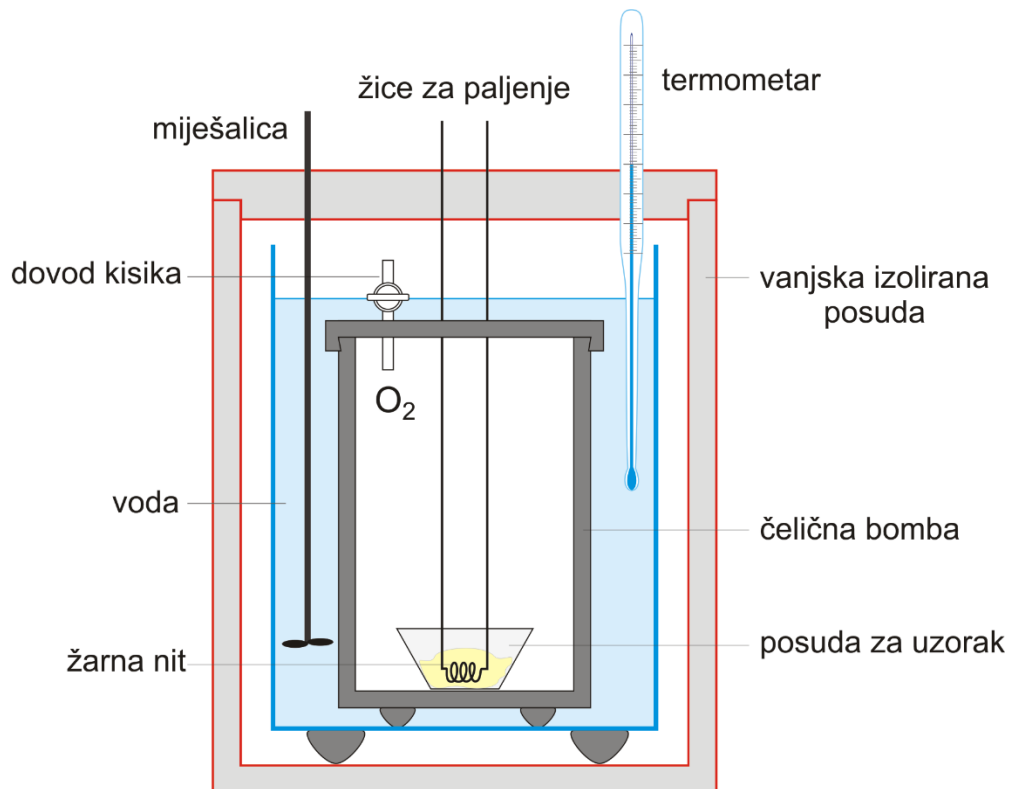
Uzorak	Rd.broj mjerjenja	m_1	m_2	m_3	A_{ad} (%)	Ponovljivost (%)
A	1.	10,1871	12,1826	10,2871	5,0113	6,66
	2.	9,4996	11,4947	9,6021	5,1376	4,30
	3.	10,1885	12,4496	10,3232	5,9573	10,96
				Prosjeak	5,3687	7,30
B	1.	10,188	13,2541	10,4319	7,9574	7,09
	2.	9,5004	12,5044	9,7186	7,2636	2,21
	3.	9,5017	12,2769	9,6978	7,0662	4,87
				Prosjeak	7,4282	4,72
C	1.	10,1879	13,1618	10,3826	6,5740	5,14
	2.	9,5004	12,7192	9,7038	6,3191	1,48
	3.	10,189	13,5924	10,3869	5,8148	6,62
				Prosjeak	6,2270	4,41

Vidljivo je iz rezultata da se sadržaj pepela kreće u uzorcima u intervalu od 5 pa sve do 8%. Ono što je zanimljivo kod ovog ispitivanja da su odstupanja (ponovljivost) nešto veća kod svih uzoraka gdje se prosječna odstupanja penju i do 7,3%. Uzorak A se pokazao kao uzorak s najmanjim udjelom pepela.

4.2.4. Određivanje ogrjevnosti

Za određivanje ogrjevnosti uzoraka peleta korišten je adijabatski kalorimetar s kalorimetrijskom bombom u LGVM-u. Kod adijabatskog kalorimetra nema izmjene topline između kalorimetrijske bombe i aktivne termostatirajuće izolacije (voda koja okružuje sustav).

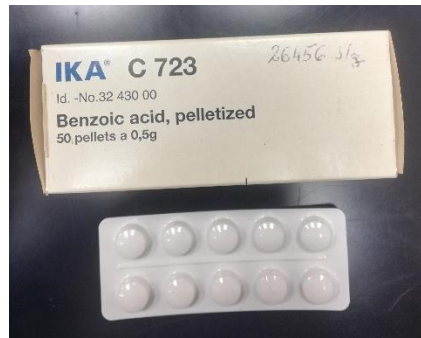
Izmjena topline događa se zbog temperaturnih razlika pa bi u teorijskom slučaju tj. idealnom slučaju cijela vanjska površina kalorimetrijske površine trebala imati ujednačenu temperaturu te bi ona tijekom cijelog procesa trebala biti usklađena s temperaturom unutrašnje stjenke termostata. Ukoliko nema temperaturne razlike, nema ni izmjene topline između kalorimetrijske posude i termostatirajuće izolacije. Ipak, lagani porast temperature (vode) unutar kalorimetrijske posude postoji, koji je uzrokovan miješanjem vode u posudi, izvorom paljenja i ostalim toplinskim prebjazima. Stvarni adijabatski uvjeti teško su ostvarivi u praksi, pogotovo kada se unutar kalorimetrijske posude događa izgaranje uzorka.



Slika 15. Shematski prikaz adijabatskog kalorimetra [12]

Prije početka bilo kakvog rada s kalorimetrom potrebno je detaljno proučiti upute proizvođača kalorimetra o njegovom rukovanju.[13] Prije samog određivanja ogrjevne vrijednosti, potrebno je uključiti uređaj i osigurati rashladnu vodu protoka 2 l/min i temperature niže od 19°C. Nakon što je uređaj proveo 90 minuta u takvom stanju spreman je za korištenje pod pretpostavkom da je sve ispravno.

Prvo što se određuje je toplinski kapacitet sustava c prema izrazu (4), a u tu svrhu je potrebno spaliti (unutar kalorimetrijske bombe) određenu količinu tvari poznate ogrjevne vrijednosti. U našem slučaju koristimo benzojevu kiselinu $C_7H_6O_2$ u obliku tablete. Ogrjevna vrijednost benzojeve kiseline H_B iznosi 26456 J/g, a jedna tableta je približne mase 0,5 g. Tek nakon određivanja toplinskog kapaciteta sustava moguće je doći do ukupne ogrjevne H_U vrijednosti prema izrazu (5).



Slika 16. Tablete benzojeve kiseline

$$c = \frac{(H_B \cdot m_B) + Q}{\Delta T} \quad (4)$$

$$H_U = \frac{(c \cdot \Delta T) - Q}{m_U} \quad (5)$$

gdje je: c – toplinski kapacitet sustava (vodena vrijednost kalorimetra), J/K

H_B – ogrjevna vrijednost poznate ili standardne tvari (benzojeve kiseline), J/g

m_B – masa poznate tvari (benzojeve kiseline), g

Q – zbroj svih količina vanjske energije (žice i konca), J

ΔT – mjereni temperaturni porast ($T_K - T_P$), °C

H_U – ukupna (kalorimetrijska) ogrjevna vrijednost tvari koja se ispituje, J/g

m_U – masa uzorka čija se ogrjevna vrijednost ispituje, g

Toplinski kapacitet c kalorimetra (sustava) predstavlja kvocijent isporučene energije kalorimetra i razlike temperature koja je uzrokovana dovođenjem topline u kalorimetar. Vrijednost toplinskog kapaciteta jednaka je količini dovene topline kada u kalorimetru temperatura naraste za 1 K. Zbroj svih količina vanjske energije, tzv. otpadne topline Q odnosi se na energiju oslobođenu tijekom izgaranja žice na elektrodama i konca koji je u dodiru s uzorkom koji se spaljuje unutar lončića.

Nakon što smo odredili masu tablete benzojeve kiseline, m_B , tabletu postavljamo u lončić na postolju. Postolje je pričvršćeno za jednu od elektroda, a elektrode su međusobno povezane žicom za paljenje od nikla pričvršćenu prstenima na elektrodama. Na žicu se priveže pamučni konac koji pada u lončić i u izravnom je kontaktu s uzorkom odnosno tabletom.

Nosač s postoljem i elektrodama spušta se u tijelo bombe, a poklopac s navojem se zatvara te se zateže nepovratni ventil. Kalorimetrijska bomba se potom puni kisikom visoke čistoće do tlaka od 30 bara kako bi se osigurala dovoljna količina kisika za potpuno izgaranje.

Kada je kalorimetrijska bomba spremna za ispitivanje, nužno je osigurati određenu masu vode zadane temperature unutar kalorimetrijske posude. Proizvođač preporučuje da iznos vode bude 1800g temperature 25°C, iako navodi da ukupna količina vode nije važna; važno je samo da kalorimetrijska bomba bude u potpunosti uronjena u vodu i da se za svako mjerenje koristi ista količina vode. Spušta se poklopac i ispitivanje započinje.[13]

Temperatura koja je vidljiva na zaslonu kalorimetra predstavlja odstupanje temperature vode unutar kalorimetrijske posude od idealne. Nakon što se temperature elektrolita i vode u kalorimetrijskoj posudi izjednače može se reći kako je osiguran adijabatski uvjet (nema izmjene topline). Nakon postignutih adijabatskih uvjeta kalorimetar daje zvučni signal te je potrebno zapisati vrijednost temperature sa zaslona (T_p) i pritisnuti tipku za paljenje. Pritiskom tipke za paljenje započinje izgaranje unutar kalorimetrijske bombe koje se očituje promjenom temperature ΔT vidljive na zaslonu. Izgaranje uzorka za posljedicu ima porast temperature vode u posudi, ali i porast temperature vode u termostatu te je potrebno ponovo uspostaviti temperaturnu ravnotežu. Nakon stabilizacije koja je označena zvučnim signalom kalorimetra, očitava se i zapisuje temperatura T_K i kalorimetar se otvara. Prosječno trajanje jednog čitavog ciklusa iznosi 30-ak minuta.

Na kraju samog ispitivanja kalorimetrijska bomba se vadi iz posude s vodom te se pažljivo otvara nepovratni ventil kako bi se izjednačili tlakovi. Tablet u benzojeve kiseline spaljujemo sa svrhom određivanja toplinskog kapaciteta sustava svaki put nakon ponovnog uključivanja kalorimetra.

U prethodnih nekoliko redaka opisana je procedura određivanja toplinskog kapaciteta sustava c , identičan postupak primjenjuje se i za određivanje ogrjevnice vrijednosti uzoraka peleta H_U . Jedina razlika je što se uzorak peleta ne preša nego se u lončić stavlja u izvornom obliku u kojem se i proizvodi. Uzorak se stavlja na vagu te se odredi m_U s točnošću 0,1mg i stavljamo ga potom u lončić. Postupanja koja slijede identična su kao i kod izgaranja benzojeve kiseline.

4.2.4.1. Gornja i donja ogrjevna vrijednost

Ogrjevna je vrijednost goriva ona količina topline koja se dobije kad se jedinica količine (mase) goriva s potrebnim kisikom, sve na početnoj temperaturi 0°C, zapali i potpuno izgori, a nastali se dimni plinovi, predajući toplinu kalorimetrijskoj vodi pri stalnom tlaku, ohlade opet na 0°C [14] U terminologiji se pojavljuju pojmovi gornja (H_g) i donja (H_d) ogrjevna vrijednost. Njihova razlika je samo u količini latentne topline za isparavanje (kondenzaciju) vodene pare iz dimnih plinova, nastalu iz sadržaja vlage i vodika u gorivu. Glavna razlika gornje i donje ogrjevnosti određena je u kojem će se obliku pojaviti vodena para u dimnim plinovima, hoće li se pojaviti kao kapljevita ili parovita faza hlađenjem dimnih plinova na početnu temperaturu.

Određivanje donje ogrjevnosti, uz $H_g = H_U$, računa se po sljedećem izrazu:

$$H_d = H_g - 25,1 (M_{ad} + 9H)^* \quad (5)$$

gdje je: H_g – gornja ogrjevna vrijednost uzorka, kJ/kg

M_{ad} - maseni udio vlage u uzorku, %

H – udio vodika u uzorku goriva, %

a H_d predstavlja donju ogrjevnost. Za daljnje proračune pretpostavlja se udio vodika u peletima 6%, a za M_{ad} uzima se srednja vrijednost određena za svaki uzorak posebno.

4.2.4.2. Rezultati određivanja gornje i donje ogrjevnosti

U tablicama 7 i 8 prikazani su rezultati mjerenja toplinskog kapaciteta kalorimetra, gornje i donje ogrjevnosti ispitanih uzoraka peleta ne-drvnog porijekla. Za svaki od uzoraka mjerenje smo ponovili tri puta.

Tablica 7. Toplinski kapacitet kalorimetra

m_B (g)	0,5013
Q (J)	80
ΔT (K)	1,475
H_B (J/g)	26456
c (J/K)	9045,69

Tablica 8. Gornja i donja ogrjevna vrijednost

Uzorak	Rd.broj uzorka	m_U	ΔT	H_g	H_d
A	1.	1,1268	2,094	16739,15	16428,27
	2.	1,2298	2,315	16962,74	16651,85
	3.	0,94	1,792	17159,44	16848,56
			Prosjek	16953,78	16642,89
B	1.	1,5956	2,912	16458,42	16076,55
	2.	1,0875	1,945	16104,71	15722,84
	3.	0,9822	1,742	15961,71	15579,84
			Prosjek	16174,94	15793,07
C	1.	1,3402	2,453	16496,85	16163,39
	2.	0,9175	1,72	16870,39	16536,94
	3.	1,1535	2,162	16884,94	16551,49
			Prosjek	16750,73	16417,27

Određivanjem gornje i donje ogrjevne vrijednosti ponovo se nameće uzorak A kao uzorak s najvećom ogrjevnom vrijednošću. Uzorak B pokazao se kao uzorak s najmanjom ogrjevnom vrijednošću dok uzorak C nema puno manju ogrjevnu vrijednost od uzorka A koji prednjači s prosjekom od 16953,78 J/g za gornju ogrjevnu vrijednost te 16642,89 J/g za donju ogrjevnu vrijednost.

4.3. Analiza rezultata ispitivanja u laboratoriju

Nakon što smo proveli sva ispitivanja te došli do željenih rezultata, potrebno je po određenim kriterijima odrediti koji uzorak peleta je najprikladiji za potrebe grijanja.

Uzimajući u obzir sadržaj vlage, nasipnu gustoću, sadržaj pepela te gornju i donju ogrjevnu vrijednost jasno nam je odmah na prvu da će uzorak A glasiti za najprikladniji uzorak peleta. Naime, uzorak A, pelet od slame uljane repice i slame soje, pokazao se u svim kategorijama u kojima smo provodili mjerenje kao najbolji uzorak.

Rezultati nisu iznenađujući pošto i proizvođač navodi kako je pelet od slame uljane repice i slame soje pogodan za grijanje, dok se druga dva koriste za ishranu životinja. Uzorak B i C također imaju potencijal za dobivanje toplinske energije, uz određene dodatke primjesama postoji mogućnost za poboljšanjem gorivih svojstava.

5. ZASTUPLJENOST PELETA

5.1. Analiza tržišta peleta u Republici Hrvatskoj

Tržište peletima u Republici Hrvatskoj gotovo da i ne postoji, barem što se potrošnje peleta tiče. Prema podacima iz 2009. godine Hrvatska gotovo sve što proizvede (98%) to i izveze, a samo dio se prodaje na domaćem tržištu. Najviše se izvozi susjednim zemljama: Italiji, Sloveniji i Austriji. Razlog ovakvih brojki stoji iza nedostatka nacionalnih zakonskih okvira te nedostatak organiziranih financijskih mehanizama poticaja. Hrvati nisu skloni promjenama te se teško odlučuju za nešto novo, neisprobano, makar ono bilo isplativije i efikasnije te je i to jedan od razloga što se peleti još nisu potpuno 'udomačili' u hrvatskim kućanstvima.

Treba napomenuti da se proizvodnja, a i potrošnja peleta, iz godine u godinu u Republici Hrvatskoj povećava. S obzirom da su instalirani kapaciteti proizvodnje peleta u Republici Hrvatskoj u 2006. godini iznosili 0 t/god., a već 2007. taj broj bio je 17.500 t/god., da bi se 2009. godine instalirani kapacitet proizvodnje peleta popeo na 212.100 t/god.[15]. Primjetan je veliki porast proizvodnje. Prema zadnjim podacima u Republici Hrvatskoj se u 2019. godini proizvodi 320.000 tona peleta. Od ukupne proizvodnje, izvozi se i dalje veliki dio proizvedene sirovine, 85% se izvozi, a 15% se koristi u domaćoj industriji što je povećanje u odnosu na 2009. godinu te se očekuje da će taj postotak i dalje rasti. Trenutno u Hrvatskoj postoji 20-ak poduzeća koje se bave proizvodnjom peleta. [16]

Trend rasta proizvodnje i korištenja peleta vidljiv je i na udjelu u proizvodnji primarne energije.

Tablica 9. Proizvodnja primarne energije [17]

	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
	PJ					
Ogrjevno drvo i biomasa	60,39	61,45	57,97	64,19	64,15	64,67
Sirova nafta	25,62	25,71	25,38	28,62	31,47	31,79
Prirodni plin	69,19	63,11	60,52	61,61	57,52	51,76
Vodne snage	47,32	84,92	88,99	61,63	65,63	53,81
Toplinska energija	0,61	0,63	0,52	0,62	0,66	0,67
Obnovljivi izvori	5,66	7,71	10,58	10,99	12,90	16,10
UKUPNO	208,78	243,95	243,95	227,62	232,33	218,79

U tablici 9. vidljivo je kako se s godinama povećavao udio ogrjevnog drveta i biomase u proizvodnji primarne energije. Isto tako, vidljivo je da se sve više koriste i obnovljivi izvori

energije što je ohrabrujući podatak. Udio ogrjevnog drveta i biomase u proizvodnji primarne energije u 2017. godini iznosi 29,56%. Ono što je problem u ovih 29,56% udjela ogrjevnog drveta i biomase u Republici Hrvatskoj je grijanje na ogrjevna drva u starim neefikasnim pećima, koje su često i ekološki nepogodne. Potrebno je što više iskorištavati drvene ostatke i vršiti zamjenu peći na drveni ogrjev onima na pelete radi bolje ekonomske isplativosti, a i očuvanja okoliša. Tu dolazi velika važnost države koja svojim poticajima, prvenstveno financijskim, treba potaknuti hrvatski narod na promjene, da misle ekonomično i da misle zeleno. Nažalost u našoj zemlji nije slučaj kao u susjednima da imaju manji PDV ukoliko koriste pelete za ogrjev, što dodatno potiče ljude za kupnju i korištenje istih.

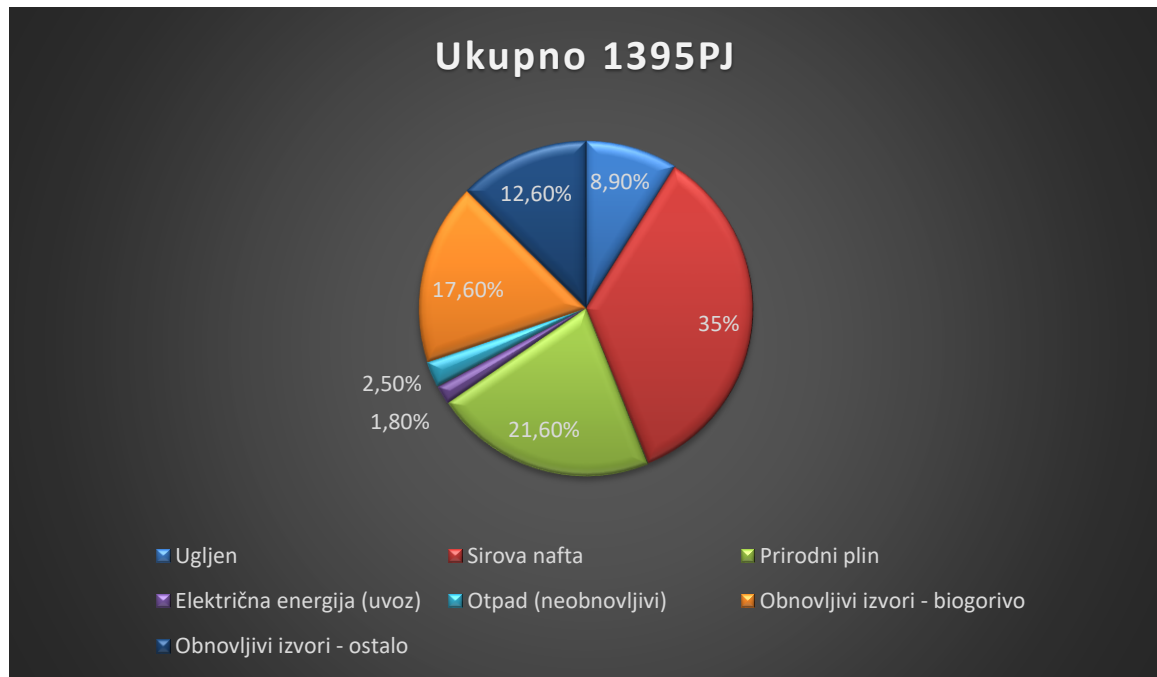
'U području biomase energetska strategija Hrvatske definirala je cilj da do 2020. godine u Hrvatskoj bude instalirano kapaciteta ukupne snage 85MW, a u području bioplina planira se ukupni instalirani kapacitet od 2,6 petadžula.' [18] Proizvodnja energije iz biomase dugoročno će imati važnu ulogu u energetske bilanci Hrvatske. Tomu pridonose i velike šumske površine te razvijena poljoprivreda u pojedinim regijama. Drvna industrija tvrdi da je hrvatski potencijal 700.000 tona drvnog otpada od oko 2 milijuna kubika drva, te oko 600.000 šumskih ostataka. Proizvodnjom peleta osim što bi se uštedjelo na energentima, mislilo zeleno, ujedno bi omogućilo zapošljavanje velikog broja radnika.

5.2. Analiza tržišta peleta u Republici Austriji

U Republici Austriji po prvi put su se počeli koristiti peleti u stambenim sustavima centralnog grijanja iz čega proizlazi da je ta zemlja svjetski lider po pitanju kotlova za pelete. Proizvodnja peleta u Republici Austriji počela je još 1995. godine s kapacitetom od 5000t/god., te je bilježila kontinuirani rast tijekom godina, dosegnuvši proizvedenih 450.000 t u 2005. godini, a 800.000 t u 2008. godini. U toj istoj, 2008. godini, imali su 62400 instaliranih sustava za grijanje na pelete (<100 kW), što je ekvivalent kapacitetu od oko 1190 MW. Pelete koriste sve više i u većim kotlovnica na biomasu za grijanje stambenih zgrada, uslužnih društava, trgovačkih centara, itd. [15]

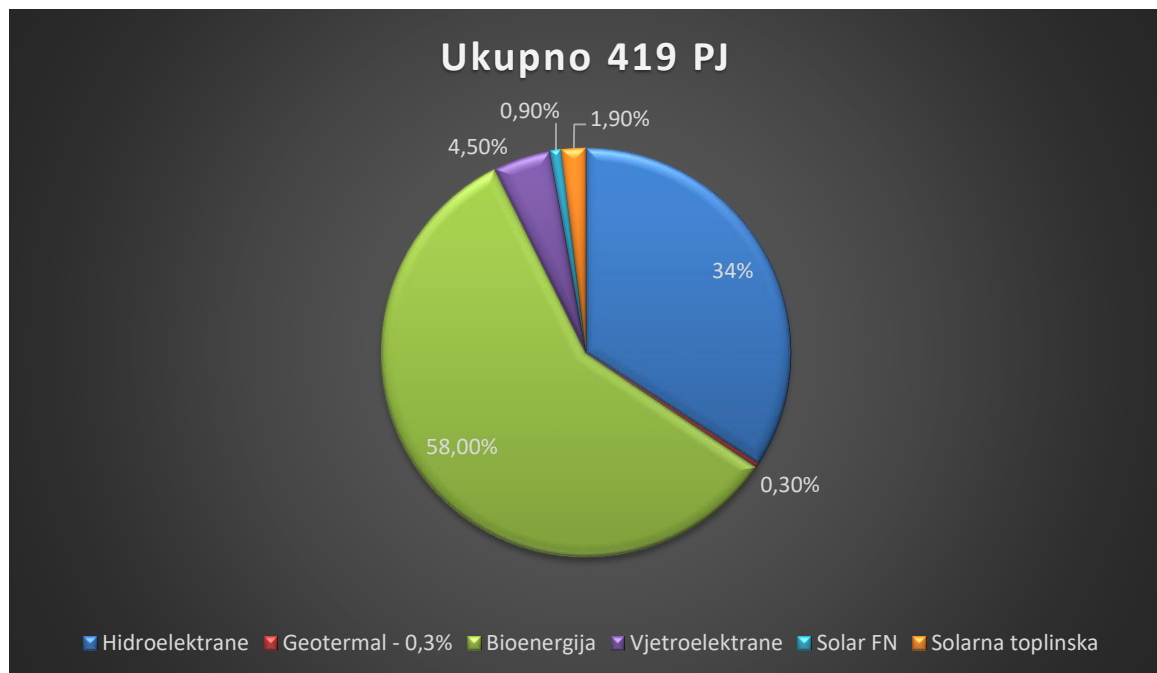
U Republici Austriji postoje dobro definirani standardi kvalitete za proizvodnju peleta, norma ÖNORM. Proizvođači kotlova na pelete moraju udovoljavati ÖNORM stamardima ukoliko podnose zahtjeve za odštetama, a i ovi standardi se smatraju vrlo učinkovitom barijerom kod uvoza nekvalitetnih peleta. [15]

Udio pojedinih energenata u opskrbi primarne energije u Republici Austriji, za 2016. godinu, prikazat ćemo grafički na sljedećim slikama, gdje ćemo vidjeti koju poziciju zauzima biogorivo tj. drvena biomasa u Austriji.



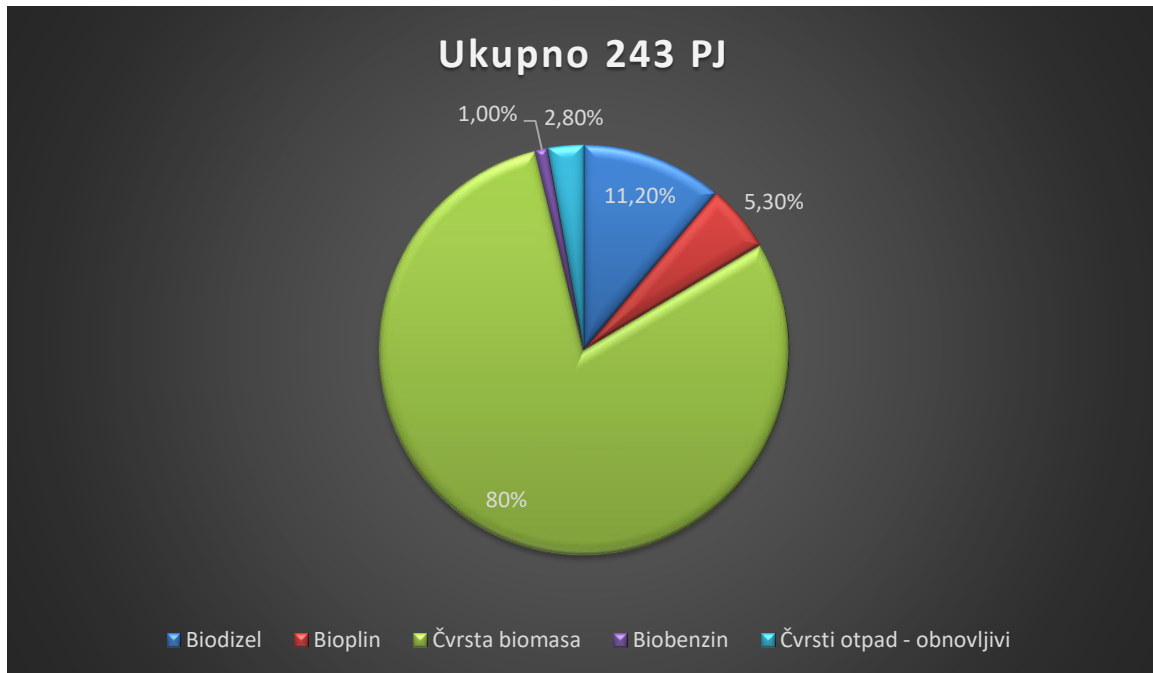
Slika 17. Ukupna opskrba primarnom energijom u Austriji u 2016.god. [19]

Na slici 17 vidljivo je da najveći udio pripada sirovoj nafti i njenim produktima koji čine 35% udjela, dok je na drugom mjestu prirodni plin, a na trećem mjestu su biogoriva s udjelom od 17,6% od ukupno potrošene energije od 1395 PJ.



Slika 18. Ukupna opskrba primarnom energijom iz obnovljivih izvora u Austriji u 2016.god [19]

Od ukupno 1395PJ primarne energije, čak 419PJ opskrbljeno je iz obnovljivih izvora energije. Najzastupljenija je bioenergija koju prati energija proizvedena u hidroelektranama.



Slika 19. Ukupna opskrba primarne energije iz bioenergije u Austriji u 2016. god [19]

Slika 19 prikazuje ukupnu opskrbu primarne energije iz bioenergije u Austriji i vidimo da se energija najvećim dijelom crpi iz čvrste, drvene biomase, čak 80%.

Ono po čemu se politika Republike Austrije razlikuje od politike Republike Hrvatske, u većini pokrajina nude se financijski poticaji u iznosu od 20 do 30% ukupne investicije za instalaciju peći tj. kotlova za pelete. U pokrajini Salzburg, zbog poticajne politike korištenja obnovljivih izvora energija, svaka druga novoizgrađena kuća grije se na pelete.

6. ZAKLJUČAK

Republika Hrvatska ima razvijenu šumsku i drvenu industriju, ali se i dalje nalazi nepovoljnoj situaciji na domaćem tržištu peleta. Iako je proizvodnja peleta u stalnom porastu, njihova potrošnja nažalost ne prati rastući trend proizvodnje te se još uvijek gotovo sav proizvedeni pelet izvozi u inozemstvo. Bez obzira na trenutno nepovoljnu situaciju, stručnjaci navode da nas očekuje svjetlija budućnost. Pitanje je vremena kad će se hrvatsko stanovništvo okrenuti obnovljivim izvorima energiju, ne samo da bi očuvali prirodu nego i zbog znatnih novčanih ušteda koje obnovljivi izvori energije pružaju. Uloga države će biti velika ukoliko se situacija želi poboljšati, morat će financijski poticati industrijsku i ne-industrijsku uporabu peleta za potrebe grijanja ugledajući se na ostale europske zemlje.

Korištenjem peleta, osim što su ekonomski isplativi energent, zanemarivo je ispuštanje CO₂ u atmosferu, budući da je količina emitiranog CO₂ prilikom izgaranja jednaka količini CO₂ koju biljka apsorbira tijekom svog rasta. Suočeni sve više vidljivim posljedicama globalnog zatopljenja uzrokovanog stakleničkim plinovima, pravo je vrijeme za misliti 'zeleno' te početi usvajati biogoriva kao glavnim izvorima energije.

Ispitivanjem dostupnih peleta, hrvatskog proizvođača EURO-TIM d.o.o., ne-drvnog porijekla u LVGM-u u sklopu Fakulteta strojarstva i brodogradnje, dolazimo do zaključka da se i u poljoprivrednim ostacima nalazi veliki energetske potencijal. Od ispitanih peleta, najboljim se pokazao pelet od slame uljane repice i slame soje i to po svim kriterijima u kojima smo proveli ispitivanja. Slijedi ga pelet od pšenične slame dok je na začelju peletirana lucerna.

7. LITERATURA

- [1] <https://www.zakon.hr/z/827/Zakon-o-obnovljivim-izvorima-energije-i-visokou%C4%8Dinkovitoj-kogeneraciji> , (15. srpanj 2019.)
- [2] Sinčić, D.: 'Kemijско-inženjerski aspekti proizvodnje biodizela', Kemprojekt d.o.o., Zagreb, 2012
- [3] Krička, T.: 'Potencijal proizvodnje energije iz biljnih ostataka u poljoprivredi i šumarstvu', Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, 2008
- [4] <https://www.euro-tim.com/proizvodi-1> , (15. srpanj 2019.)
- [5] <https://www.hzn.hr/default.aspx?id=147> , (28.kolovoz 2019.)
- [6] Zečić, Ž.: 'Europski standardi za drvene sortimente, Nove hrvatske norme HRN-EN
- [7] Alakangas, E.: 'New European Pellets Standards, 2011
- [8] <http://peletgrupa.hr/>, (28.kolovoz 2019.)
- [9] Čvrsta biogoriva – Određivanje sadržaja vlage – Metoda sušionika – 3. dio: Vlaga u generalnoj analizi uzorka (HRN EN 14774-3:2010)
- [10] <http://struna.ihj.hr/naziv/ponovljivost/12724/> , (16.srpanj 2019.)
- [11] Čvrsta biogoriva – Određivanje udjela pepela (HRN EN 14775:2010)
- [12] <https://glossary.periodni.com/glosar.php?page=6&hr=gallery%2Fimages.php>, (29.kolovoz 2019.)
- [13] IKA ANALYSENTECHNIK, Priručnik za korisnika, IKA – kalorimetarski sustav C4000A (adijabatički)
- [14] Halasz, B.: 'Predlošci za vježbe iz Termodinamike II, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Katedra za tehničku termodinamiku, 2015
- [15] Domac, J. : 'Kritični čimbenici u razvoju domaćeg tržišta peleta', Šumarski list br.5-6, 2011
- [16] <https://vijesti.hrt.hr/537967/iz-hrvatskog-pogona-85-peleta-završi-u-europskim-pecima> , (10.rujan 2019.)
- [17] http://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2019/03/Energija2017_final.pdf, (10.rujan 2019.)
- [18] <https://www.hrastovic-inzenjering.hr/alter-energija/34-hrastovic/savjeti/170-biomasa-u-hrvatskoj.html> , (10.rujan 2019.)
- [19] https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2018/10/CountryReport2018_Austria_final.pdf , (10.rujan 2019.)