Ovisnost dimenzionalne stabilnosti drvnih paleta o temperaturi prešanja i dodacima

Lojen, Tin

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry / Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:531287

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
ŠUMARSKI FAKULTET
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK

PREDDIPLOMSKI STUDIJ
DRVNA TEHNOLOGIJA

TIN LOJEN

OVISNOST DIMENZIONALNE STABILNOSTI DRVNIH PELETA O TEMPERATURI PREŠANJA I DODATCIMA

ZAVRŠNI RAD

ZAGREB, KOLOVOZ, 2016

PODACI O ZAVRŠNOM RADU

AUTOR:	Tin Lojen 08.06.1990. Zagreb 0806990330136
NASLOV:	Ovisnost dimenzionalne stabilnosti drvnih peleta o temperaturi prešanja i dodatcima
PREDMET:	Drvnoindustrojsko strojarstvo
MENTOR:	Prof. dr. sc. Stjepan Risović
IZRADU RADA JE POMOGAO:	dr. sc. Branimir Šafran
RAD JE IZRAĐEN:	Sveučilište u Zagrebu – Šumarski fakultet Drvnotehnološki odsjek
AKAD. GOD.:	2015/2016
DATUM OBRANE:	
RAD SADRŽI:	Stranica: 39 Slika: 39 Tablica: 7 Navoda literature: 9

SAŽETAK:

Uporaba drvnih peleta u energetske svrhe raširena je u razvijenim europskim zemljama dok je uporaba istih u RH još u razvoju. RH ima širok sirovinski potencijal u proizvodnji peleta, ali s njime postoje i određeni problemi. Budući da svaka vrsta ima određeni kemizam i strukturu, pristup istraživanju optimalnih parametara prešanja treba biti individualan. U ovom radu analizirati će se utjecaji dviju smjesa u proizvodnji peleta u uvjetima 2 temperature prešanja, uz dodavanje dodataka.

PREDGOVOR

Iako u kućanstvima i dalje prevladavaju dvije vrste grijanja, a to su plinsko grijanje i grijanje na drvnu sirovinu u obliku cjepanica, sve veći značaj kod grijanja stambenih objekata i industrije imaju peleti. Navedeno me navelo na istraživanje omjera različitih vrsta drva u kombinaciji sa određenim dodatcima (štirka) radi ispitivanja bolje dimenzionalne stabilnosti i bolje ogrjevne vrijednosti peleta.

Zahvalio bih se Prof. dr. sc. Stjepanu Risoviću i dr. sc. Branimiru Šafranu koji su mi ustupili na korištenje laboratorij Šumarskog fakulteta i pomogli prilikom istraživanja, svojim znanjem i vremenom koje su odvojili.

SADRŽAJ

UVOD 5
CILJ RADA 6
PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA 7
Biomasa 7
Biomasa u proizvodnji drvnih peleta 7
Peleti 8
Čimbenici prešanja drvne biomase 9
MATERIJAL I METODE 10
Ispitivane vrste drva 10
Obična jela 10
Bijeli bor 11
Hrast lužnjak (*Quercus robur L.*) 12
Štirka (škrob) 12
Priprema uzoraka 13
Određivanje sadržaja vode uzoraka 14
Određivanje sadržaja pepela (HRN EN ISO 18122:2015) 15
Kondicioniranje uzoraka 17
Prešanje i mjerenje peleta 18
Određivanje tlaka pri maksimalnoj vrijednosti sile prilikom tlačnog ispitivanja peleta 21
Određivanje gornje ogrjevne vrijednosti 22
Određivanje pH vrijednosti - priprema vodenog ekstrakta i titracija 23
Obrada podataka 24
Rezultati istraživanja 25
Zaključak 34
Literatura 35
Popis slika 37
Popis tablica 39

UVOD

U ovom završnome radu analizirat će se proizvodne veličine peleta od drva obične jele (*Abies alba Mill.)*, hrasta lužnjaka (*Quercus robur L.)* i bijelog bora (*Pinus sylvestris L.).* Peleti su odavno postali bitna karika prilikom iskorištavanja drvne biomase koja dolazi izravno iz šuma, ali i drvnog ostatka koji se javlja u primarnoj i sekundarnoj obradi drva. Korištenje obnovljive energije kroz godine razvoja industrije, rezultiralo je drugačijim energetskim pristupom, a sve kako bi se smanjio udio energije dobiven iz fosilnih goriva. Do nedavno se u drvnoj industriji za usitnjeno drvo koristila riječ otpad te se nastojao što brže odstraniti iz proizvodnje. Razvojem ekološke svijesti i početkom recikliranja drvne biomase više se ne koristi riječ drvni otpad, već se pojavio novi termin, a to je drvni ostatak. Iz tog razloga testiranjem raznih vrsta drvnog ostatka sa i bez dodataka primjesa pokušavati će se dobiti što korisniji proizvod iz onoga što je nekoć bio drvni otpad.

CILJ RADA

Cilj ovog rada je istraživanje pogodnosti omjera smjesa triju vrsta drva u proizvodnji peleta prema odabranim parametrima. Vrste drva koje su korištene u ovom istraživanju su: obična jela (*Abies alba Mill.)*, hrast lužnjak (*Quercus robur L.)* i bijeli bor (*Pinus sylvestris L.)*. Peleti će se proizvoditi u laboratoriju u sklopu Šumarskog fakulteta. Proizvodnja peleta će se provoditi pomoću laboratorijske pojedinačne pelet preše (SPP), te će se ispitati njihova mehanička svojstva i ogrjevna vrijednost. Ulazni parametri biti će podjeljeni na fiksne i promjenjive.
Fiksni parametri biti će: vrijeme prešanja peleta (20 s), masa sirovine (0,25 g), sila prešanja (4 kN), granulacija sirovine (2 mm) te sadržaj vode (10 %). Promjenjivi će biti: smjesa uzorka jela - hrast u omjeru 50 % : 50 % - (**A_1**) , jela - bor u omjeru 50 % - 50 % (**B_1**), jela – hrast – dodatak u omjeru 45 % - 45 % - 10 % (**A_2**), jela - bor - dodatak u omjeru 45 % - 45 % - 10 % (**B_2**) i temperatura prešanja (T_1 – 120 °C, T_2 – 200 °C).

PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Biomasa

Biomasa se odnosi na živuću i donedavno živuću materiju, biljnog ili životinjskog porijekla koja se može koristiti kao gorivo ili za daljnju industrijsku proizvodnju. Najčešće se koristi direktno, u proizvodnji energije za grijanje, kuhanje ili zagrijavanje tople vode, ali se može koristiti i za proizvodnju električne energije i topline, a sve više se koristi za proizvodnju biogoriva. (wikipedija.org)

Biomasa je obnovljivi izvor energije, a dijeli se:

1. Prema porijeklu

a) Šumska ili drvna biomasa
b) Nedrvna biomasa
c) Biomasa životinjskog porijekla

2. Prema konačnom pojavnom obliku:

a) Kruta biomasa
b) Bioplinovi
c) Kapljevita biogoriva

Biomasa u proizvodnji drvnih peleta

Drvna biomasa korištena u proizvodnji peleta, nastaje kao nusproizvod u drvnoj industriji ili kao ostatak prilikom obrade ogrjevnog drva. Za upotrebu u proizvodnji peleta koristimo biomasu iz šumarstva i drvne industrije **(slika 1.)**. Ovakav način korištenja biomase je obnovljiv ako se pravilno gospodari šumama te se ne mora strahovati od pomanjkanja sirovine.

Biomasa iz šumarstva podrazumijeva drvni materijal koji nije namjenjen za daljnju upotrebu u proizvodnji, kao što su: grane, lišće, korijenje, panjevi, itd.



(slika 1.; drvni ostatak nakon rušenja stabla)

Biomasa iz drvne industrije je ukupni ostatak prilikom obrade trupaca bilo da je riječ o primarnoj proizvodnji, sekundarnoj ili finalnoj proizvodnji **(slika 2.)**. Materijal koji ostane neiskorišten, koristi se kao biomasa u neke druge svrhe.



(slika 2.; drvni ostatak u drvnoj industriji)

Peleti

Peleti **(slika 3.)** su proizvod iz usitnjenog drva koji se dobiva prešanjem pod visokim tlakom. Glavne karakteristike peleta su: ujednačena veličina i oblik te niski sadržaj vode što mu daje visoku ogrjevnu vrijednost. Zbog svojih karakteristika pelet je pogodan za grijanje kućanstava i javnih ustanova. Radi svoje kompaktnosti i visoke nasipne gustoće olakšano je njegovo pakiranje i transport čime postaje pogodnim krutim biogorivom za automatizirane sustave izgaranja.



(slika 3.; peleti)

Čimbenici prešanja drvne biomase

Razvojem tržišta povećavaju se zahtjevi za kvalitetom svih biogoriva pa tako i samih peleta. Cilj proizvodnje peleta je da se proizvede kvalitetan proizvod ujednačene veličine i gustoće, visoke energetske vrijednosti, otporan na vlagu i mehaničko trošenje.

Čvrstoća i otpornost prešanih proizvoda glavne su odrednice kvalitete i ovise o unutarnjim silama koje povezuju čestice drva. Glavni čimbenici koji utječu na čvrstoću i otpornost prešanih proizvoda drvne biomase jesu:

(1) sastav sirovine
(2) sadržaj vode
(3) veličina čestica
(4) parenje ili zagrijavanje
(5) dodavanje veziva
(6) miješanje sirovina (smjese)
(7) preša (matrica, valjci, konstrukcijska izradba preše)
(8) postupak grijanja ili hlađenja nakon prešanja
(9) uvjeti skladištenja

Budući da navedene čimbenike prešanja nije moguće analizirati zasebno i da kod prešanja međusobno djeluju jedni na druge, pojedini čimbenici grupirani su i na taj se način promatra njihov utjecaj na proces. (Šafran, 2015)

MATERIJAL I METODE

Ispitivane vrste drva

Za istraživanje smo odabrali tri vrste drva, od kojih su dvije četinjače i jedna listača, te dodatak. Uzorci koje smo koristili su:

- Četinjače: obična jela (*Abies alba Mill.*)
  bijeli bor (*Pinus sylvestris L.*)
- Listača: hrast lužnjak (*Quercus robur L.*)
- Štirka (škrob)

Obična jela *(Abies alba Mill.)*

Obična jela (**slika 4.** i **tablica 1.**) je crnogorična vrsta drveća umjerenih predjela sjeverne polutke, treća najrasprostranjenija šumska vrsta drveća u Hrvatskoj, poslije bukve i hrasta lužnjaka. Jela je zastupljena sa 50 % u crnogoričnim šumama Hrvatske. Prirodno je rasprostranjena u planinskim predjelima Srednje, Južne i dijela Zapadne Europe. Obična jela (Abies alba) jedina je autohtona jela u Hrvatskoj, a razne druge vrste jela, kojih ukupno ima 40, rastu u umjerenom području Europe, Azije i Sjeverne Amerike. U Gorskom kotaru jela ima izuzetno povoljne uvjete te postiže veliku kvalitetu. Naraste do 40 m (u prašumama do 60 m), postiže debljinu veću od 1,5 m prsnog promjera. Deblo je valjkasto. Krošnja je u početku čunjasta, a u starosti može biti pri vrhu zaravnjena, kao odsječena.



(slika 4.; uzorak obične jele)

(tablica 1.; Svojsta jele)

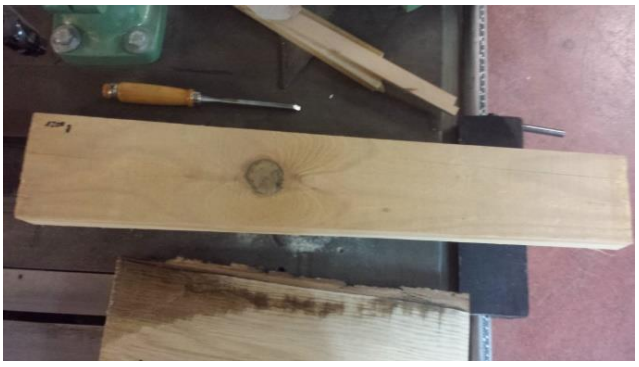
SVOJSTVO	**Obična jela** *(Abies alba Mill.)*
Gustoća, ρ	0,350...0,450...0,750 g/cm^3
Ogrjevna vrijednost, H_0	19,47 MJ/kg

Bijeli bor (*Pinus sylvestris L.*)

Obični bor **(slika 5. ; slika 6. ; tablica 2.)** je crnogorična vrsta drva iz porodice Pinaceae. Raste u širokom području Europe i Sjeverne Azije. U Hrvatskoj je autohtona vrsta drveća u području viših mezofitskih šuma. Visok je do 40 m. Drvo obiluje smolom. Ima mnogo formi i geografskih oblika. Kora je na gornjem dijelu debla i na ograncima tanka, crvenkastožuta, a ljušti se u tankim ljuskama. Donji dio debla ima sivosmeđu, izbrazdanu, debelu koru. Debla starijih stabala su crvenkasta i tanka.



(slika 5.; trupci bijelog bora)



(slika 6.; uzorak bijelog bora)

(tablica 2.; svojstva bijelog bora)

SVOJSTVO	**Bijeli bor** (*Pinus sylvestris L.)*
Gustoća, ρ	0,283...0,419...0,644 g/cm^3
Ogrjevna vrijednost, H_0	21,210 MJ/kg

Hrast lužnjak (*Quercus robur L.*)

Hrast lužnjak **(slika 7. ; slika 8. ; tablica 3.)** je bjelogorično drvo iz roda hrastova, porodice Fagaceae. To je drvo visine do 40 m (iznimno i do 50 m), a stablo može doseći promjer i do 3 m. To je dugovječno drvo koje može doseći starost od 500 do 800 godina. Krošnja mu je široka, nepravilna i dobro razgranata. Opća rasprostranjenost mu je gotovo cijela Europa, Kavkaz, i Mala Azija. Teže uspijeva na plitkom i suhom zemljištu. Zato su lužnjakova staništa pretežno na nizinskim ili blago brežuljkastim terenima. Tu je on zastupljen u čistim lužnjakovim šumama ili u mješovitim sastojinama s grabom, poljskim jasenom i dr.



(slika 7.; uzorak hrasta lužnjaka)



(slika 8.; trupci hrasta lužnjaka)

(tablica 3.; svojstva hrasta lužnjaka)

SVOJSTVO	**Hrast lužnjak** (*Quercus robur L.*)
Gustoća, ρ	0,390..0,620...0,790 g/cm^3
Ogrjevna vrijednost, H_0	19,4 MJ/kg

Štirka (škrob)

Štirka (škrob) je polimerni uglikohidrat koji se sastoji od velikog broja jedinica glukoze povezanih glikozidnom vezom. Ovaj polisaharid se proizvodi u većini biljaka kao spremište energije. To je najčešći ugljikohidrat u ljudskoj prehrani, a nalazi se i u velikim količinama u namjernicama kao što su krumpir, pšenica, kukuruz, riža. Čisti škrob je bijeli prah bez okusa i mirisa koji je netopiv u

hladnoj vodi ili alkoholu. Sastoji se od dvije vrste molekula: linearne i spiralne amiloze i razgranatih aminopektina. Ovisno o biljci, općenito sadrži 20 – 25 % amiloze i 75 – 80 % amilopektina. U industriji škrob se pretvara u šećere koji se koriste za proizvodnju etanola u proizvodnji piva, viskija ili za biogoriva. Otapanjem škroba u toploj vodi dobiva se gusta pasta koja se može koristiti kao sredstvo za zgrušavanje, ukručivanje ili ljepljenje.

Priprema uzoraka

Priprema uzoraka provodila se u više koraka od kojih je prvi raspiljivanje uzoraka uz pomoć kružne pile, te usitnjavanje pomoću dlijeta (**slika 9.** i **slika 10.**). Uzorci su do konačne veličine usitnjeni pomoću mlina ***Retsch SM 300*** sa spiralnim nožem i sitom četvrtastog otvora 2 mm (**slika 11.**). Frekvencija vrtnje noža bila je 1500 min^{-1}.



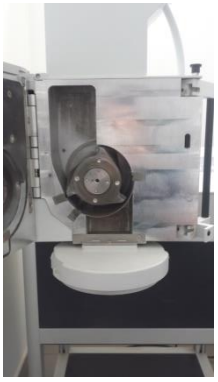
(slika 9.; usitnjavanje uzoraka pomoću dlijeta i čekića)



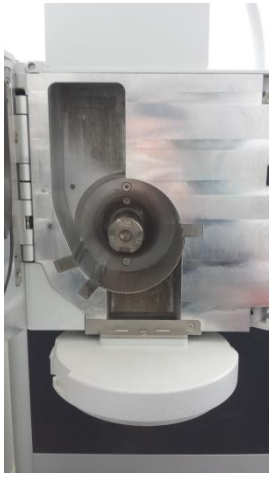
(slika 10.; uzorci hrasta nakon usitnjavanja pomoću dlijeta i čekića)



(11. a)



(11. b)



(11. c)



(11. d)

(slika 11. a - nož za usitnjavanje; 11. b i 11. c - unutrašnjost stroja; 11. d - vanjski izgled stroja)

Određivanje sadržaja vode uzoraka

Nakon što su uzorci usitnjeni na određenu granulaciju, izmjeren im je sadržaj vode (**tablica 4.**). Sadržaj vode mjeren je za svaki uzorak zasebno u tri ponovljena mjerenja. Mjerenje se provodilo uz pomoć IC analizatora vlage marke **Sartorius MA 150** koji zagrijava uzorak do temperature 103 ± 2°C i konstantne mase (**slika 12.**). Prilikom mjerenja voda ispari iz uzoraka te se dobije točan sadržaj vode.

(tablica 4. Sadržaj vode u uzorcima)

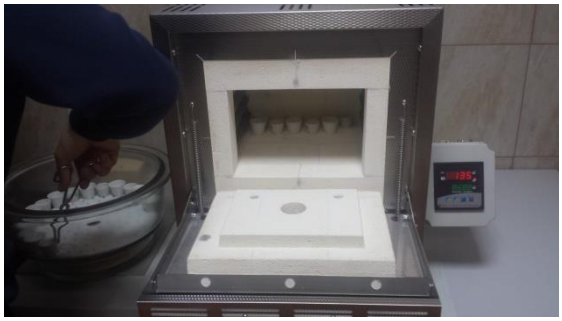
Rbr.	Vrsta / Postotak drva	jela	bor	hrast
1	%	9,70 %	9,65 %	10,51 %
2		9,95 %	10,14 %	9,94 %
3		9,61 %	10,02 %	10,14 %
Σ		9,75 %	9,93 %	10,20 %



(slika 12.; IC analizator vlage **sartorius MA 150** za određivanje sadržaja vode u drvu)

Određivanje sadržaja pepela (HRN EN ISO 18122:2015)

Određivanje sadržaja pepela proveden je u mufolnoj peći marke **Nabertherm L9/13/B180 (slika 13.)**. Prvo se važu prazne posudice na vagi s točnošću od 0,1 mg, potom se iste posudice pune sa 1 g uzorka i slažu u peć. Uzorci se zajedno s posudicama zagrijavaju na temperaturu od 550 ± 10°C. Zagrijavanje započinje jednolikim podizanjem temperature do 250 °C u vremenu od 30 min. Postignuta temperatura zadržava se slijedećih 60 min radi hlapljenja određenih komponenti. Iduća faza je daljnje zagrijavanje u vremenu 30 min do konačne temperture 550 ± 10 °C, a postignuta temperatura zadržava se 120 min.



(slika 13.; Mufolna peć Nabertherm L9/13/B180)

Nakon što su se uzorci ižarili, potrebno ih je izvaditi iz peći i odložiti u eksikator (**slika 14.**) gdje se hlade do sobne temperature slijedećih 5 – 10 min. Nakon kondicioniranja uzoraka, oni se vade i važu na analitičkoj vagi s točnošću od 0,1mg.



(slika 14.; eksikator)

Određivanje sadržaja pepela provodi se pomoću formule (1) :

$$A_d=\frac{(m3-m1)}{(m2-m1)} * 100 * \frac{100}{100-Mad} \qquad (1)$$

A_d – 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_u – masa uzorka (g)

M_{ad} – sadržaj vode (%)

Kondicioniranje uzoraka

Nakon usitnjavanja uzoraka potrebno ih je kondicionirati i svesti ih na jednaki sadržaj vode (10 %) (**slika 15.**).



(slika 15.; kondicioniranje uzoraka usitnjenog drva)

Usitnjeni uzorci stavljaju se u plastične posude i obilježavaju. U posebne posude priprema se prezasićena otopina soli amonijevog nitrata (NH_4NO_3) (**slika 16.**). Potom se posude s uzorcima i otopinom soli slažu u plastični kontejner i pomoću podložnih letvica radi se razmještaj. Prije zatvaranja, u kontejner se postavlja osjetnik vlage i temperature nakon čega se zatvara i zabrtvi te počinje kondicioniranje. Uzorci se kondicioniraju 30 dana s ciljem postizanja jednolikog sadržaja vode u svim uzorcima.



(16. a)



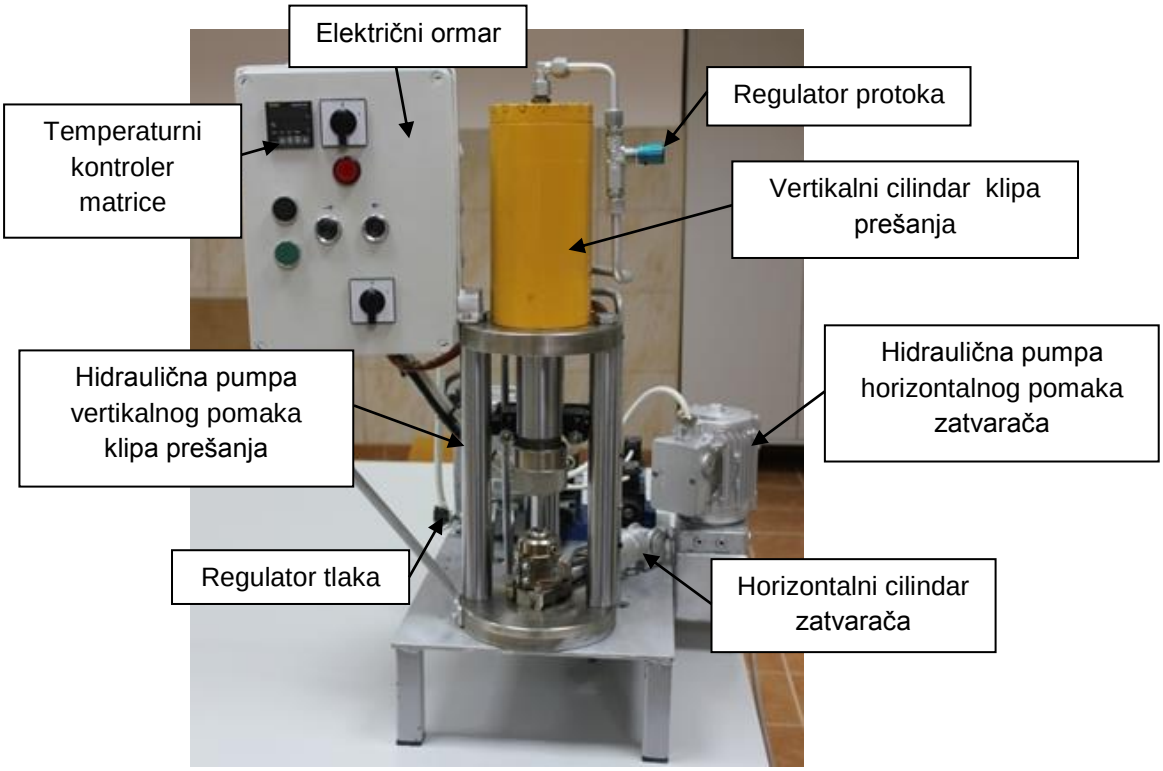
(16. b)

(slika 16. a; posudice soli prije upotrebe; slika 16. b; prezasićena otopina soli)

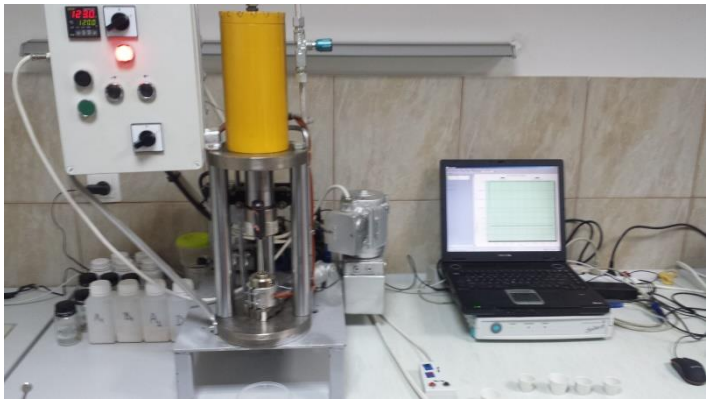
Prešanje i mjerenje peleta

Nakon kondicioniranja uslijedilo je formiranje uzoraka A_1 (jela - hrast u omjeru 50 % : 50 %), B_1 (jela - bor u omjeru 50 % - 50 %), A_2 (jela – hrast - dodatak u omjeru 45 % - 45 % - 10 %), B_2 (jela-bor-dodatak u omjeru 45 % - 45 % - 10 %). Za proizvodnju potrebnih peleta korištena je sljedeća oprema: hidraulična preša, računalo, pojačalo, mikrometar i analitička vaga.

Hidraulična preša (**SPP – single pellet press**) (**slika 17.**) koja se sastoji od dva odvojena hidraulična sklopa; **a)** vertikalni - kojim se ostvaruje tlak prešanja, a kojeg pokreće hidraulična pumpa (**HAWE**), **b)** horizontalni – koji služi za pomak zatvarača, a pogonjen je drugom ali isto tako trofaznom hidrauličnom pumpom marke (**WÖRNER**). Rad vertikalnog i horizontalnog sklopa neovisni su jedan o drugome što znači da je kod vertikalnog sklopa moguće regulirati tlak i protok. Također, preša je opremljena grijačem koji ima snagu 300 W te regulatorom temperature matrice (Sestos PID temperaturni kontroler). Na preši se još koristi oprema za mjerenje sile (dinamometar) **HBM C9C / 20 kN** koji se ulaže u utor matrice klipa za prešanje. Za potrebe očitavanja sile, korišteno je prijenosno računalo marke (**TOSHIBA**) koje podatke dobiva preko mjernog pojačala marke **HBM Spyder 8** i softvera **Catman 4.0** (**slika 18.**).



(slika 17.; glavni djelovi preše, Šafran 2015)



(slika 18.; hidraulična preša i računalo za mjerenje sile prešanja)

Mjerenje dimenzija i mase peleta obavljalo se pomoću mikrometra (***Shimadzu***, ***model***) sa stalkom (**slika 20.**) i analitičke vage s točnošću 1 mg (**Sartorius Talent TE214S-OCE**) (**slika 19.**) i pomoću pripadajućeg softvera za unos podataka.



(slika 19.; analitička vaga)



(slika 20.; mikrometar s postoljem)

Prije samog prešanja bilo je potrebno u keramičke lončiće pripremiti po 0,25 g uzorka te prešu zagrijati na temperaturu od 120 °C pomoću regulatora temperature i grijača koji se nalazi na matrici za izradu peleta. Potom se namjestila sila prešanja pomoću regulatora tlaka i protoka i uz pomoć računala i pojačala kontrolirala se podešena vrijednost koja je iznosila 4 kN. Uz prešu, za potrebe izrade peleta postavlja se mikrometar i analitička vaga kojima se mjere dimenzije i masa. Mikrometar i vaga povezani su s računalom kako bi se svi podaci automatski unosili u tablice i pripremili za daljnje analize.

Prvo je uslijedilo prešanje uzoraka u pelete. Postupak prešanja peleta trajao je 20 s na temperaturi 120 °C i sili 4 kN (**slika 21.**). Završetkom prešanja pelet je izvagan na analitičkoj vagi (**slika 22.**) te su izmjerene dimenzije mikrometrom (**slika 23.**). Mjerene su duljina i promjer koji se potom unose u tablice, a postupak se ponavlja još 4 puta. Nakon izrađenih 20 uzoraka pri temperaturi 120 °C isti postupak ponavlja se i kod temperature 200 °C te je ukupno izrađeno 40 uzoraka smjesa (A_1 ; A_2 ; B_1 ; B_2). Izrađeni peleti spremaju se u plastične epruvete i ostavljauju 7 dana da se stabiliziraju (**slika 24.**). Nakon 7 dana uslijedilo je ponovno vaganje i mjerenje uzoraka.



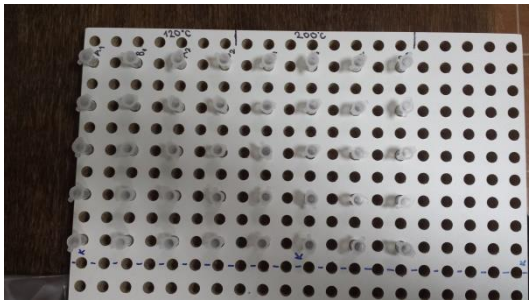
(slika 21.; doziranje pripremljene drvne sirovine u prešu)



(slika 22.; vaganje peleta)



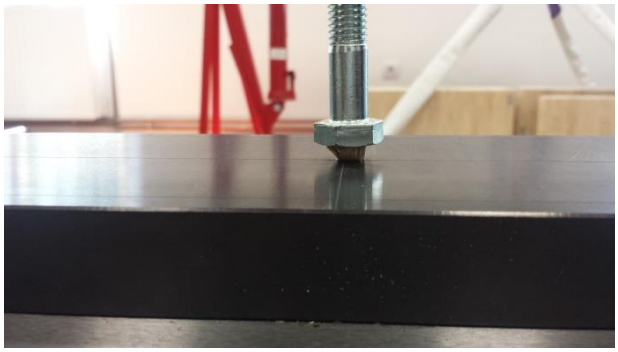
(slika 23.; mjerenje dimenzija peleta)



(slika 24.; odlaganje peleta)

Određivanje tlaka pri maksimalnoj vrijednosti sile prilikom tlačnog ispitivanja peleta

Nakon prikupljenih podataka o promjeru, duljini i masi, uslijedilo je određivanje maksimalne vrijednosti sile pri tlačnom ispitivanju koje se provodilo na kidalici **Shimadzu Autograph AG – X plus**. Za ovo ispitivanje korišteni su predhodno napravljeni uzorci peleta, po 5 uzoraka od svake smjese. Nakon podešavanja kidalice opremljene dinamometrom 1000 N i namještanja parametara ispitivanja započela su tlačna ispitivanja. Testirano je po 5 uzoraka iz svake skupine A_1, B_1, A_2 i B_2. Pomoću softvera **Trapezium X** namještena je početna visina glave vijka 15 mm od osnovne ploče, nakon čega započinje pomak tlačnog vijka uzorku brzinom 300 mm/min. Na visini od 6,5 mm od osnovne ploče brzina pomaka se smanji na 1,5 mm/min i tu je proveden tlačni test (**slika 25.**). Nakon gotovog ispitivanja vijak se automatski vraća u početni položaj, a računalo na zaslonu ispisuje dijagram ispitivanja sa označenom maksimalnom silom loma. Čime je moguće utvrditi čvrstoću uzoraka peleta prema smjesi i temperaturi prešanja.



(slika 25.; mjerenje tlačne čvrstoće pomoću kidalice Shimadzu Autograph AG – X plus)

Određivanje gornje ogrjevne vrijednosti

Ispitivanje gornje ogrjevne vrijednosti započinje na stroju za prešanje tableta iz drvne biomase mase 1 ± 0,1 g. Tablete se prešaju silom 40 kN pomoću hidraulične preše (**slika 26.**). Kalup za izradu tableta sadrži 4 kanala promjera 13 mm u koji se uspe drvna masa i preša metalnim klinovima u vremenskom periodu od cca 10 – 30 s.



(slika 26.; hidraulična preša za izradu peleta, Augustinović, 2015)

Gornja ogrjevna vrijednost ispitana je kalorimetrom **IKA C200** (**slika 27.**). Osnovni i najbitniji dijelovi kalorimetra su: kalorimetarska bomba, posuda kalorimetra, mješalica, temperaturni senzor i konektor (Šafran 2015).



(slika 27.; kalorimetar IKA C200, Augustinović 2015)

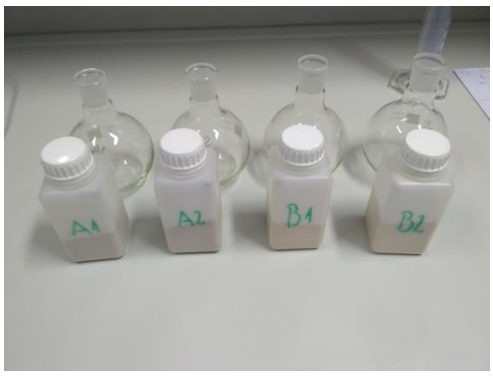
Ispitivanje u kalorimetru započinje pripremom kalorimetarske bombe. U posudu bombe se ulije 5 ml destilirane vode. Za zapaljenje tablete koristi se celulozna nit koja se u obliku omče veže za platinastu žicu spojenu s elektrodama na poklopcu kalorimetarske bombe. Na držač se stavlja kvarcna posudica u koju se umetne uzorak u obliku tablete. Tableta s celuloznom niti mora imati neposredni kontakt da bi se zapaljnjem celulozne niti ostvarilo zapaljenje tablete. Nakon što je bomba pripremljena i zatvorena poklopcem, puni se kisikom čistoće 99,5 % pod tlakom 3 MPa, a na vrh posude namješta se kontaktni spoj. Bomba se odlaže u kalorimetar, a spremnik se puni s 3 l vode temperature 18 – 25 °C. U uređaj se prije početka ispitivanja unosi netom prije izvagana masa tablete Mjerenje ogrjevne vrijednosti traje cca 15 – 18 min i odvija se u 3 faze:

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

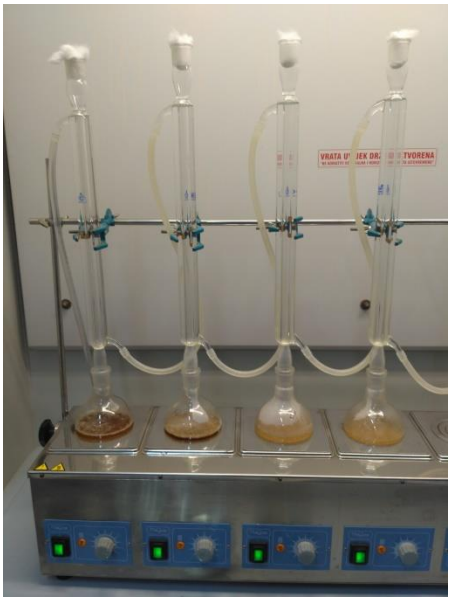
Nakon završetka mjerenja, na zaslonu uređaja ispiše se gornja ogrjevna vrijednost uzorka i time se završava proces mjerenja.

Određivanje pH vrijednosti - priprema vodenog ekstrakta i titracija

Kuhanje dviju smjesa drva, sa i bez dodatka štirke (ukupno 4 uzorka (**slika 28.**) – A_1 ; A_2 B_1; B_2) provedeno je u cilju dobivanja ekstraktivne vodene otopine te kasnijeg određivanja pH vrijednosti istih. Ekstrakt je pripremljen na način da je 25 g suhog drva kuhano u 250 ml destilirane vode uz refluks u trajanju od 20 minuta (**slika 29.**). Nakon toga, smjesa je filtrirana pomoću filtar papira. Svaka frakcija u potpunosti je iscijeđena i filtrirana iz čega je izdvojen željeni volumen od 100 ml. Nakon toga ekstrakt je kondicioniran na sobnu temperaturu. Od tako dobivenog ekstrakta po 50 ml korišteno je za određivanje točke ekvivalencije, odnosno točke u kojoj je pH vrijednost konstantna. Konstantna pH vrijednost utvrđena je titriranjem ekstrakata otopinom natrijevog hidroksida koncentracije 0,1 mol/L, primjenom titratora Mettler Toledo Easy Pro, opremljenog sa staklenom elektrodom EG11-BNC (**slika 30.**).



(slika 28.; priprema uzoraka)



(slika 29.; kuhanje uzoraka)



(slika 30.; Mettler Toledo Easy Pro)

Obrada podataka

Prikupljeni podaci tjekom ispitivanja sirovina i peleta unose se u excel tablice koje služe za daljnju obradu podataka. U excel tablice se unose podaci o sadržaju vode, dimenzijama i masi nakon prešanja te nakon 10 dana, sadržaju pepela, maksimalnoj sili pri tlačnom ispitivanju, ogrjevnoj vrijednosti pri sadržaju vode te u apsolutno suhom stanju i pH vrijednosti. Podaci su statistički i matematički obrađeni, određena je gustoća peleta neposredno nakon prešanja te nakon 10 dana, analizirana je promjena gustoće te su analizirane ogrjevne vrijednosti peleta. Dobiveni podaci pokazuju rezultate utjecaja korištenih sirovina i zadanih parametara prešanja na konačnu kvalitetu dobivenih peleta.

Rezultati istraživanja

Svrha ovog istraživanja je bila istraživanje pogodnosti omjera smjesa triju vrsta drva u proizvodnji peleta prema odabranim parametrima. Istraživanja su provedena prema predhodno navedenim metodama. Vrste drva koje su korištene u ovom istraživanju su: jela (*Abies alba Mill.)*, hrast (*Quercus robur L.)* i bor (*Pinus sylvestris L.)*, te dodatak štirke (škrob). Uzorci su prikupljeni u obliku kraćih dasaka koje su se morale dodatno usitniti. Nakon usitnjavanja, uslijedilo je određivanje sadržaja vode uzorka, mješanje s dodacima i utvrđivanje sadržaja pepela žarenjem u peći. Ispitivanja su provedena u tri ponavljanja s ciljem dobivanja što točnijih rezultata.

Rezultati sadržaja vode se razlikuju pa je potrebno izjednačiti sadržaj vode koji se provodi metodom kondicioniranja uzoraka u prezasićenoj otopini soli na sadržaj vode od 10 %. U tablici 5. prikazani su sadržaji vode nakon kondicioniranja za uzorke A_1 i B_1, te su u prosjeku između 10 i 11 %. Uzorci A_2 i B_2 imaju viši sadržaj vode radi dodavanja štirke nakon kondicioniranja uzorka stoga iznose nešto više i kreću se između 16 i 17 % (tablica 5.).

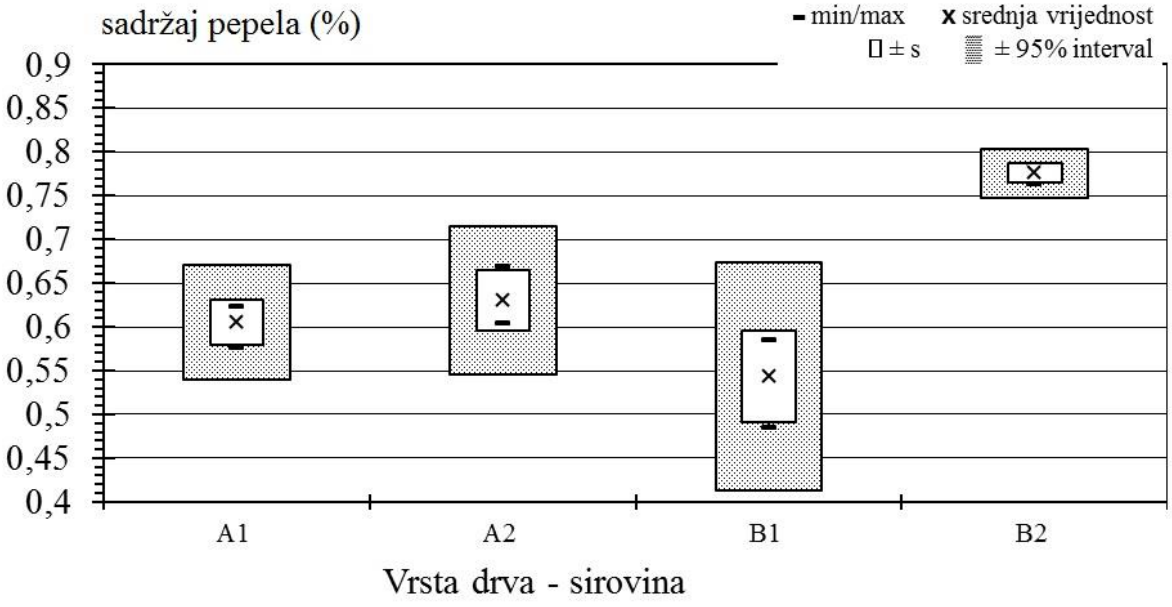
(tablica 5. Sadržaj vode uzoraka)

uzorak	m_p	m_u	m_2	m_3	Sadržaj vode (%)
A1	31,5167	1,0080	32,5247	32,4225	10,14
	29,8511	1,0036	30,8547	30,7497	10,46
	30,4674	0,9999	31,4673	31,3669	10,04
A2	32,2553	1,0005	33,2558	33,0866	16,91
	30,6174	1,0175	31,6349	31,4636	16,84
	30,8712	1,0021	31,8733	31,7057	16,72
B1	30,0796	1,0012	31,0808	30,9798	10,09
	29,2108	1,0108	30,2216	30,1204	10,01
	27,7809	1,0048	28,7857	28,6859	9,93
B2	29,2703	1,0177	30,2880	30,1215	16,36
	30,6839	1,0162	31,7001	31,5328	16,46
	30,3247	1,0154	31,3401	31,1743	16,33

(tablica 6. Sadržaj pepela uzoraka)

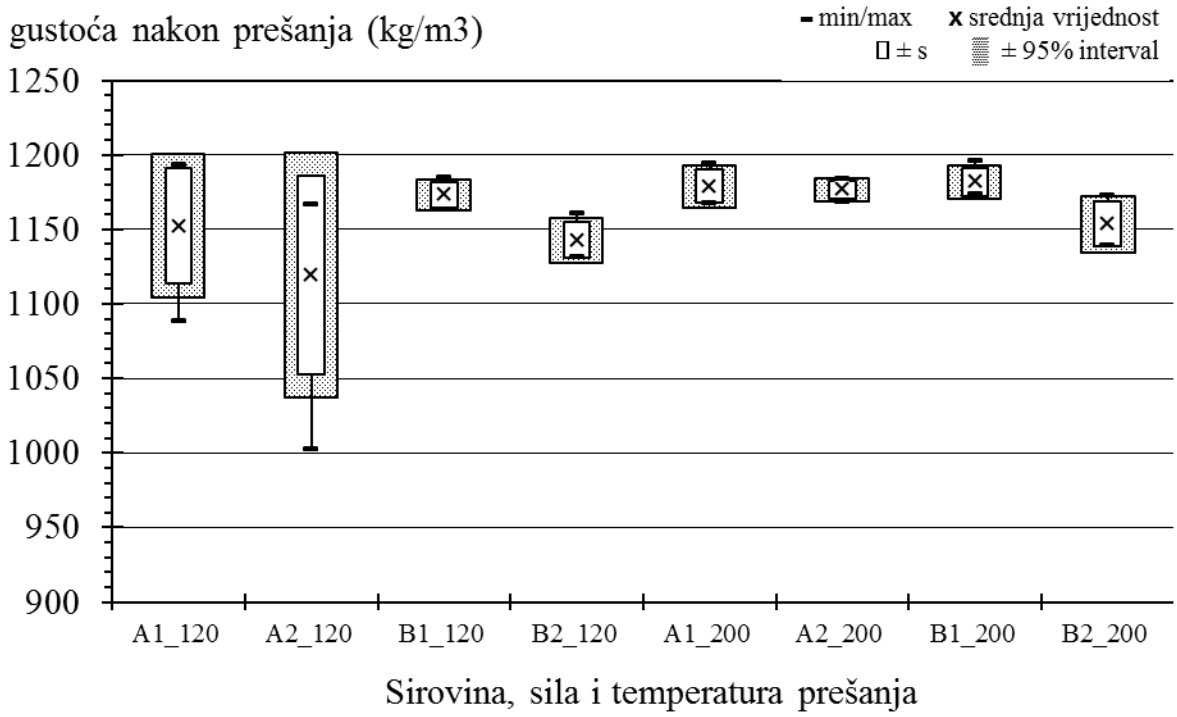
uzorak	m_p	m_u	m_2	m_3	Sadržaj pepela (%)
A1	17,0072	1,0062	18,0134	17,0124	0,58
	10,4903	1,0035	11,4938	10,4959	0,62
	13,6296	1,0084	14,6380	13,6352	0,62
A2	11,1975	1,0129	12,2104	11,2027	0,62
	18,6607	1,0150	19,6757	18,6658	0,60
	10,4155	1,0053	11,4208	10,4211	0,67
B1	16,6561	1,0100	17,6661	16,6612	0,56
	11,7121	1,0086	12,7207	11,7174	0,58
	17,1340	1,0089	18,1429	17,1384	0,48
B2	10,6787	1,0108	11,6895	10,6853	0,78
	13,5302	1,0198	14,5500	13,5367	0,76
	11,2306	1,0219	12,2525	11,2373	0,78

Sadržaj pepela (**tablica 6.**) razlikuje se u uzorcima. Vidljivo je da s dodatkom štirke smjesama drva, sadržaj pepela raste. Usporedbom uzoraka A_1 i A_2 vidljivo je malo i gotovo neznatno povećanje sadržaja pepela, dok se usporedbom uzoraka B_1 i B_2 dogodilo značajno povećanje s 0,54 na 0,78 %. Time uzorak B_2 (jela - hrast – štirka) ne ispunjava zahtjev norme po kojoj drvni pelet mora imati sadržaj pepela manji od 0,7 % što je vidljivo iz diagrama na **slici 31.**



(slika 31.; sadržaj pepela uzoraka)

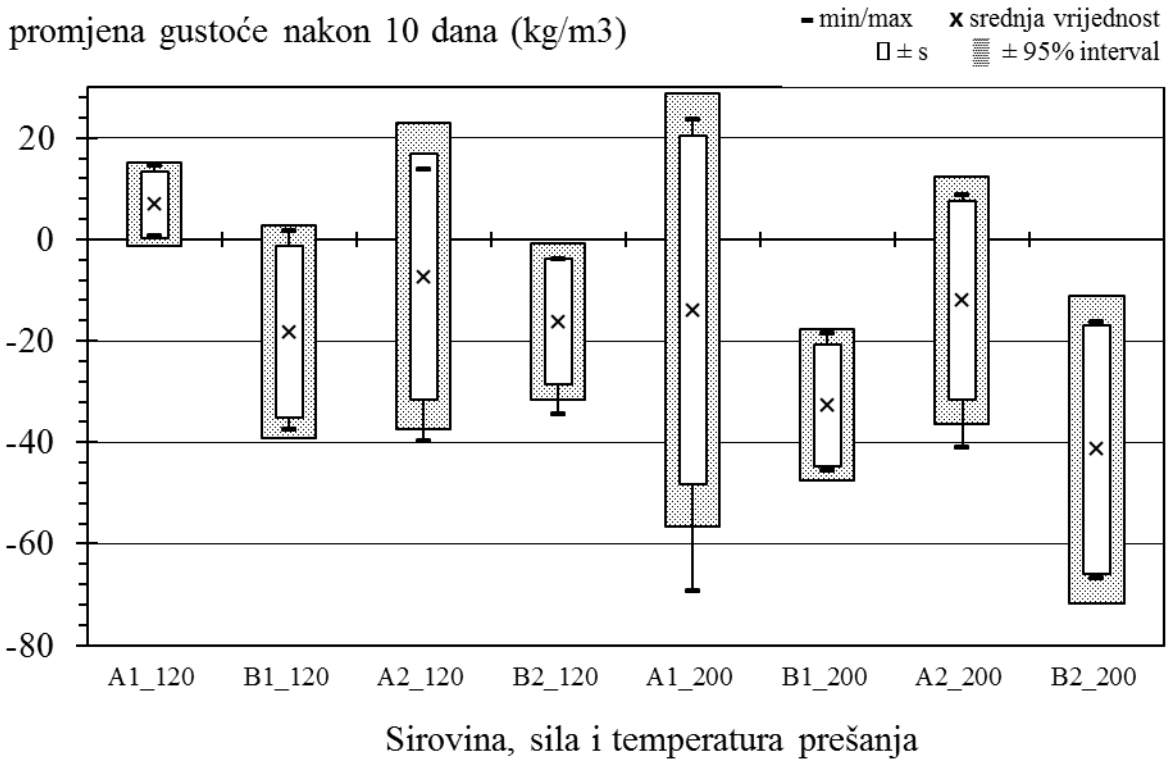
Nakon određivanja sadržaja vode i pepela mjerena je dimenzionalna stabilnost peleta. Mjerenje je provedeno poslije prešanja peleta pri čemu su mjereni duljina, promjer i masa, nakon čega se peleti odlažu u plastične posudice s poklopcem gdje se dimenziski stabiliziraju 10 dana. Gustoća peleta pri isprešanju prikazana je na **slici 32.**, a nakon 10 dana ponovno su mjerene dimenzije i određena je gustoća. Gustoća nakon prešanja kod svih uzoraka kojima je dodana štirka, manja je od gustoće uzoraka bez štirke i kod svih uzoraka to smanjenje gustoće kreće se u rasponu 20 – 60 kg/m^3 s time da je smanjenje gustoće izraženije kod temperature prešanja 120 nego kod temperature 200 ℃.



(slika 32.; gustoća peleta pri prešanju)

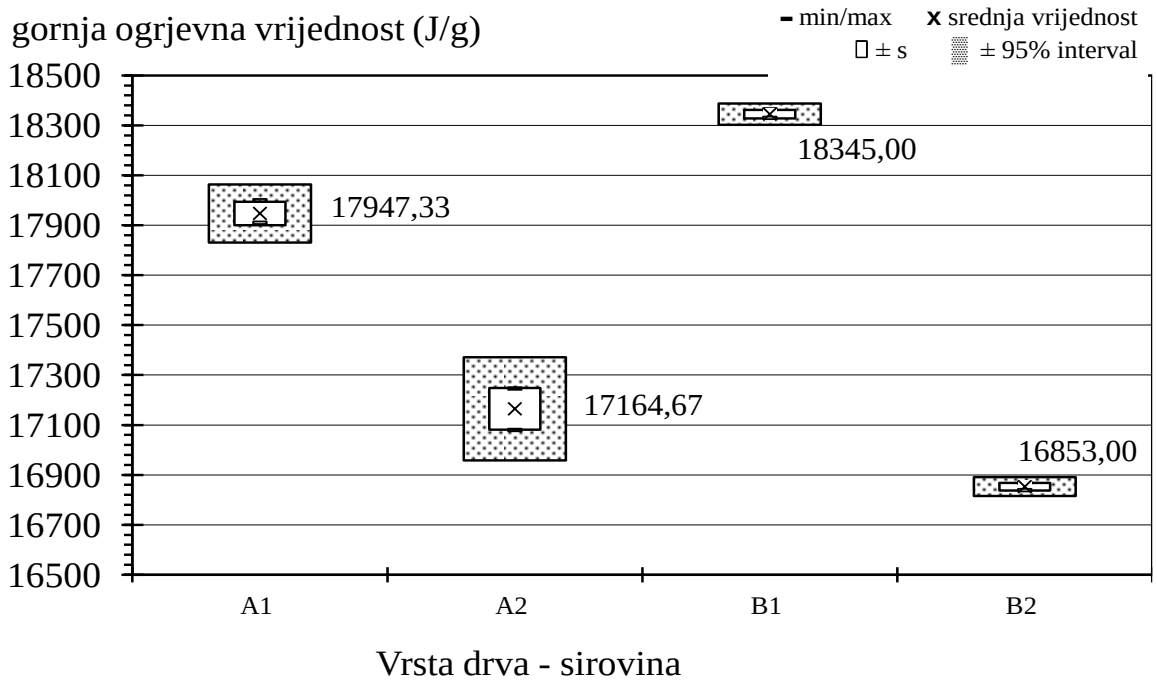
Nakon 10 dana kondicioniranja zabilježene su promjene u gustoći između uzoraka koje se vide na **slici 33**. Gustoće nakon 10 dana variraju i u većini slučajeva se izgubilo na gustoći osim u uzorku A_1_120 koji ima povišenje od 6,9 kg/m^3, dok je najviše izgubio uzorak B_2_200 koji je izgubio 41,45 kg/m^3. Također, kao i neposredno nakon isprešanja, kod gustoće uzoraka sa dodatkom štirke, zabilježen je veći pad gustoće. Nakon 10 dana stabilizacije, uzorci prešani pri temperaturi 200 ℃ pokazuju veći pad gustoće od onih prešanih pri 120 ℃, što je u

suprotnosti s gustoćom nakon prešanja. Taj rezultat je djelomično logičan budući da je viša temperatura omogućila bolju kompresiju uzoraka, a veća početna gustoća rezultirala je većom ekspanzijom nakon 10 dana.



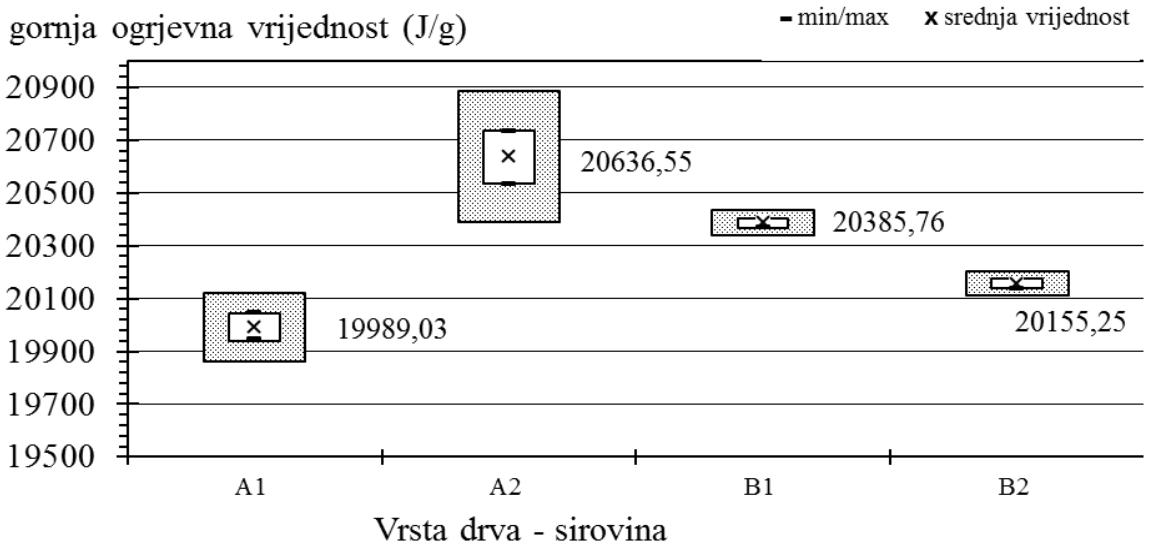
(slika 33.; promjena gustoće nakon 10 dana)

Gornja ogrjevna vrijednost provodila se izradom tableta od 1 ± 0,1 g na hidrauličnoj preši i potom ispitivanja u kalorimetru. Nakon izrade tableta uslijedila su testiranja prema predhodno opisanom postupku. Rezultate gornje ogrjevne vrijednosti mjerili smo u dva različita mjerenja. Prvi je bio pri sadržaju vode 10 – 16 %, gdje je 10 % sadržaja vode imao uzorak A_1 i B_1 dok su uzorci A_2 i B_2 imali nešto veći sadržaj vode radi dodavanja štirke (**slika 34.**). Drugo mjerenje ogrjevne vrijednosti provedeno je na uzorcima pri sadržaju vode 0 %, gdje su se prije testiranja predhodno sušili na temperaturi 103 ± 2°C u vremenu 24 h.



(slika 34.; gornja ogrjevna vrijednost pri 10 – 16 % sadržaja vode)

Pri sadržaju vode 10 – 16 % vidi se da uzorci bez štirke daju višu ogrjevnu vrijednost, to je zbog toga što je sadržaj vode u uzorcima A_2 i B_2 viši za 5 – 6 %. Stoga su se morala ponoviti mjerenja pri sadržaju vode od 0 %. Iako je sadržaj vode viši za 5 – 6 % razlika u ogrjevnoj vrijednosti je velika kao što se vidi na slici.



(slika 35.; gornja ogrjevna vrijednost pri 0 % sadržaja vode)

Iz dijagrama na **slici 35**. vidi se da se ogrjevna vrijednost uzoraka A_2 u odnosu na A_1 povećala te sada daje višu ogrjevnu vrijednost nego u prijašnjem testiranju što je logična posljedia izjednačavanja sadržaja vode na apsolutno suho stanje 0 %. Kod uzorka B_2 ogrjevna vrijednost i dalje je ostala niža od uzorka B_1 i ta razlika iznosi 230 J/g. Uzorak B_2 uz smanjenje ogrjevne vrijednosti također je pokazao nelogičnost u vrlo visokom sadržaju pepela koji je iznosio 0,78 %. Zbog navednih rezultata odlučeno je da se na uzorcima naprave dodatne analize koje bi pomogle u tumačenju promjena koje su se u uzorcima desile uslijed dodavanja štirke.

U daljnjim testiranjima, iz uzoraka je pripremljen vodeni ekstrakt, oni su titrirani te im je određena pH vrijednost. Analizom pomoću pH analizatora ustanovljeno je da je pH sadržaj uzorka B_2 viši od ostalih uzoraka i ulazi u blago lužnato područije (**tablica 7.**).

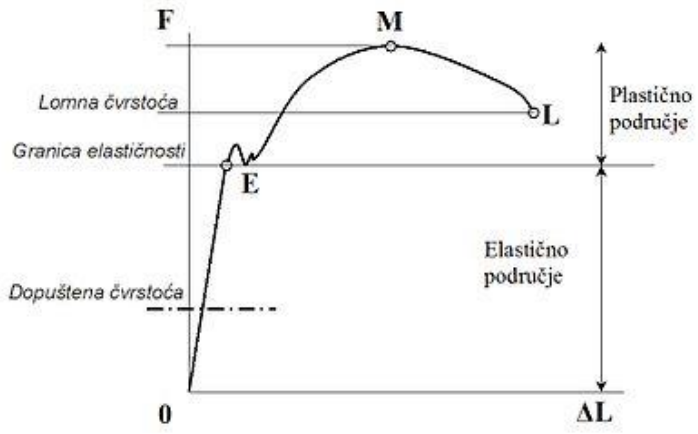
(Tablica 7. Rezultati mjerenja pH)

uzorak	pH
A_1	4,85
A_2	4,88
B_1	4,86
B_2	7,60

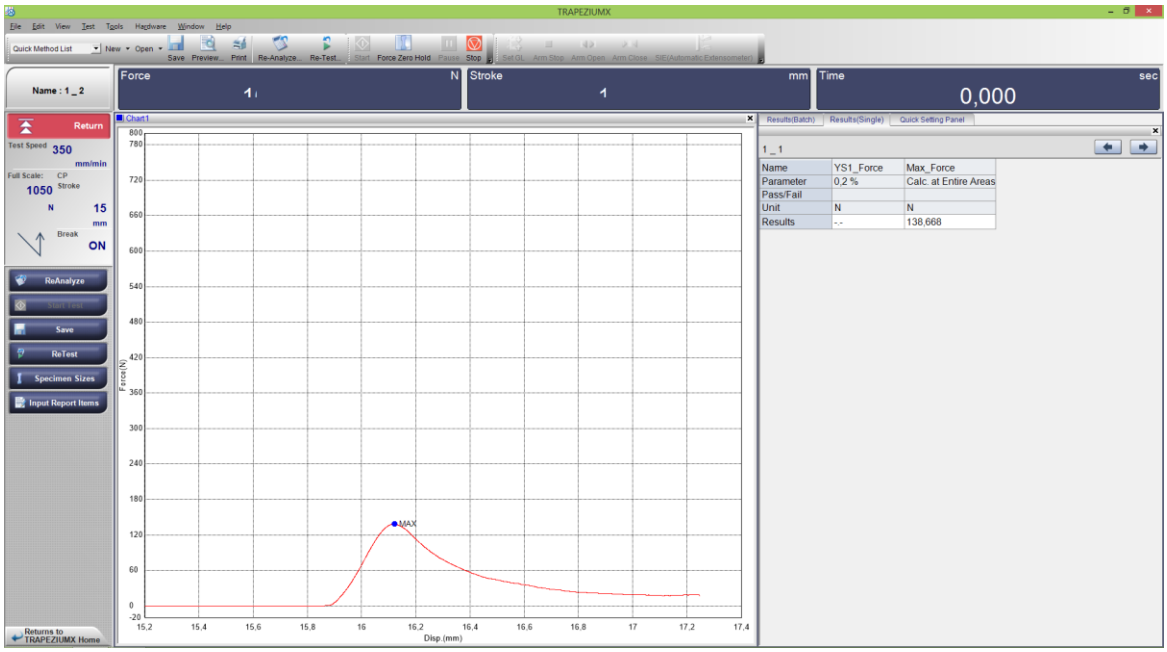
Iz gore provedenih mjerenja te analizom literature može se zaključiti da se povećanjem pH već u slabo lužnato područje kod uzorka B_2, umjesto povećanja, dogodio gubitak ogrjevne vrijednost peleta. Pretpostavka je da se prilikom dodavanja štirke u smjesu bora i jele dogodila kemijska reakcije sa smolom iz bora koja je promijenila pH uzorka B_2. Kasnijom diskusijom te prilikom ponovne pripreme i miješanja uzorka B_2 uočeno je blago povećanje temperature u uzorku, što može značiti djelomičnu oksidaciju uzorka prilikom dodavanja štirke.

Rezultati tlaka pri maksimalnoj vrijednosti sile tlačnog testa u radijalnom smjeru za sve uzorke prikazani su na **slici 39**.

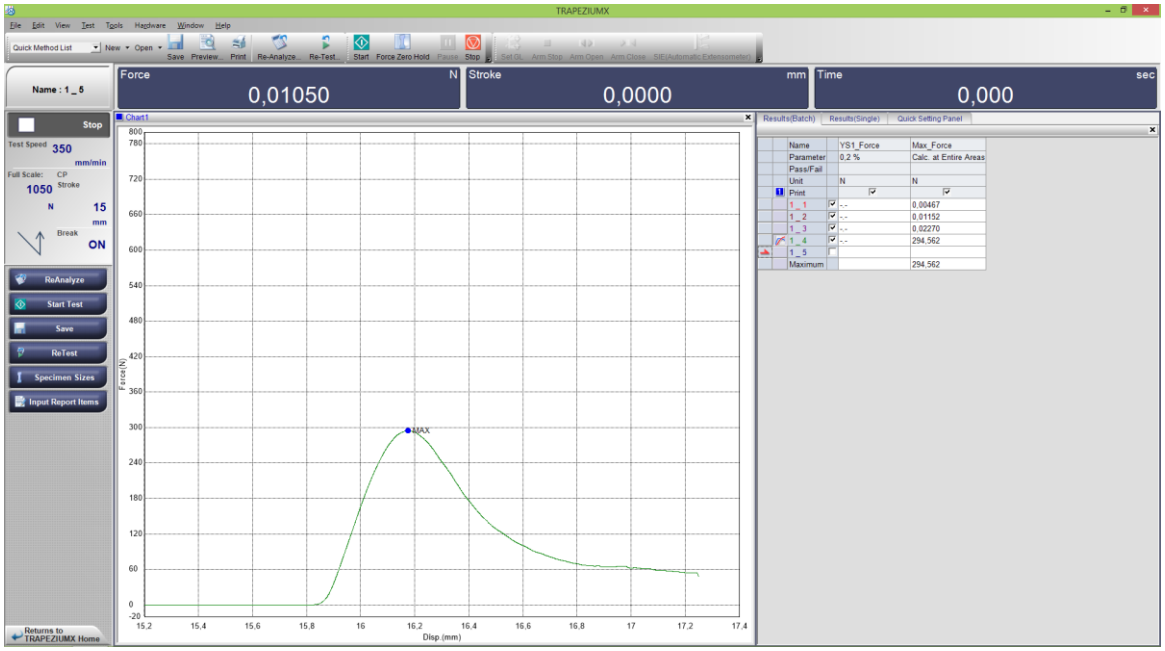
Prilikom ispitivanja tlačne čvrstoće peleta u radijalnom smjeru analizirana je maksimalna vrijednost sile dobivena izradom hookovih dijagrama. Zbog elastičnosti drvnog materijala korištenog u ovom radu točku proporcionalnosti teško je ili nemoguće odrediti u samom dijagramu. **Slika 36.** prikazuje hookeov diagram za kruti materijal u kojem su vidljive sve karakteristične točke. Točka E prikazuje točku proporcionalnosti koja se na ispitivanjima elastičnog materijala ne vidi ili je slabo vidljiva. Stoga se prilikom provedenih ispitivanja isčitavala točka M, tj. maksimalna vrijednost sile, što je vidljivo na **slikama 37.** i **38**.



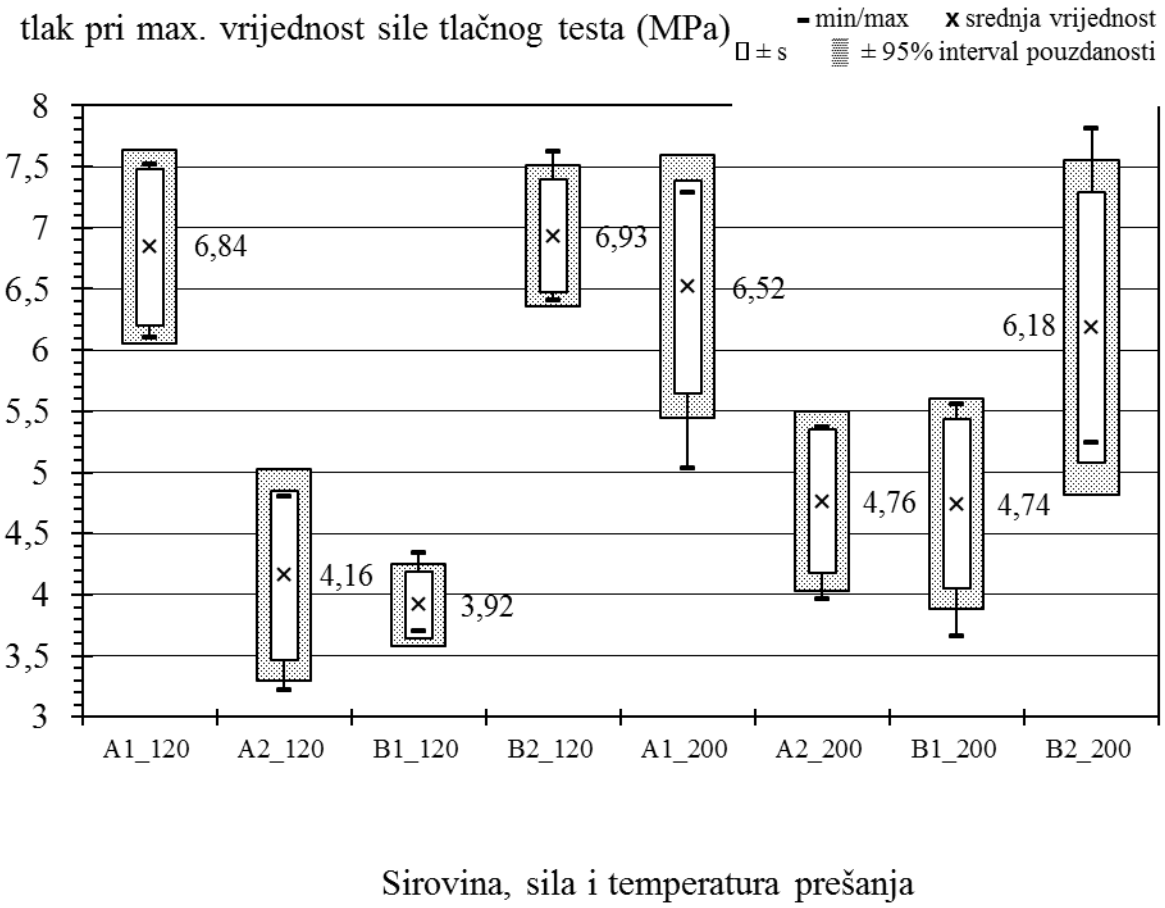
(slika 36.; hookeov diagram)



(slika 37.; uzorak A1_120)



(slika 38.; uzorak A2_120)



(slika 39.; tlak pri maksimalnoj vrijednosti sile tlačnog testa)

Iz diagrama na **slici 39.** vidljivo je da su najbolji rezultati tlaka pri maksimalnoj vrijednosti sile tlačnog testa postignuti kod uzorka B2_120, a iznosili su cca 6,5 – 7,6 MPa. Dok su najlošiji rezultat postigli uzorci B1_120 koji su iznosili cca 3,6 – 4,3 MPa. Iz dijagrama je također vidljivo da uzorci smjese A_1 bez dodatka štirke pokazuju značajno bolje rezultate od uzoraka A_2, dok su kod uzoraka B_1 i B_2 rezultati suprotni. Iz diagrama se vidi da nije nužno da se dodavanjem štiirke u smjesu poveća i otpornost djelovanju sile na uzorak, kao što je vidljivo u uzorcima A1_120 i A2_120 te A1_200 i A2_200 gdje se vidi da se dodavanjem štirke smanjila njegova otpornost na djelovanje sile, dok uzorci smjese B pokazuju značajno povećanje mehaničke otpornosti peleta u radijalnom smjeru sa dodatkom štirke.

Zaključak

U ovom završnom radu provedena su laboratorijska istraživanja drvne sirovine i njihovih mješavina s ciljem utvrđivanja da li dodatkom određene komponente možemo utjecati na dimenzionalnu stabilnost, mehanički čvrstoću i ogrjevnu vrijednost uzoraka. U radu su korištene kombinacije i mješavine uzoraka koje se ne koriste u industrijskoj izradi peleta.

Analizom se utvrdilo da dodatak štirke negativno utječe na dimenzionalnu stabilnost peleta što je promatrano određivanjem gustoće uzoraka. Također je utvrđeno da smjesa A u odnosu na smjesu B pokazuje bolju dimenzionalnu stabilnost tj. da smjesa jele i hrasta daje kompaktnije pelete od smjese jele i bora. Temperatura prešanja 120 °C pokazuje nešto bolje rezultate mehaničke čvrstoća u odnosu na temperaturu 200 °C, ali te razlike nisu značajne.

Mješavina (B) bor – jela – štirka pokazuje smanjenje ogrjevne vrijednosti iako se kod pripreme pokusa pretpostavljalo da će ogrjevna vrijednost s dodatkom štirke porasti. Uz smanjenje ogrjevne vrijednosti isti uzorak pokazuje povećanje sadržaja pepela. Daljnjim analizama utvrđeno je da je porastao i pH u smjesi što dovodi do pretpostavke da borova smola u reakciji sa štirkom kemijski reagira i povećava pH i samim time smanjuje ogrjevnu vrijednost. U ostalim smjesama, dodatkom štirke ogrjevna vrijednost se povećala.

Tlačnim ispitivanjem u radijalnom smjeru došli smo do zaključka da se dodavanjem štirke u smjesi A smanjila tlačna čvrstoća uzoraka, dok je u smjesi B dodavanje štirke dalo značajno bolju mehaničku čvrstoću.

Literatura

1. Augustinović K.: Istraživanje proizvodnih veličina peleta od drva Turopoljskog kraja, Zagreb 2015
2. Šafran B.: Ovisnost mehaničkih svojstava peleta o ulaznim veličinama drvne sirovine, Zagreb 2015
3. Ugrenović A., Potočić Z.: Šumarska enciklopedija, 1987., bibliografija sv.1 – 3.
4. http://www.sumari.hr/sumlist/pdf/201103710.pdf
5. https://en.wikipedia.org/wiki/Starch
6. https://hr.wikipedia.org/wiki/Hrast_lu%C5%BEnjak
7. https://hr.wikipedia.org/wiki/Jela
8. https://hr.wikipedia.org/wiki/Obi%C4%8Dni_bor
9. https://www.google.hr/search?q=drvni+ostatak+u+%C5%A1umi&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjQ4ua0nb7NAhUEtBoKHRfCCKMQ_AUIBigB#tbm=isch&q=ru%C5%A1enje+stabla&imgrc=mAstbeK4552xQM%3A
10. https://www.google.hr/search?q=drvni+ostatak+u+%C5%A1umi&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjQ4ua0nb7NAhUEtBoKHRfCCKMQ_AUIBigB#tbm=isch&q=biomasa+u+drvnoj+industriji&imgrc=7Ba5DGwlOVYBaM%3A
11. https://www.google.hr/search?q=drvo+jele&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiW0eWAvc_NAhVBnBQKHTImCUQQ

_AUIBigB#tbm=isch&q=hrast+lu%C5%BEnjak&imgrc=yADc36iwcBbNeM%3A

12. https://www.google.hr/search?q=hookov+dijagram&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjc0szQy7HNAhXKiRoKHdReASwQ_AUIBigB#imgrc=2ytWYDCGbfbROM%3A
13. https://www.google.hr/search?q=peleti&sa=X&biw=1366&bih=623&tbm=isch&tbo=u&source=univ&ved=0ahUKEwiM2p3kob7NAhVILhoKHcPNBJkQsAQIJw#imgdii=vx1HT5Q-CkdnKM%3A%3Bvx1HT5Q-CkdnKM%3A%3B5iAuQ7dKn7LhmM%3A&imgrc=vx1HT5Q-CkdnKM%3A

Popis slika

Slika 1. drvni ostatak nakon rušenja stabla

Slika 2. drvni ostatak u drvnoj industriji

Slika 3. Peleti

Slika 4. uzorak obične jele

Slika 5. trupci bijelog bora

Slika 6. uzorak bijelog bora

Slika 7. uzorak hrasta lužnjak

Slika 8. trupci hrasta lužnjaka

Slika 9. usitnjavanje uzoraka pomoću dlijeta i čekića

Slika 10. uzorci hrasta nakon usitnjavanja pomoću dlijeta i čekića

Slika 11.a - nož za usitnjavanje; 11.b i 11.c - unutrašnjost stroja; 11.d - vanjski izgled stroja

Slika 12. IC analizator vlage sartorius MA 150 za određivanje sadržaja vode u drvu

Slika 13. Mufolna peć Nabertherm L9/13/B180

Slika 14. Eksikator

Slika 15. kondicioniranje uzoraka usitnjenog drva

Slika 16.a posudice soli prije upotrebe;

Slika 16.b prezasićena otopina soli

Slika 17. glavni djelovi preše, Šafran 2015

Slika 18. hidraulična preša i računalo za mjerenje sile prešanja

Slika 19. analitička vaga

Slika 20. mikrometar s postoljem

Slika 21. doziranje pripremljene drvne sirovine u prešu

Slika 22. vaganje peleta

Slika 23. mjerenje dimenzija peleta

Slika 24. odlaganje peleta

Slika 25. mjerenje tlačne čvrstoće pomoću kidalice Shimadzu Autograph AG – X plus

Slika 26. hidraulična preša za izradu peleta, Augustinović, 2015

Slika 27. kalorimetar IKA C200, Augustinović 2015

Slika 28. priprema uzoraka

Slika 29. kuhanje uzoraka

Slika 30. Mettler Toledo Easy Pro

Slika 31. sadržaj pepela uzoraka

Slika 32. gustoća peleta pri prešanju

Slika 33. promjena gustoće nakon 10 dana

Slika 34. gornja ogrjevna vrijednost pri 10 – 16 % sadržaja vode

Slika 35. gornja ogrjevna vrijednost pri 0 % sadržaja vode

Slika 36. hookeov diagram

Slika 37. uzorak A1_120

Slika 38. uzorak A2_120

Slika 39. tlak pri maksimalnoj vrijednosti sile tlačnog testa

Popis tablica

Tablica 1. Svojsta jele

Tablica 2. svojstva bijelog bora

Tablica 3. svojstva hrasta lužnjaka

Tablica 4. Sadržaj vode u uzorcima

Tablica 5. Sadržaj vode uzoraka

Tablica 6. Sadržaj pepela uzoraka

Tablica 7. Rezultati mjerenja pH