

Varijabilnost normativnih značajki i certifikacija drvne sječke

Vujanić, Filip

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:254731>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-06-29**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE
ŠUMARSKI ODSJEK

SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ ŠUMARSTVO
SMJER: TEHNIKA, TEHNOLOGIJA I MANAGEMENT U ŠUMARSTVU

FILIP VUJANIĆ

VARIJABILNOST NORMATIVNIH ZNAČAJKI I
CERTIFIKACIJA DRVNE SJEČKE

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE
ŠUMARSKI ODSJEK
VARIJABILNOST NORMATIVNIH ZNAČAJKI I
CERTIFIKACIJA DRVNE SJEČKE
DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij: Sveučilišni diplomski studij Šumarstvo

Smjer: Tehnika, tehnologija i management u šumarstvu

Predmet: Šumski proizvodi

Ispitno povjerenstvo: 1. doc. dr. sc. Dinko Vusić

2. prof. dr. sc. Željko Zečić

3. doc. dr. sc. Branimir Šafran

Student: FILIP VUJANIĆ

JMBAG: 0068228047

Broj Indexa: 1076/19

Datum odobrenja teme: 04.05.2021.

Datum predaje rada: 09.09.2021.

Datum obrane rada: 24.09.2021.

Zagreb, rujan, 2021.

ZAHVALA

Ovim putem izrazio bih iznimnu zahvalnost svom mentoru **doc. dr. sc. Dinku Vusiću** na prenesenom znanju tijekom studija, na pruženoj podršci, trudu i vremenu kod provođenja studentskog projekta kao i posvećenosti prilikom pisanja ovog diplomskog rada.

Također, izrazite zahvale **Dipl. Ing. Mba. Raoulu Cvečić Bole** na ustupanju materije i prostora svoje tvrtke u svrhu uzimanja uzoraka korištenih u istraživanju, ugodnoj suradnji te prenošenju vrijednih znanja, informacija i iskustava iz prakse kojima sam dobio novi uvid u područje poslovanja i shvatio važnost povezivanja teoretskih znanja s praktičnim vještinama i iskustvom.

Posebnu zahvalnost također želim izraziti svim nastavnicima, suradnicima i djelatnicima Fakulteta čiji rad mi je omogućio dostizanje ove razine obrazovanja.

U konačnici želim zahvaliti svojoj obitelji poglavito roditeljima na besprijevornoj pomoći, podršci, predanosti i trudu kojima su mi omogućili pohađanje diplomskoga studija nastavno na svo prijašnje obrazovanje. Također želim zahvaliti na tome što su imali nemjerljivo strpljenja za mene i pomogli mi u rješavanju akademskih ali i životnih obaveza.

DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Naslov	VARIJABILNOST NORMATIVNIH ZNAČAJKI I CERTIFIKACIJA DRVNE SJEČKE
Title	VARIABILITY OF NORMATIVE PROPERTIES AND CERTIFICATION OF WOOD CHIPS
Autor	Filip Vujanić
Adresa autora	Sleme 33, 51316 Lokve, Hrvatska
Mjesto izrade	Zagreb
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	doc. dr. sc. Dinko Vusić
Izradu rada pomogao	/
Godina objave	2021.
Obujam	30 stranica, 10 slika, 7 tablica, 8 grafikona, 33 navoda literature
Ključne riječi	drvena sječka; certifikacija; normativne značajke; sadržaj vlage, sadržaj pepela, granulometrijski sastav
Key words	wood chips; certification; normative properties; moisture content; ash content; particle size distribution
Sažetak	<p>U okviru diplomskog rada istražuje se varijabilnost normativnih značajki (tehničkog masenog udjela vode, masenog udjela pepela i granulometrijske strukture) drvene sječke uzorkovane tijekom šest uzastopnih mjeseci na primjeru četiri tipa ulazne sirovine te utjecaj utvrđene varijabilnosti na postupak certifikacije drvene sječke. Mjesečna uzorkovanja obavljena su u postrojenju za proizvodnju peleta, gdje je proizvodnja drvene sječke sastavni dio proizvodnog procesa. Sakupljeni uzorci usitnjenog okoranog (JSBK) i neokoranog (JS) energijskog oblog drva obične jele i obične smreke, zajedno sa uzorcima usitnjenog okoranog (BBK) i neokoranog (B) energijskog oblog drva obične bukve obrađivani su u Laboratoriju za šumsku biomasu Fakulteta šumarstva i drvene tehnologije Sveučilišta u Zagrebu. Varijabilnost parametara kakvoće iskazana je standardnom devijacijom i odstupanjem razreda kakvoće od prvog uzorkovanja. Za tehnički maseni udio vode najmanja je varijabilnost utvrđena za uzorke B $\pm 5,30$ % (raspon 4 razreda), a najveća za uzorke JSBK $\pm 9,67$ % (raspon 6 razreda). Za maseni udio pepela najmanja je varijabilnost utvrđena za uzorke JS $\pm 0,10$ % (raspon 2 razreda), a najveća za uzorke B $\pm 0,18$ % (raspon 3 razreda), no samo je za jedan uzorak utvrđena vrijednost preko 1,00 %. Fina frakcija granulometrijske strukture samo je u jednom slučaju (kod uzorka JS) odstupala od razreda F05. Glavna je frakcija pokazala značajniju varijabilnosti (u rasponu od P16 do P45) djelomično zbog nedovoljne zastupljenosti glavne frakcije (min. 60 %) za razred P16, a u ostalim slučajevima zbog prisutnosti prevelikih čestica. Na temelju rezultata istraživanja intenzitet uzorkovanja u cilju utvrđivanja tehničkog masenog udjela vode bi trebalo povećati (za navedene tipove sirovine), dok je za ostale parametre intenzitet adekvatan; uz napomenu potrebe buduće detaljnije analize utjecaja postavki iverača na rezultate granulometrijske distribucije u cilju smanjenja varijabilnosti raspona razreda glavne frakcije i izbjegavanja pojave prevelikih čestica.</p>



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

OB FŠDT 05 07

Revizija: 2

Datum: 29.04.2021.

„Izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

U Zagrebu, 09.09.2021. godine

vlastoručni potpis

Filip Vujanić

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Normativne značajke drvene sječke	3
1.2. “Good chips” certifikacija drvene sječke	3
1.2.1. Procjena sukladnosti treće strane	4
1.2.2. Uvjeti GoodChips® certifikacije	5
1.2.3. Procesni zahtjevi GoodChips® certifikacije	6
2. CILJ RADA.....	7
3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA	8
3.1. Materijali istraživanja	8
3.1.1. Tvornica “Energy pellets”	9
3.2. Metode istraživanja.....	10
3.2.1. Uzorkovanje	10
3.2.2. Određivanje masenog udjela vlage (gravimetrijska analiza)	11
3.2.3. Analiza distribucije veličine čestica (granulometrijska analiza).....	12
3.2.4. Priprema uzorka za analizu masenog udjela pepela.....	14
3.2.5. Određivanje masenog udjela pepela	14
3.3. Statistička obrada.....	16
4. REZULTATI S RASPRAVOM.....	17
4.1. Maseni udio vlage (gravimetrijska analiza).....	17
4.2. Maseni udio pepela.....	18
4.3. Distribucija veličine čestica.....	19
5. ZAKLJUČAK	29
6. LITERATURA.....	31

POPIS SLIKA:

- Slika 1. Raznovrsnost drvne sječe kao proizvoda (www.hamar-promet.hr, 2021.)..... 2
- Slika 2. „Good chips“ zaštitni znak (www.goodchips.eu, 2021.)..... 5
- Slika 3. Iverač Jenz HE 561 STA..... 9
- Slika 4. Stovarište oblog energijskog drva „Energy pellets“ d.o.o. 10
- Slika 5. Uzorkovanje drvne sječke..... 11
- Slika 6. Gravimetrijska analiza drvne sječke..... 12
- Slika 7. Oscilator za granulometrijsku analizu Retsch AS 400 control..... 13
- Slika 8. Određivanje masenog udjela pepela..... 15
- Slika 9. Zagrijavanje praznih posudica u sušioniku Binder FD 115..... 16
- Slika 10. Uzorci drvne sječke..... 20

POPIS TABLICA:

• Tablica 1. Uzorci drvene sječke.....	8
• Tablica 2. Rezultati analize masenog udjela vlage.....	17
• Tablica 3. Rezultati ANOVA analize – Maseni udio vlage.....	17
• Tablica 4. Rezultati analize masenog udjela pepela.....	18
• Tablica 5. Rezultati ANOVA analize – Maseni udio pepela.....	19
• Tablica 6. Rezultati analize distribucije veličine čestica.....	28
• Tablica 7. Rezultati ANOVA analize – Distribucija veličine čestica.....	28

POPIS GRAFIKONA:

- Grafikon 1. Pojedinačni rezultati granulometrijske analize oblog energijskog drva obične jele i obične smreke..... 21
- Grafikon 2. Pojedinačni rezultati granulometrijske analize okoranog oblog energijskog drva obične jele i obične smreke..... 22
- Grafikon 3. Pojedinačni rezultati granulometrijske analize oblog energijskog drva obične bukve..... 23
- Grafikon 4. Pojedinačni rezultati granulometrijske analize okoranog oblog energijskog drva obične bukve..... 24
- Grafikon 5. Distribucija veličine čestica – JS..... 25
- Grafikon 6. Distribucija veličine čestica – JSBK..... 25
- Grafikon 7. Distribucija veličine čestica – B..... 26
- Grafikon 8. Distribucija veličine čestica – BBK..... 26

1. UVOD

Biomasa je prema definiciji u znanstvenom i tehničkom smislu materijal biološkog podrijetla, isključujući materijal pohranjen u geološkim formacijama i/ili pretvoren u fosile (HRN EN 14588, 2013). Slijedom navedene definicije uz ostale oblike jedan je od oblika biomase drvena biomasa. Drvena biomasa predstavlja biomasu od drveća i grmlja koja uključuje drvo iz šuma i nasada, ostatke i nusproizvode iz drvoprerađivačke industrije i prethodno korišteno drvo (HRN EN 14588, 2013). Drvena sječka predstavlja usitnjenu drvenu biomasu u obliku komada s definiranom veličinom čestica, proizvedenu mehaničkim postupkom uz pomoć oštih alata poput noževa, grubog je pravokutnog oblika, tipične veličine od 5 mm do 50 mm, i manje je debljine u odnosu na druge dimenzije (HRN EN 14588, 2013). Drvena se sječka prema normi HRN EN 14588 dijeli na: sječku od ostataka iz drvne industrije, šumsku sječku, zelenu sječku, sječku iz deblovine i sječku od nadzemnog dijela stabla (HRN EN 14588, 2013).

Europska unija 2008. godine prihvatila je prvi paket mjera vezanih uz klimu i energiju koje su postavile 3 ključna cilja za ostvarivanje do 2020. godine: redukcija stakleničkih plinova za 20 % u odnosu na stanje iz 1990. godine, ostvarivanje udjela obnovljive energije od 20 % u ukupnoj potrošnji energije te poboljšanje energetske efikasnosti za 20 % (European Commission, 2014). Iskustva iz okvira postavljenih za 2020. godinu pokazuju kako europski i nacionalni ciljevi mogu potaknuti snažne akcije država članica i rast u industrijama u nastajanju (European Commission, 2014). Jedan od sektora koji je osjetio veliki utjecaj navedenih mjera bio je bioenergetski sektor, što je rezultiralo povećanjem udjela čvrste biomase u ukupnoj energetske potrošnji za period od 2010. – 2018. sa 5,1 % na 8,0 %. Navedeno znatno utječe na povećanje udjela korištenja obnovljivih izvora energije dok istovremeno doprinosi smanjenju emisije stakleničkih plinova (Sikkema i dr. 2021). U smislu primarne proizvodnje energije bioenergija je 2016. godine po prvi puta zauzela veći udio u ukupnoj proizvedenoj energiji na razini Europe naspram ugljena (Bioenergy Europe, 2018). Iz razloga što se u Europi 95,9 % potrošene bioenergije proizvede lokalno (Bioenergy Europe, 2018), od izrazite je važnosti podržavati bioenergiju i njen lokalni aspekt zajedno sa ostalim obnovljivim izvorima energije, jer upravo takav pristup dovodi do stvaranja stabilnog i sigurnog energetskeg lanca te smanjuje ovisnost Europe prema ostatku svijeta, a sami je principi primjenjiv za svaku pojedinu državu.

Razvoj bioenergetskog sektora, koji je u najvećem dijelu vođen nacionalnim sustavima potpore i rastom tržišta peleta, može se prikazati kroz situaciju u Republici Hrvatskoj u periodu od 2014. – 2019. godine. 2014. godine u funkciji su postojala samo 3 CHP postrojenja sa instaliranim kapacitetom od 6,74 MWel (8 % od 85 MWel postavljenih kao cilj u Hrvatskom nacionalnom akcijskom planu za obnovljive izvore energije) (Vusić i Đuka 2015), dok je ukupni broj funkcionalnih CHP postrojenja u 2019. godini u Hrvatskoj iznosio 34 sa instaliranom snagom od 73,71 MWel (www.hrote.hr, 2021), što je blizu zadovoljenja postavljenog cilja za 2020. godinu U istome razdoblju proizvodnja peleta porasla je sa 192 660 t na 307 690 t (ec.europa.eu/eurostat, 2021), od čega je udio izvoza u

zemlje članice europske unije iznosio 281 270 t odnosno 91,51 % (ec.europa.eu/eurostat, 2021).



Slika 1. Raznovrsnost drvene sječe kao proizvoda (www.hamar-promet.hr, 2021.)

Novi politički okviri vezani uz klimu i energiju za period od 2020. do 2030. godine postavljaju za cilj smanjenje emisije stakleničkih plinova za 40 % i veći udio obnovljive energije u EU od minimalno 27 % te sugeriraju kako će ciljevi na razini Europske unije potaknuti nastavak ulaganja u obnovljive izvore energije, ali istodobno naglašavaju potrebu za poboljšanom politikom korištenja biomase kako bi se povećala učinkovitost korištenja biomase kao resursa (European Commission, 2014). Dok proizvodnja energije iz biomase igra važnu ulogu u trenutnoj internacionalnoj strategiji borbe protiv klimatskih promjena i osiguranju energetske sigurnosti (Kühmaier i Erber 2018), može se očekivati kako će učinkovito korištenje biomase kao resursa imati pozitivan utjecaj na budući razvoj bioenergetskog sektora kao i na dostizanje ciljeva postavljenih za 2030. godinu. Jedan od alata osiguranja učinkovitog korištenja biomase kao resursa i povećanja vrijednosti biogoriva u proizvodnom lancu, jest i kontrola kvalitete čvrstih biogoriva sa ciljem proizvodnje biogoriva najveće moguće kvalitete, čak i od manje kvalitetne sirovine i još važnije izbjegavanje proizvodnje manje kvalitetnog biogoriva iz visoko kvalitetne sirovine (Vusić i dr. 2014). Zahtjevi kvalitete za čvrsta biogoriva drvnog podrijetla regulirani su internacionalnim normama koji postavljaju ograničenja tehničkih parametara koji utječu na kvalitetu čvrste biomase kao goriva (Moskalik i Gendek 2019). Norme su dizajnirane na način kako bi omogućile standardizaciju različitih čvrstih biogoriva uključujući zgusnuta čvrsta biogoriva (pelete i brikete) i termički obrađena biogoriva (biougljen), ali jednako tako i minimalno obrađeno gorivo drvnog podrijetla (ogrjevno drvo, drvena sječka, oporabljeno drveno biogorivo). Usljed porasta korištenja drvene sječke u industrijskim pogonima za proizvodnju struje i topline, važno je primijetiti kako je kvaliteta drvene sječke važan čimbenik u učinkovitosti proizvodnje energije (Moskalik i Gendek 2019), te kako je kvaliteta drvene sječke važna za pravilno funkcioniranje malih neindustrijskih postrojenja (Schon i dr. 2019). Slijedom navedenog niz normi čvrstih biogoriva predstavljenih na Europskoj razini kao EN norme, kasnije harmonizirane sa ISO normama i trenutno sačinjene od 46 aktivnih dokumenata (www.hzn.hr, 2021) neizostavni su alat u proizvodnom lancu drvene sječke. Sljedeći logičan korak u korištenju potencijala kojeg nude norme za čvrsta biogoriva jest

certifikacija čvrstih biogoriva. Sljedeći uspješnu implementaciju ENplus certifikacije za drvni pelet, 2015. godine u Italiji predstavljena je Biomassplus certifikacija (Zanetti i dr. 2017), a 2018. godine Good Chips certifikacija za drvnu sječku, oboje utemeljene na EN ISO normama. Norma koji definira zahtjeve u smislu značajki goriva i razreda kvalitete - HRN EN ISO 17225-1:2014 ističe granulometrijski sastav, udio vlage i udio pepela kao glavne normativne značajke drvene sječke. Jedan od već prepoznatih problema kod normizacije čvrstih biogoriva jest intenzitet uzorkovanja (Berg i Bergström 2021).

1.1. Normativne značajke drvene sječke

Osnovne normativne značajke drvene sječke jesu: udio vlage, udio pepela i distribucija veličina čestica (granulometrijski sastav). Ukupni udio vlage je vlaga u gorivu koja se može ukloniti pod određenim uvjetima (HRN EN 14588, 2013), odnosno razlika u masi između uzorka za analizu udjela vlage u svježem i suhom stanju. Ukupni udio pepela je maseni udio anorganskog ostatka koji preostaje nakon potpunog izgaranja goriva pod standardnim uvjetima; najčešće se izražava kao postotak od mase suhe tvari u gorivu (HRN EN 14588, 2013). Distribucija veličina čestica (granulometrijski sastav) drvene sječke je postotni udio raznih veličina čestica u čvrstom gorivu, utvrđuje se prosijavanjem u uređaju za oscilacijsko prosijavanje goriva s nominalnim veličinama otvora sita (HRN EN 14588, 2013).

1.2. “Good chips” certifikacija drvene sječke

GoodChips® certifikacija osmišljena od strane „*Bioenergy Europe*“ organizacije, ujednačuje te standardizira proizvodnju i trgovinu drvnom sječkom te drvnim iverom. Karakterizira ju certifikacija od strane treće osobe, gdje neovisni certifikator osigurava da drvena sječka i drvni iver zadovoljavaju kvalitativne parametre GoodChips® certifikacije (GoodChips® ST 1001, Requirements for GoodChips® certified entities, 2018).

„*Bioenergy Europe*“ neprofitna je internacionalna organizacija koja udružuje više od 40 udruga i 90 tvrtki zajedno sa akademijama te istraživačkim institutima iz cijele Europe. Za cilj navedena organizacija ima razviti održivo i pošteno tržište bioenergijom u Europi. Organizacija je osnovana 1990. godine, te u vidu GoodChips® certifikacije djeluje kao upravljačko tijelo te vlasnik marke, na način da postavlja zahtjeve certifikacijskog postupka, te izdaje popis certifikacijskih tijela (certifikatora) koja provode certifikacijski postupak uz konačnu dodjelu certifikata i dozvole za korištenje GoodChips® loga tvrtkama koje zadovoljavaju postavljene kriterije (GoodChips® ST 1001, Requirements for GoodChips® certified entities, 2018).

1.2.1.Procjena sukladnosti treće strane

Usklađenost tvrtki sa zahtjevima postavljenim u GoodChips® certifikacijskom postupku procjenjuje se od strane tijela za procjenu sukladnosti (eng. *Conformity Assessment Bodies* (CABs)) koja djeluju kao treća i neovisna strana uključena u certifikacijski postupak (GoodChips® ST 1001, Requirements for GoodChips® certified entities, 2018).

Tijela za procjenu sukladnosti moraju biti akreditirana u postupku propisanom u dokumentu „*GoodChips ST 1002, Annex A*“, od strane nacionalnog akreditacijskog tijela potpisnika multilateralnog sporazuma o europskoj suradnji za akreditaciju (EA) ili Međunarodnog foruma za akreditaciju (IAF) ili Međunarodnog udruženja za akreditaciju laboratorija (ILAC). Akreditacija provedena na navedeni način osigurava traženu sposobnost i neovisnost tijela za procjenu sukladnosti (GoodChips® ST 1001, Requirements for GoodChips® certified entities, 2018).

Tijela za procjenu sukladnosti procjenjuju zadovoljavaju li tvrtke uvijete GoodChips® certifikacijskog postupka i izdaju certifikat. Tijela za procjenu sukladnosti javno su objavljena od strane GoodChips® međunarodnog menadžmenta što je propisano u dokumentu „*GoodChips ST 1002*“ i „*PD 1004*“, te plaćaju godišnju naknadu propisanu u dokumentu „*GoodChips PD 1001*“ (GoodChips® ST 1001, Requirements for GoodChips® certified entities, 2018).

Inspeksijska tijela provode najavljene i nenajavljene inspekcije tvrtke. Rezultati i zaključci inspekcije dostavljaju se tijelima za procjenu sukladnosti u obliku inspeksijskog izvještaja koji se koristi za procjenu prikladnosti tvrtke. Uvjeti akreditacije za inspeksijska tijela uključeni su u dokument „*GoodChips ST 1002*“ (GoodChips® ST 1001, Requirements for GoodChips® certified entities, 2018).

Tijela za ispitivanje provode analizu uzoraka uzorkovanih tijekom inspekcije i to prema procedurama važećih ISO normi. Rezultati analize dostavljaju se tijelima za procjenu sukladnosti u obliku izvještaja o ispitivanju koja ga dalje koriste za procjenu prikladnosti tvrtke. Tijela za ispitivanje javno su objavljena od strane GoodChips® međunarodnog menadžmenta što je propisano u dokumentu „*GoodChips ST 1002*“ i „*PD 1004*“, te plaćaju godišnju naknadu propisanu u dokumentu „*GoodChips PD 1001*“ (GoodChips® ST 1001, Requirements for GoodChips® certified entities, 2018).



Slika 2. „Good chips“ zaštitni znak (www.goodchips.eu, 2021.)

1.2.2. Uvjeti GoodChips® certifikacije

GoodChips® certifikacija određuje kvalitetu drvene sječke te drvnog ivera, zamišljena je kao međunarodna certifikacija bez geografskog ograničenja. Uvjeti GoodChips® certifikacije pokrivaju široki raspon primjene tehnologija, od kućne do industrijske primjene. GoodChips® tehničke specifikacije pokrivaju sljedeće parametre (GoodChips® ST 1001:2018 Requirements for GoodChips® certified entities, 2018) :

- Podrijetlo i izvor sirovine
- Postotni udio vlage
- Distribuciju veličine čestica (granulometrijski sastav)
- Postotni udio pepela
- Postotni udio pojedinih kemijskih elemenata (N, S, Cl i mikroelementi)
- Neto kalorijska vrijednost

Tehničke specifikacije dijele drvenu sječku i drvni iver u dvanaest (12) kvalitativnih klasa :

- A1 ekstra suho, A1, A2, A3, B1, B2, B3, i B4 za drvenu sječku
- C1, C2, C3 i C4 za drvni iver

Svaka tvrtka u proizvodnom lancu koja želi prodavati proizvode sa logom i imenom GoodChips® certifikacije mora biti certificirana, kako bi se osigurala kvaliteta proizvoda tokom cijelog proizvodnog lanca (GoodChips® ST 1001:2018 Requirements for GoodChips® certified entities, 2018).

1.2.3. Procesni zahtjevi GoodChips® certifikacije

Kako bi zadovoljila zahtjeve GoodChips® certifikacije tvrtka mora ispuniti sljedeće uvjete (GoodChips® ST 1001:2018 Requirements for GoodChips® certified entities, 2018) :

- Posjedovati označene i odvojene površine za skladištenje sirovine ukoliko skladišti sirovinu
- Posjedovati označene i odvojene površine za skladištenje finalnog proizvoda ukoliko skladišti finalni proizvod
- Posjedovati označene i odvojene površine za skladištenje ne potvrđenog finalnog proizvoda
- Posjedovati sustav prosušivanja drvne sječke ukoliko proizvodi proizvod klase A1 ekstra suho i/ili A1
- Posjedovati natkriveno spremište ukoliko proizvodi proizvode klase A1 ekstra suho – A2.
- Implementirati, dokumentirati te održavati sustav kontrole kvalitete slijedom normi ISO 18134-1, ISO 18134-2 za maseni udio vlage, ISO 18122 za maseni udio pepela, ISO 17827-1 za distribuciju veličine čestica.

Intenzitet uzorkovanja i analiza u svrhu kontrole kvalitete proizvoda prema certifikaciji jest sljedeći (GoodChips® ST 1001:2018 Requirements for GoodChips® certified entities, 2018):

- Vizualni pregled finalnog proizvoda svakog utovarenog vozila
- Analiza udjela vlage – svaki utovar finalnog proizvoda u transportno vozilo, metoda uzorkovanja definirana od strane tvrtke i potvrđena od strane inspektora.
- Analiza distribucije veličine čestica – intenzitet i metoda uzorkovanja definirani od strane tvrtke i potvrđeni od strane inspektora.
- Analiza udjela pepela – nije definirano u certifikaciji

Usklađenost stvarnog stanja sa procesnim zahtjevima GoodChips® certifikacije mora biti potvrđena tijekom terenske inspekcije od strane inspektora (GoodChips® ST 1001:2018 Requirements for GoodChips® certified entities, 2018).

Terenske inspekcije tijekom certifikacijskog razdoblja od 3 godine provode se prema sljedećem programu (GoodChips® ST 1001:2018 Requirements for GoodChips® certified entities, 2018): početna inspekcija (dogovorno), 2 nadzorne inspekcije od kojih je jedna nenajavljena (jednom godišnje \pm 3 mj. u odnosu na istek jednogodišnjeg perioda od izdavanja certifikata), ponovno certificiranje (između 6 i 1 mjeseca prije isteka certifikacijskog razdoblja).

2. CILJ RADA

Ovaj rad za cilj ima istražiti varijabilnost normativnih značajki (tehničkog masenog udjela vode, masenog udjela pepela i granulometrijske strukture) drvene sječke uzorkovane tijekom šest uzastopnih mjeseci na primjeru četiri tipa ulazne sirovine te utjecaj utvrđene varijabilnosti na postupak certifikacije drvene sječke, odnosno utvrditi da li je zadani intenzitet uzorkovanja dostatan kako bi osigurao ujednačenost kvalitete drvene sječke kao proizvoda.

3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

3.1. Materijali istraživanja

Korišteni materijal istraživanja predstavlja drvena sječka sakupljena kontinuiranim mjesečnim uzorkovanjem u tvornici peleta „Energy pellets“ d.o.o., Delnice tijekom 6 mjeseci. Sakupljena su i analizirana 24 uzorka, po 4 uzorka drvene sječke mjesečno, različita po vrsti sirovine te prisutnosti kore (Tablica 1.). Uzorci drvene sječke u trenutku uzorkovanja bili su stari maksimalno tjedan dana od iveranja te skladišteni u natkrivenome prostoru. Prije usitnjavanja sirovina za proizvodnju drvene sječke skladištena je na nenatkrivenom stovarištu maksimalno mjesec dana od dolaska u tvornicu. Iveranje svih uzoraka drvene sječke obavljeno je iveračem marke „Jenz HE 561 STA“ (Slika 1.), tehničke značajke navedenog iverača su: najveći promjer komada tvrdog drva 56 cm, najveći promjer komada mekog drva 42 cm, snaga 160–250 kW, širina ulaznog otvora 1000 mm, visina ulaznog otvora 560 mm, promjer rotora 820 mm, broj sječiva 10 (20 max.). Masa iverača iznosi 10 500 kg, dužina 7300 mm, širina 2120 mm i visina 2840 mm (www.jenz.de, 2021). Laboratorijske analize uzoraka drvene sječke obavljane su u Laboratoriju za šumsku biomasu, Zavoda za šumarske tehnike i tehnologije, Fakulteta šumarstva i drvene tehnologije Sveučilišta u Zagrebu.

Tablica 1. Uzorci drvene sječke

Oznaka	Vrsta drva	Prisutnost kore
JSBK	Obična Jela (<i>Abies alba</i> Mill.) / Obična smreka (<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst.)	Okorano
JS	Obična Jela (<i>Abies alba</i> Mill.) / Obična smreka (<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst.)	Neokorano
BBK	Obična bukva (<i>Fagus sylvatica</i> L.)	Okorano
B	Obična bukva (<i>Fagus sylvatica</i> L.)	Neokorano

Sve analizirane normativne značajke drvene sječke pokazuju određeni stupanj varijabilnosti u smislu prirodosti izvora sirovine kao i brojnih drugih čimbenika koji utječu na proizvodni proces. U vidu ograničavanja utjecaja karakteristika sirovine na analizirane značajke drvene sječke za analizu je izabrana energijska oblovina zbog manje varijabilnih karakteristika u odnosu na stablovinu ili šumski drveni ostatak. Slijedom navedenog očekuje se utvrditi varijabilnost analiziranih značajki kao rezultat izbora vrste drva kao i procesa okoravanja odnosno neokoravanja oblovine.



Slika 3. Iverač Jenz HE 561 STA

3.1.1. Tvornica “Energy pellets”

Tvrtka „Energy pellets“ d.o.o., osnovana je 2007. godine. Osnovna djelatnost tvrtke je proizvodnja peleta kao obnovljivog izvora energije. U proizvodnome programu postrojenje proizvodi palete i drvenu građu te brikete.

Instalirani kapacitet proizvodnje iznosi: 70 000 tona peleta i 20 000 m³ paletiranog ogrjevnog drva godišnje.

Tvrtka „Energy pellets“ d.o.o. sirovinu za svoj rad nabavlja od „Hrvatskih šuma“ d.o.o. te privatnih pilana Gorskoga kotara i Like.

Tvrtka svoj proizvod orijentira prvenstveno na strano tržište i to većinski na talijansko tržište (pelet ENplusA1, pelet ENplusA2) dok manji dio proizvedenoga peleta isporučuje u Austriju (pelet ENplusA1, pelet ENplusA2). Na hrvatsko tržište uz pelet ENplusA1 i pelet ENplusA2 postrojenje isporučuje ogrjevno drvo, drvenu građu te palete.

Postrojenje je nositelj brojnih certifikata kojima potvrđuje svoju kvalitetu kao što su AAA – certifikat bonitetne izvrsnosti, HR EN plus A1, HR EN plus A2 itd.

Kao sastavni dio proizvodnje peleta postrojenje proizvodi, skladišti te daljnje prerađuje drvenu sječku i to u sljedećim količinama na godišnjoj bazi:

- okorano oblo energijsko drvo obične jele i obične smreke - cca 18 000 m³
- neokorano oblo energijsko drvo obične jele i obične smreke - cca 23 000 m³
- okorano oblo energijsko drvo obične bukve - cca 3000 m³
- neokorano oblo energijsko drvo obične bukve - cca 21 000 m³

Drvena sječka razvrstana prema vrsti drva te načinu obrade (okorano/neokorano) skladišti se u zatvorenome skladištu od kuda odlazi na daljnju obradu u svrhu proizvodnje peleta.



Slika 4. Stovarište oblog energijskog drva „Energy pellets“ d.o.o.

3.2. Metode istraživanja

Postupak analize kakvoće drvne sječke sastojao se od sljedećih faza: Uzorkovanje, određivanje masenog udjela vlage (gravimetrijska analiza), analiza distribucije veličine čestica (granulometrijska analiza), određivanje masenog udjela pepela, obrada rezultata, interpretacija rezultata.

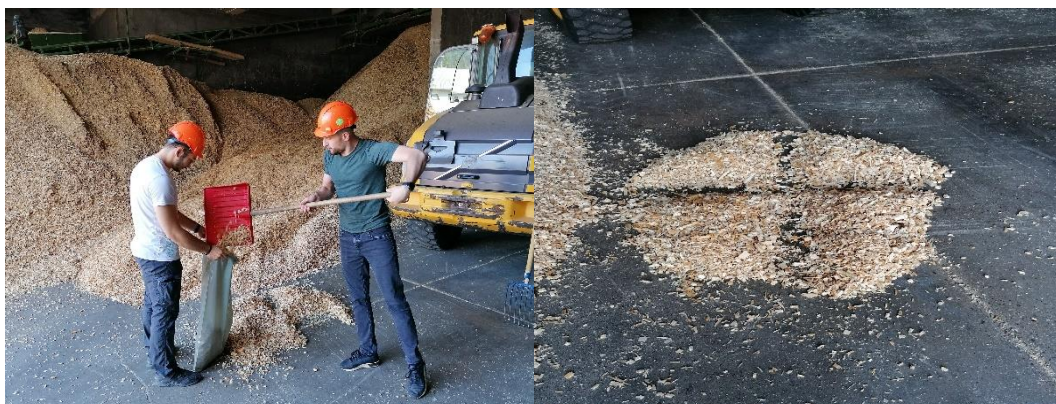
3.2.1. Uzorkovanje

Uzorkovanje je obavljeno u postrojenju za proizvodnju peleta („Energy pellets“ d.o.o.) gdje je jedan od sastavnih dijelova proizvodnoga procesa proizvodnja drvne sječke. Uzorci su sakupljeni kontinuirano na mjesečnoj bazi tokom perioda od 6 mjeseci, približno svakoga 20-og dana u mjesecu. Uzimana su po 4 različita uzorka s obzirom na razlike u vrsti sirovine te primarnoj obradi. Slijedom navedenog uzeti su uzorci:

- Okorano oblo energijsko drvo obične jele (*Abies alba* Mill.) i obične smreke (*Picea abies* (L.) H. Karst.)
- Neokorano oblo energijsko drvo obične jele (*Abies alba* Mill.) i obične smreke (*Picea abies* (L.) H. Karst.)
- Okorano oblo energijsko drvo obične bukve (*Fagus sylvatica* L.)
- Neokorano oblo energijsko drvo obične bukve (*Fagus sylvatica* L.)

Starost sirovine nije bila poznata, a vrijeme skladištenja sirovine na stovarištu iznosilo je maksimalno mjesec dana te je nakon toga podvrgnuta procesu okoravanja (za uzorke koji su okorani) te nakon okoravanja procesu iveranja. Iveranje je obavljeno iveračem marke „Jenz 561 STA“ te je sirovina uhrpana u natkrivenome skladištu. Kako bi se postigla reprezentativnost uzorka, uzimana je drvna sječka pomoću specijalnih vila sa 10 sistemski raspoređenih mjesta na hrpi izbjegavajući pri tom površinski sloj drvne sječke debljine 15

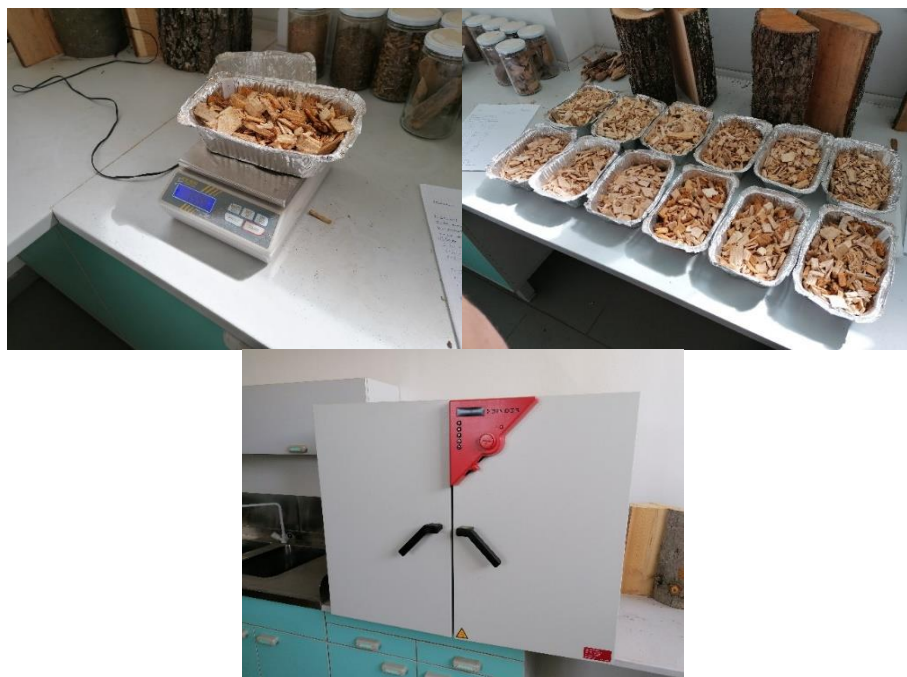
cm. Izdvojeni uzorak drvene sječke smanjivan je metodom nasuprotnih četvrtina do količine od približno 20 litara. Dobiveni uzorci zapakirani su u plastične vreće te obilježeni i transportirani u Laboratorij za šumsku biomasu Fakulteta šumarstva i drvene tehnologije Sveučilišta u Zagrebu.



Slika 5. Uzorkovanje drvene sječke

3.2.2. Određivanje masenog udjela vlage (gravimetrijska analiza)

Po dolasku u laboratorij iz uzoraka drvene sječke metodom nasuprotnih četvrtina uzet je uzorak u 3 ponavljanja od svake vrste u svrhu provođenja gravimetrijske analize. Posudice su obilježene odgovarajućim oznakama te izvagane radi dobivanja mase u svježem stanju. Potom su napunjene posudice stavljene u sušionik „Binder FD 240“ na sušenje pri temperaturi od $105 \pm 2^\circ\text{C}$ u trajanju 24 sata. Osušeni uzorci ponovno su izvagani radi dobivanja mase u suhom stanju. Razlika u masama svježeg i suhog stanja podijeljena sa masom u svježem stanju te izražena u postotku predstavlja rezultat analize. Iz dobivenih rezultata za 3 ponavljanja po jednom uzorku izračunata je aritmetička sredina što predstavlja konačni rezultat analize udjela vlage. Tri ponavljanja uzeta su iz razloga što u slučaju pojave ekstremne vrijednosti u jednom ponavljanju koja je van opsega ponovljivosti, to ponavljanje izbacuje iz rezultata te se računa aritmetička sredina iz preostala dva ponavljanja što je minimum propisan normom (HRN EN ISO 18134-2, 2015.).



Slika 6. Gravimetrijska analiza drvne sječke

3.2.3. Analiza distribucije veličine čestica (granulometrijska analiza)

Preostali uzorak drvne sječke nakon provedene gravimetrijske analize razasut na ravnoj podlozi, povremeno je miješan kako bi se pospješio proces prirodnog prosušivanja te je tako ostavljen nekoliko dana. U trenutku kada se vlaga drvne sječke spustila ispod 20 % krenulo se sa prosijavanjem iste. Uzorci su metodom četvrtina podijeljeni do količine prikladne za provođenje analize. Analiza se provodila u najmanje tri ponavljanja prosijavanjem najmanje 4 litre uzoraka po ponavljanju. Prije procesa prosijavanja izvagane su mase praznih sita s točnošću od 0,1 g. Početna masa određena je vaganjem na 0,1 g. Prosijavanje je provedeno specijaliziranim uređajem „Retsch AS 400 control“. Sita su slagana po veličini od zatvorene posude do najkrupnijeg sita (posuda, \varnothing 3,15 mm, \varnothing 8 mm, \varnothing 16 mm, \varnothing 31,5mm, \varnothing 45 mm, \varnothing 63 mm). Sječka je jednolično raspoređena na zadnje sito te je pričvršćen poklopac. Uređaj je podešen na 250 okretaja u minuti, a trajanje prosijavanja na 15 minuta. Nakon prosijavanja svako pojedino sito sa drvom sječkom izvagano je kako bi se utvrdila bruto masa pojedine frakcije, a oduzimajući tara masu praznoga sita izračunata je neto masa svake pojedine frakcije. Zbroj neto masa svih pojedinih frakcija ne smije se razlikovati od početne mase za više od 2 % kako bi kriteriji analize bili zadovoljeni, u protivnome analiza se ponavljala. Čestice dulje od 100 mm ručno su sortirane sa svakoga sita prije određivanja bruto mase frakcije te razvrstane u frakcije prema duljini (100–150 mm, 150–200 mm, 200–250 mm, itd...) Svaka frakcija ručnog sortiranja posebno je izvagana u svrhu dobivanja mase pojedine frakcije koja zbrojena sa masama ostalih frakcija daje ukupnu neto masu. Najdulja čestica posebno je izdvojena te joj je uz duljinu u milimetrima izmjeren i srednji promjer izražen u centimetrima. Na temelju promjera čestice koristeći formulu za izračun površine kruga izračunata je površina presjeka najveće čestice. Za svaku je pojedinu frakciju izračunat maseni udio na način da se neto masa frakcije podijelila sa ukupnom neto masom te iskazan u postotku. Kumulativni maseni udio frakcije izračunat je zbrajanjem masenog udjela

frakcije sa zbrojem masenih udjela prethodnih frakcija. Grafičko utvrđivanje medijane granulometrijskog sastava na grafikonu kumulativne frakcije gdje os-x predstavlja vrijednost veličine čestica odnosno promjer oka sita, a os-y kumulativni maseni udio frakcije provodena je na sljedeći način: na mjestu vrijednosti 50 % na osi-y povučen je pravac paralelan sa osi-x, a u točki u kojoj pravac sječe liniju grafa spuštenu je okomica na os-x te očitana i označena vrijednost. Medijana granulometrijskog sastava utvrđena je i računskom metodom prema formuli (primjer: medijana se nalazi između 3. i 4. sita): $d_{50} = C_3 + (50 - S_3) * \frac{C_4 - C_3}{S_4 - S_3}$, gdje je: d_{50} – medijana distribucije veličina čestica (mm), C_3 – promjer oka 3. sita (mm), C_4 – promjer oka 4. sita (mm), S_3 – kumulativna vrijednost masa frakcija do 3. sita (%), S_4 – kumulativna vrijednost masa frakcija do 4. sita (%) (HRN EN ISO 17827-1, 2016.).

Granulometrijska klasifikacija drvnu sječku dijeli na tri grupe frakcija: fina frakcija, glavna frakcija i gruba frakcija. Fina frakcija klasificira se sukladnom utvrđenom masenom udjelu frakcije manje od 3,15 mm. Razlikuje se devet razreda fine frakcije od F06 (<6%) do F35+(>35%) prema postotku masenog udjela fine frakcije u ukupnoj neto masi (HRN EN ISO 17827-1, 2016.).



Slika 7. Oscilator za granulometrijsku analizu Retsch AS 400 control

Glavna frakcija klasificira se s obzirom na raspon frakcija u kojemu se nalazi 60 % masenog udjela. Klasificira se u najpovoljniju frakciju (frakciju najmanjih mogućih dimenzija). Veliki utjecaj pri klasifikaciji mogu imati preduge čestice. Gruba frakcija klasificira se s obzirom na utvrđenu glavnu frakciju. Može utjecati na određivanje glavne frakcije te obuhvaća maseni udio frakcija nakon glavne frakcije izostavljajući prvu frakciju nakon glavne frakcije (HRN EN ISO 17827-1, 2016.). Razlikuje se 9 razreda glavne frakcije od P16S do P300.

3.2.4.Priprema uzorka za analizu masenog udjela pepela

Uzorci koji su se koristili za provođenje gravimetrijske analize usitnjeni su u reznom mlinu tipa „Retsch SM 300“ brzinom vrtnje od 2000 min^{-1} korištenjem sita s promjerom oka 1 mm. Usitnjeni uzorci reducirani su metodom nasuprotnih četvrtina do potrebne količine od $3 \times 200 \text{ ml}$.

3.2.5.Određivanje masenog udjela pepela

Keramičke posudice pripremljene su za provođenje analize žarenjem u peći tipa „Nabertherm L9/11“ pri temperaturi od $550 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ u trajanju od minimalno 60 min. Žarene keramičke posudice izvađene su potom na hlađenje na keramičku podlogu u trajanju od 7 minuta te po tome premještene u eksikator na minimalno 30 minuta. Ohlađene posudice izvagane se prazne te je zabilježena njihova masa. Posudice su dalje napunjene uzorcima usitnjene drvene sječke sa približno 1,5 g po posudici. Za svaki uzorak potrebno je bilo napuniti 3 posudice kako bi se dobila 3 ponavljanja. Napunjene posudice izvagane su te se zabilježila njihova masa. Napunjene posudice potom su stavljene u peć te se ravnomjerno podizala temperatura u peći do 250°C kroz 30 min, kada je dostignuta temperatura od 250°C ona je ostajala konstantna narednih 60 min kako bi se oslobodile hlapljive tvari iz uzorka. Nakon isteka 60 min temperatura se ponovno ravnomjerno podizala na $550 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ kroz period od 30 min te se dostignuta temperatura zadržavala narednih 120 min. Po završetku prethodno navedenog procesa keramičke posude izvađene su se iz peći te stavljene na hlađenje najprije na keramičku podlogu 7 minuta, a potom u eksikator minimalno 30 minuta. Ohlađene keramičke posudice izvagane su te je zabilježena njihova masa. Od izvagane mase oduzeta je masa prazne posudice te rezultat podijeljen sa izvaganom masom prije analize od koje je oduzeta masa prazne posudice te se konačan rezultat izrazio u postotku. Iz dobivenih rezultata 3 ponavljanja izračunata je aritmetička sredina kao rezultat analize. Tri ponavljanja uzimana su iz razloga što u slučaju pojave ekstremne vrijednosti u jednom ponavljanju koja je van opsega ponovljivosti, to ponavljanje se izbacilo te je izračunata aritmetička sredina iz preostala dva ponavljanja što je minimum propisan normom (HRN EN ISO 18122, 2015.).



Slika 8. Određivanje masenog udjela pepela

Usporedno sa provođenjem analize udjela pepela provodilo se određivanje udjela vlage u općem uzorku prema normi HRN EN ISO 18134-3:2015. Staklene posudice koje su služile za provođenje analize, prethodno su posušene u peći tipa „Binder FD 115“, pri temperaturi od $105\pm 2^{\circ}\text{C}$ u trajanju od jedan sat, te po tome ohlađene u staklenome eksikatoru minimalno 30 minuta. Na prethodno naveden način pripremljene staklene posudice izvagane su prazne te im je zabilježena masa. Uzorkom drvene sječke napunjene su tri staklene posudice s približno 1,5 g usitnjene drvene sječke. Napunjene posudice ponovo su izvagane i zabilježena je njihova masa. Otklopljene posudice ponovno su stavljene u sušionik na sušenje pri temperaturi od $105\pm 2^{\circ}\text{C}$ u trajanju od 3 sata. Po završetku sušenja posudice su zaklopljene te stavljane na hlađenje u eksikator minimalno 30 minuta. Ohlađene posudice ponovno su izvagane i zabilježena je njihova masa. Udio vlage izračunat je na način da je od mase pune posudice prije sušenja oduzeta masa prazne posudice te je od dobivene razlike oduzeta razlika mase pune posudice nakon sušenja i mase prazne posudice, dobiveni rezultat podijeljen je sa razlikom pune posudice prije sušenja i prazne posudice te izražen u postotku. Iz dobivenih rezultata za svako od 3 ponavljanja, izračunata je aritmetička sredina koja predstavlja konačan rezultat analize (HRN EN ISO 18134-3, 2015.). Izračunati udio vlage u općem uzorku služio je za korekciju rezultata analize masenog udjela pepela prema formuli: $Adkor. = Ad \times \frac{100}{100 - Mad}$ gdje je: Adkor. – korigirani maseni udio pepela izražen u postotku, Ad – maseni udio pepela izražen u postotku, a Mad – udio vlage u općem uzorku (HRN EN ISO 18122, 2015.).



Slika 9. Zagrijavanje praznih posudica u sušioniku Binder FD 115

3.3. Statistička obrada

Statistička obrada podataka napravljena je u računalnom programu „STATISTICA VERSION 13.“. Normalna distribucija podataka testirana je Kolmogorov-Smirnovim i Lilieforsovim testom. Utjecaj vrste drva i procesa okoravanja na udio vlage, udio pepela i medijanu granulometrijskog sastava istražen je „ANOVA“ analizom. Scheffe post-hoc test korišten je u svrhu determinacije homogenosti grupa sa stupnjem značajnosti od 5%. Tumačenje rezultata izvršeno je uzimajući u obzir utvrđene granice razreda kvalitete, utvrđene varijabilnosti, odstupanja od rezultata prvog uzorkovanja te ponovljivosti definiranih normom.

4. REZULTATI S RASPRAVOM

4.1. Maseni udio vlage (gravimetrijska analiza)

Najmanji prosječni postotni maseni udio vlage, ali sa najvećom standardnom devijacijom pronađen je za uzorak drvne sječke proizvedene iz okoranog oblog energijskog drva jele i smreke. Rezultati ANOVA analize ukazuju na to kako okoravanje izrazito utječe na redukciju masenog udjela vlage u drvnjoj sječki (Tablica 3.). Scheffe post-hoc test (Tablica 2.) jasno pokazuje utjecaj procesa okoravanja kod jelovo/smrekove energijske oblovine sa redukcijom vlage od 13 %, za razliku od bukove energijske oblovine gdje toliko jasan utjecaj nije prepoznat uz sličan postotak redukcije vlage od 11,2 %.

Tablica 2. Rezultati analize masenog udjela vlage

Sirovina	JSBK Okorano oblo energijsko drvo obične jele i obične smreke	JS Oblo energijsko drvo obične jele i obične smreke	BBK Okorano oblo energijsko drvo obične bukve	B Oblo energijsko drvo obične bukve	
Prosječni udio vlage, %w ¹	30,77 ^a	43,76 ^b	31,72 ^{ab}	42,90 ^{ab}	
Standardna devijacija udjela vlage, %w	±9,67	±7,15	±5,76	±5,30	
Udio vlage kod prvog uzorkovanja, %w (Razred udjela vlage)	34,6 (M35)	47,4 (M50)	36,6 (M40)	45,1 (M50)	
Odstupanje od udjela vlage kod prvog uzorkovanja, %w (Razred udjela vlage)	2, uzorkovanje	+2,6 (M40)	-4,5 (M45)	+0,7 (M40)	+6,1 (M55)
	3, uzorkovanje	-4,5 (M35)	+8,7 (M55+)	-4,8 (M35)	-7,8 (M40)
	4, uzorkovanje	-15,0 (M20)	-10,6 (M40)	-4,0 (M35)	-7,4 (M40)
	5, uzorkovanje	-14,9 (M20)	-9,8 (M40)	-6,0 (M35)	-4,0 (M45)
	6, uzorkovanje	+9,0 (M45)	-5,6 (M45)	-15,3 (M25)	0,0 (M50)

1 – Različita slova označavaju značajne razlike na 5 %-tnoj razini.

Tablica 3. Rezultati ANOVA analize – Maseni udio vlage

Utjecaj	SS	DF	MS	F	p
Odsječak na osi y	33375,53	1	33375,53	648,4461	<0,000001
Vrsta drva	0,01	1	0,01	0,0002	0,990328
Okoravanje	875,32	1	875,32	17,0065	0,000527
Vrsta drva*Okoravanje	4,82	1	4,82	0,0936	0,762846
Greška	1029,40	20	51,47		

Za ukupni udio vlage očekivati je kako neće zadržati konstantnu vrijednost tokom 6 mjeseci uzorkovanja iz razloga što je mjesto istraživanja postrojenje za proizvodnju peleta stoga je umjetno kondicioniranje sadržaja vlage sastavni dio procesa proizvodnje peleta, te je sadržaj vlage u sirovini pitanje koje treba razmotriti uglavnom u pogledu energetske učinkovitosti, a manje važna karakteristika u smislu utjecaja na kvalitetu konačnog proizvoda. Nasuprot tome, pri proizvodnji drvne sječke za izravnu uporabu optimizacija sadržaja vlage sastavni je dio opskrbnog lanca i moraju se iskoristiti prednosti sezonske varijabilnosti

sirovine. U tom smislu, preporučuje se mogućnost nabave sirovine sa poznatim i optimalnim vremenom sječe ili svježije sirovine koja se naknadno prosušuje na stovarištu u svrhu optimizacije sadržaja vlage.

4.2. Maseni udio pepela

Početni i prosječni maseni udio pepela iznosio je manje od 1% za sve analizirane uzorke osim u jednom slučaju kod oblog energijskog drva obične bukve gdje je maseni udio iznosio nešto više od navedenog praga (Tablica 4.). Vrsta drva i proces okoravanja oblovine pokazali su statistički značajne utjecaje na iznos masenog udjela pepela u drvnoj sječki (Tablica 5.), rezultirajući sa najpovoljnijim iznosom masenog udjela pepela kod uzorka okoranog oblog energijskog drva obične jele i obične smreke i najnepovoljnijim iznosom kod uzorka neokoranog oblog energijskog drva obične bukve.

Kod analize odstupanja rezultata od rezultata prvog uzorkovanja, kao pokazatelj vjerojatnosti održavanja kvalitativnih značajki određenih kod prvog uzorkovanja, važno je za zamijetiti kako je početni razred masenog udjela pepela zadržan (ili poboljšan) kod svih jelovo/smrekovih uzoraka. Za uzorke bukove energijske oblovine, razred masenog udjela pepela je bio viši u 2 slučaja kod okorane oblovine i u jednom slučaju kod neokorane oblovine. Također je važno za naglasiti činjenicu kako je za 9 uzoraka odstupanje od početnog uzorkovanja bilo unutar granice ponovljivosti (0,1 % apsolutno), a u slučaju samo 3 uzorka izvan granica obnovljivosti (0,2 % apsolutno).

Tablica 4. Rezultati analize masenog udjela pepela

Sirovina	JSBK	JS	BBK	B
	Okorano oblo energijsko drvo obične jele i obične smreke	Oblo energijsko drvo obične jele i obične smreke	Okorano oblo energijsko drvo obične bukve	Oblo energijsko drvo obične bukve
Prosječni udio pepela, %w ¹	0,51 ^a	0,76 ^{bc}	0,66 ^{ab}	0,91 ^c
Standardna devijacija udjela pepela, %w	±0,14	±0,10	±0,13	±0,18
Udio pepela kod prvog uzorkovanja, %w (Razred udjela pepela)	0,57 (A0.7)	0,80 (A1.0)	0,66 (A0.7)	0,87 (A1.0)
2. uzorkovanje	+0,02 (A0.7)	+0,07 (A1.0)	+0,14 (A1.0)	+0,24 (A1.5)
Odstupanje od udjela pepela kod prvog uzorkovanja, %w				
3. uzorkovanje	+0,02 (A0.7)	-0,16 (A0.7)	-0,12 (A0.7)	+0,09 (A1.0)
4. uzorkovanje	-0,19 (A0.5)	-0,11 (A0.7)	+0,19 (A1.0)	+0,07 (A1.0)
(Razred udjela pepela)				
5. uzorkovanje	-0,27 (A0.5)	+0,07 (A1.0)	-0,08 (A0.7)	+0,06 (A1.0)
6. uzorkovanje	+0,07 (A0.7)	-0,11 (A0.7)	-0,12 (A0.7)	-0,31 (A0.7)

1 – Različita slova označavaju značajne razlike na 5 %-tnoj razini.

Tablica 5. Rezultati ANOVA analize – Maseni udio pepela

Utjecaj	SS	DF	MS	F	<i>p</i>
Odsječak na osi y	12,11734	1	12,11734	616,8504	<0,000001
Vrsta drva	0,14209	1	0,14209	7,2333	0,014098
Okoravanje	0,37500	1	0,37500	19,0899	0,000297
Vrsta drva*Okoravanje	0,00000	1	0,00000	0,0001	0,992349
Greška	0,39288	20	0,01964		

Kod analize ukupnog udjela pepela za očekivati je razliku u rezultatima između uzoraka drvne sječke koja je proizvedena iz oblovine podvrgnute procesu okoravanja u odnosu na neokoranu oblovinu iz razloga što istraživanja pokazuju znatno veći udio pepela u kori naspram drva te indikaciju na kontaminaciju kore blatom i/ili pijeskom u procesima pridobivanja drva (Gendek i Nurek 2016).

4.3. Distribucija veličine čestica

Kod analize distribucije veličine čestica bitno je za napomenuti kako u procesu proizvodnje peleta prilikom određivanja postavki iverača, ciljane dimenzija veličine čestice odgovara P16 razredu kvalitete, dok se drvna sječka za direktnu upotrebu uobičajeno proizvodi u većim dimenzijama. Iz navedenog razloga sve medijane distribucije veličine čestica analiziranih uzoraka su relativno malih vrijednosti.

Grafikon 1. prikazuje rezultate analize distribucije veličine čestica pojedinačnih uzoraka oblog energijskog drva obične jele i obične smreke, iz kojih je vidljivo kako medijane distribucije nisu visoke no jedino je glavna frakcija uzoraka iz 5. i 10. mj. klasificirana u P16 razred kvalitete iz razloga što su se u ostalim uzorcima pojavile preduge čestice koje premašuju dozvoljene vrijednosti P16 razreda kvalitete. Izmjerene duljine najduljih čestica te njihove površine presjeka date su redom: 5. mj. (118 mm, 0,24 cm²), 6. mj. (272 mm, 0,10 cm²), 7. mj. (189 mm, 1,54 cm²), 8. mj. (184 mm, 14,51 cm²), 9. mj. (195 mm, 0,07 cm²) i 10. mj. (143 mm, 1,35 cm²).

Grafikon 2. prikazuje rezultate analize distribucije veličine čestica pojedinačnih uzoraka okoranog oblog energijskog drva obične jele i obične smreke, iz kojih je vidljivo kako medijane distribucije nisu visoke no jedino je glavna frakcija uzoraka iz 5., 6. i 10. mj. klasificirana u P16 razred kvalitete iz razloga što su se u ostalim uzorcima pojavile preduge čestice koje premašuju dozvoljene vrijednosti P16 razreda kvalitete. Izmjerene duljine najduljih čestica te njihove površine presjeka date su redom: 5. mj. (123 mm, 0,14 cm²), 6. mj. (142 mm, 0,50 cm²), 7. mj. (175 mm, 0,37 cm²), 8. mj. (275 mm, 0,57 cm²), 9. mj. (152 mm, 2,86 cm²) i 10. mj. (128 mm, 0,62 cm²).

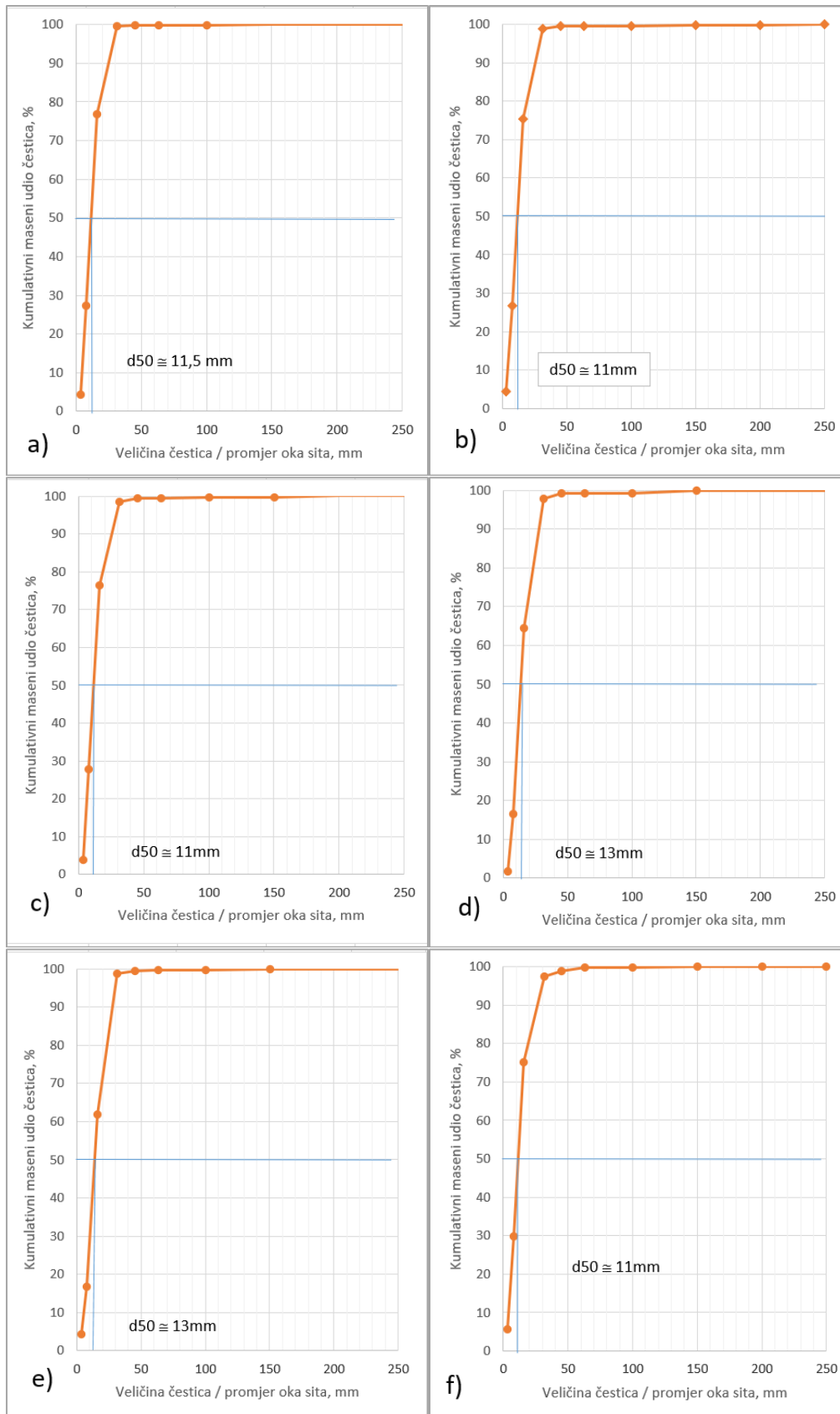
Grafikon 3. prikazuje rezultate analize distribucije veličine čestica pojedinačnih uzoraka neokoranog oblog energijskog drva obične bukve, iz kojih je vidljivo kako medijane distribucije nisu visoke no jedino je glavna frakcija uzoraka iz 9. i 10. mj. klasificirana u P16 razred kvalitete iz razloga što su se u ostalim uzorcima pojavile preduge čestice (6. mj.), prevelika površina presjeka najveće čestice (8. mj.) i prevelika zastupljenost frakcija > 16 mm (5. i 7. mj.) što premašuje dozvoljene vrijednosti P16 razreda kvalitete. Izmjerene duljine najduljih čestica te njihove površine presjeka date su redom: 5. mj. (142 mm, 0,20 cm²), 6. mj.

(156 mm, 0,34 cm²), 7. mj. (108 mm, 0,64 cm²), 8. mj. (129 mm, 8,76 cm²), 9. mj. (143 mm, 0,79 cm²) i 10. mj. (130 mm, 0,44 cm²).

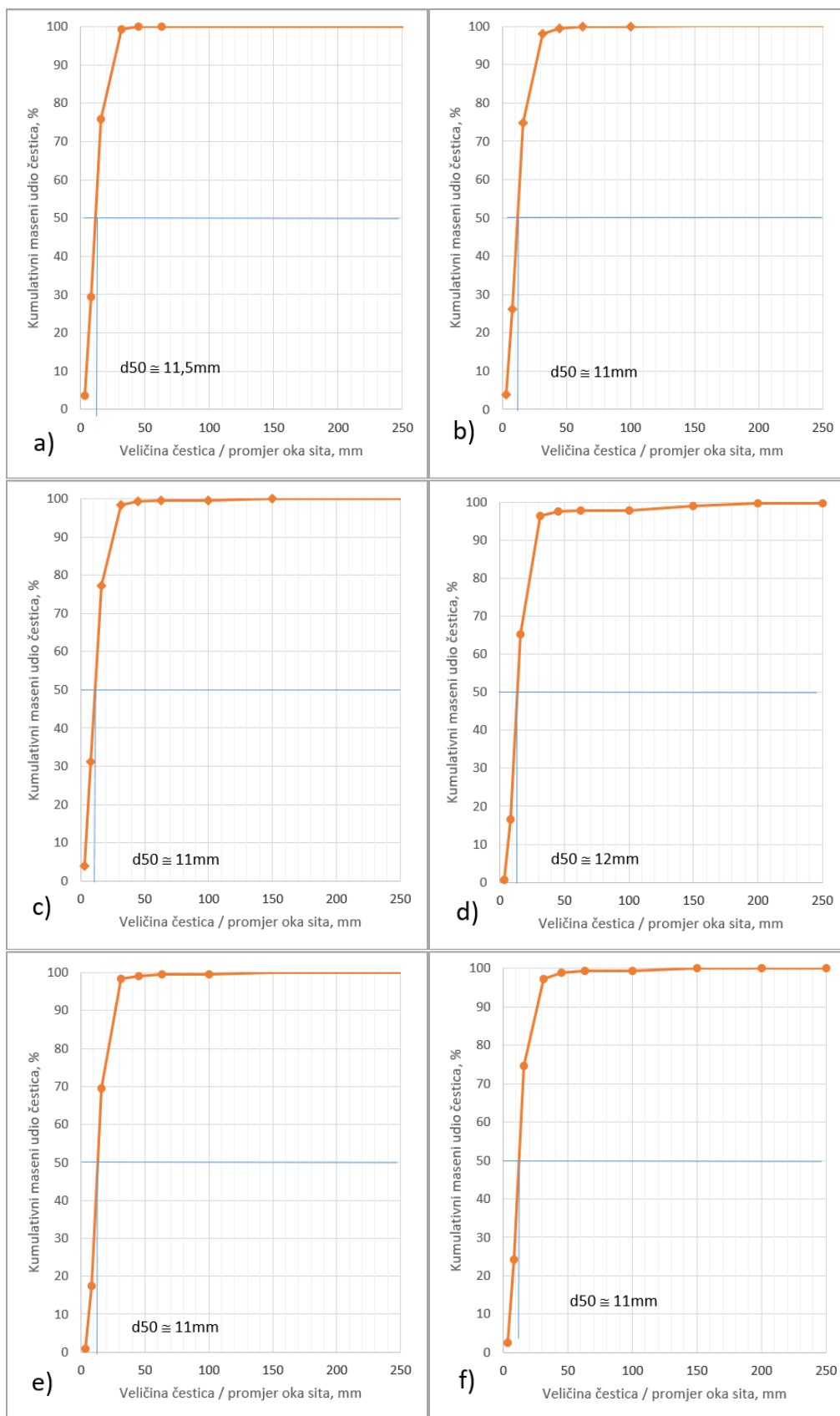
Grafikon 4. prikazuje rezultate analize distribucije veličine čestica pojedinačnih uzoraka okoranog oblog energijskog drva obične bukve, iz kojih je vidljivo kako medijane distribucije nisu visoke no jedino je glavna frakcija uzorka iz 5. mj. klasificirana u P16 razred kvalitete iz razloga što su se u ostalim uzorcima pojavile preduge čestice (8. i 10. mj.) i prevelika zastupljenost frakcija > 16 mm (6., 7., 8. i 9. mj.) što premašuje dozvoljene vrijednosti P16 razreda kvalitete. Izmjerene duljine najduljih čestica te njihove površine presjeka date su redom: 5. mj. (132 mm, 1,04 cm²), 6. mj. (145 mm, 0,17 cm²), 7. mj. (117 mm, 0,50 cm²), 8. mj. (171 mm, 0,95 cm²), 9. mj. (140 mm, 0,95 cm²) i 10. mj. (165 mm, 0,13 cm²).



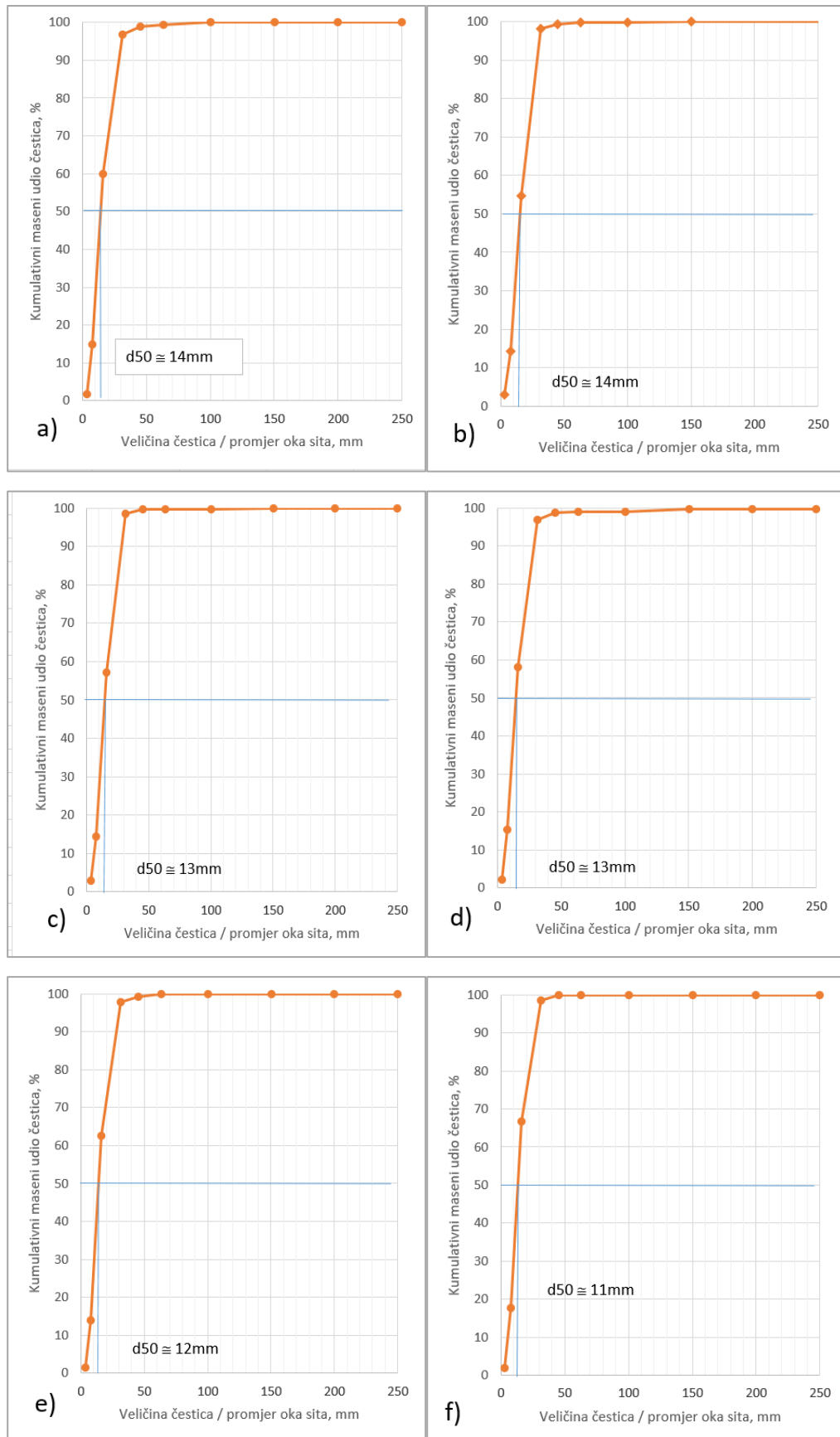
Slika 10. Uzorci drvne sječke



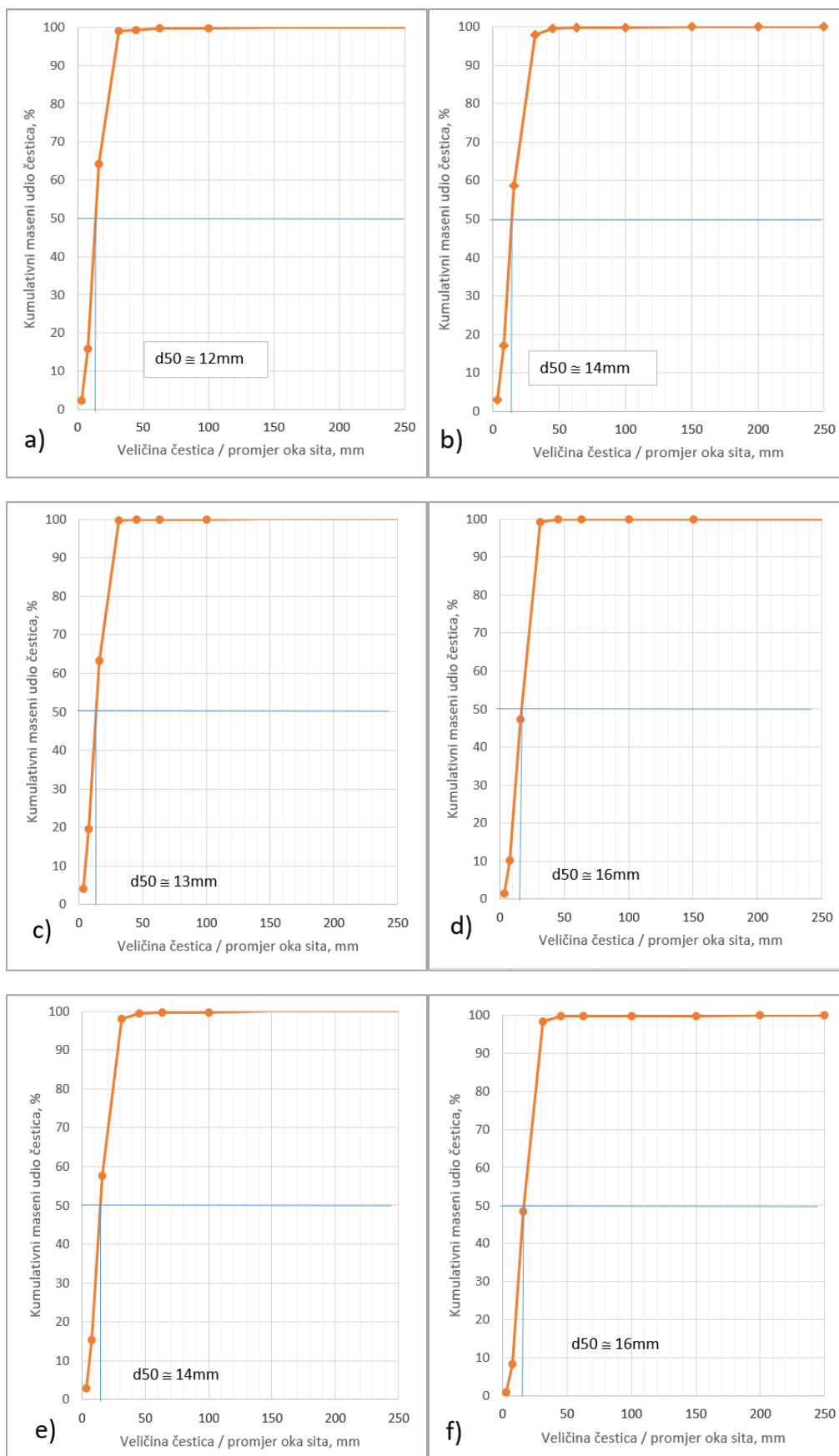
Grafikon 1. Pojedinačni rezultati granulometrijske analize za 5.mj.(a), 6.mj.(b), 7.mj.(c), 8.mj.(d), 9.mj.(e), 10.mj.(f) oblog energijskog drva obične jele i obične smreke



Grafikon 2. Pojedinačni rezultati granulometrijske analize za 5.mj.(a), 6.mj.(b), 7.mj.(c), 8.mj.(d), 9.mj.(e), 10.mj.(f) okoranog oblog energijskog drva obične jele i obične smreke

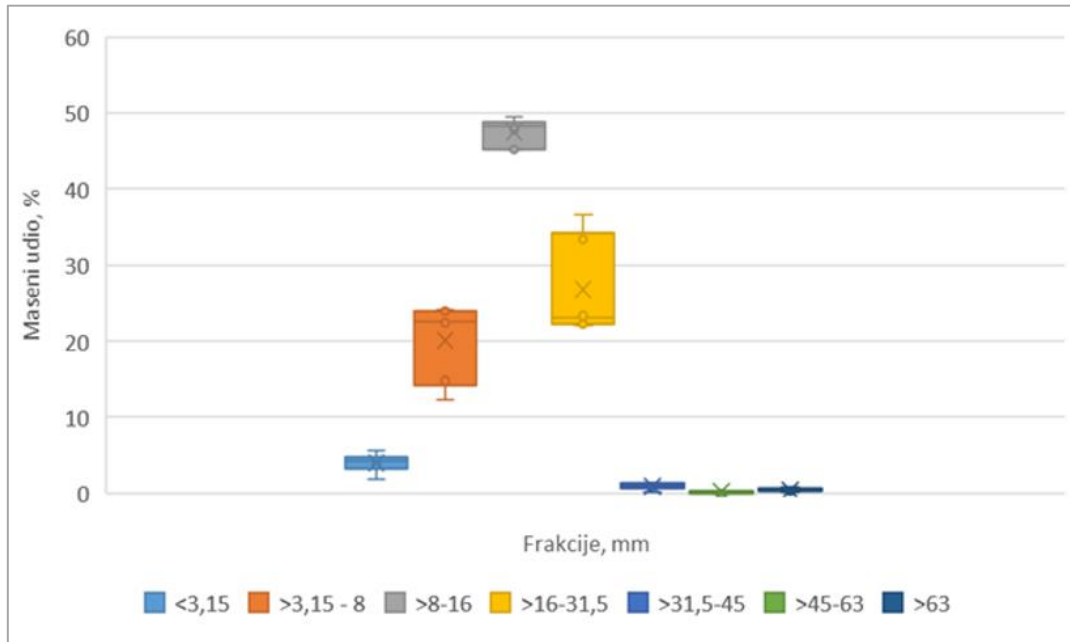


Grafikon 3. Pojedinačni rezultati granulometrijske analize za 5.mj.(a), 6.mj.(b), 7.mj.(c), 8.mj.(d), 9.mj.(e), 10.mj.(f) oblog energijskog drva obične bukve



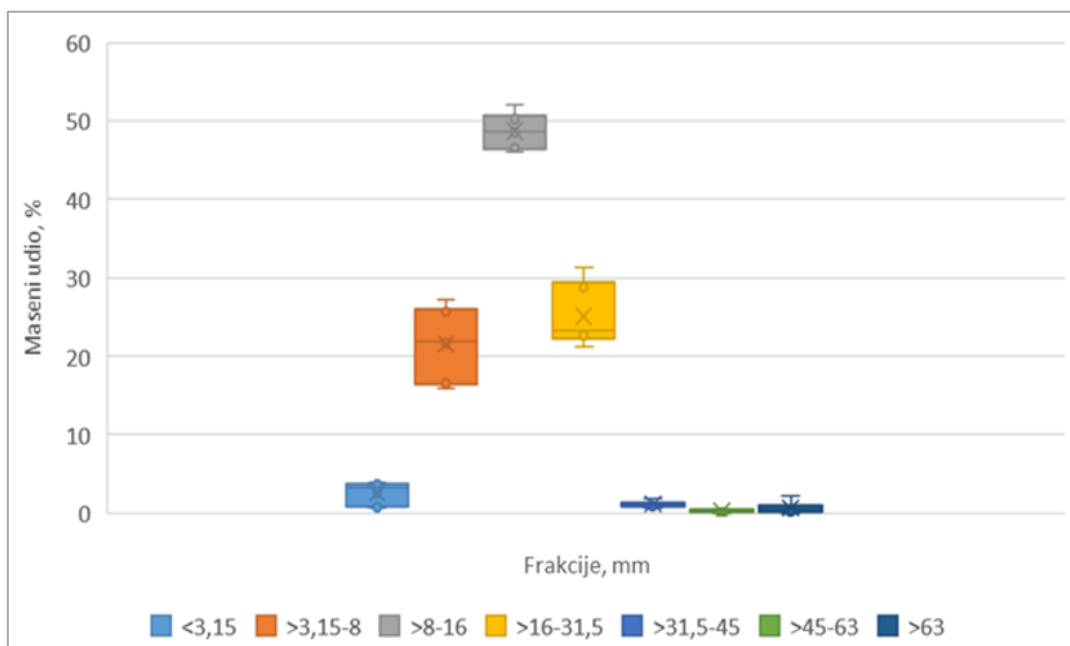
Grafikon 4. Pojedinačni rezultati granulometrijske analize za 5.mj.(a), 6.mj.(b), 7.mj.(c), 8.mj.(d), 9.mj.(e), 10.mj.(f) okoranog oblog energijskog drva obične bukve

Analiza distribucije veličine čestica za uzorke oblog energijskog drva obične jele i obične smreke tokom 6 mjeseci uzorkovanja dala je rezultate prikazane na grafikonu 5. sa najvećom zastupljenošću frakcije >8–16 mm i prosječnom medijanom distribucije veličine čestica 12,38 mm.



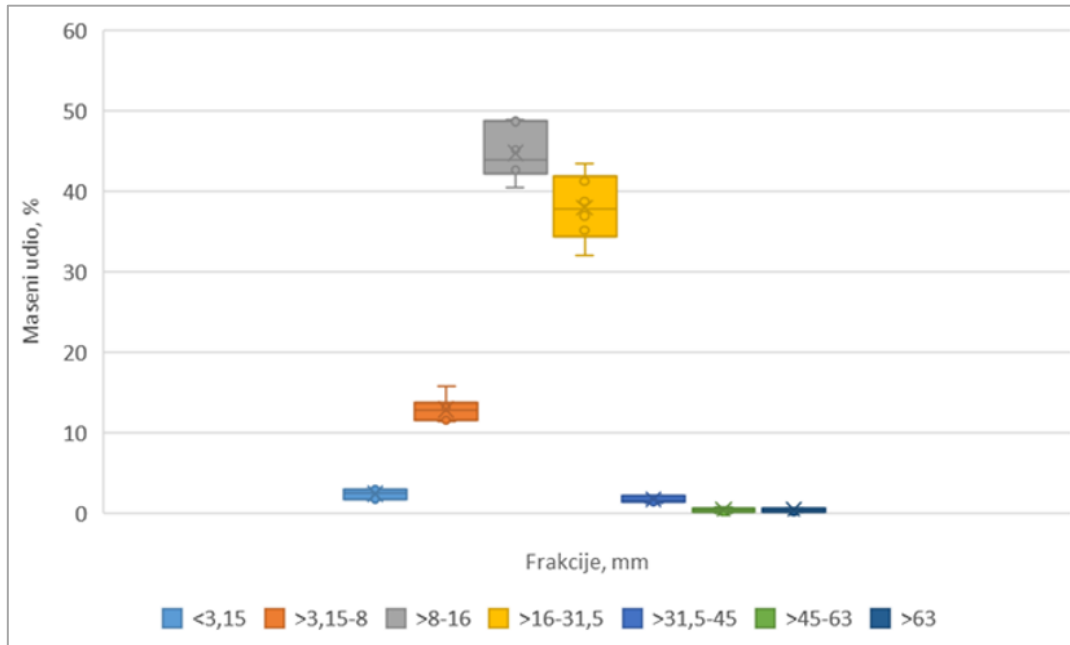
Grafikon 5. Distribucija veličine čestica - JS

Analiza distribucije veličine čestica za uzorke okoranog oblog energijskog drva obične jele i obične smreke tokom 6 mjeseci uzorkovanja dala je rezultate prikazane na grafikonu 6. sa najvećom zastupljenošću frakcije >8–16 mm i prosječnom medijanom distribucije veličine čestica 12,22 mm.



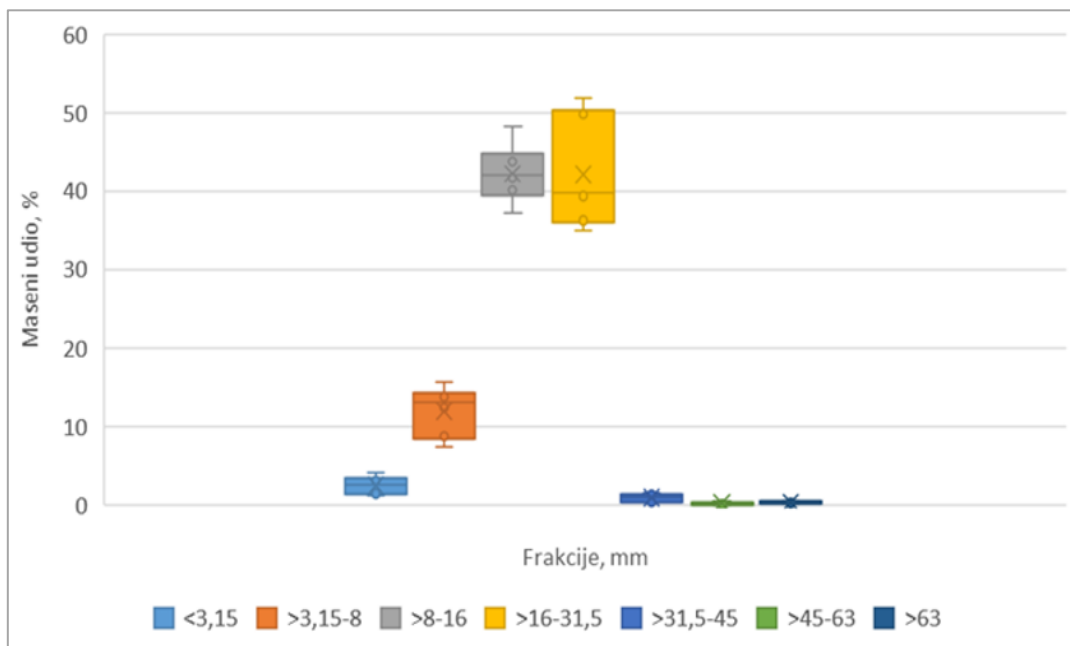
Grafikon 6. Distribucija veličine čestica – JSBK

Analiza distribucije veličine čestica za uzorke oblog energijskog drva obične bukve tokom 6 mjeseci uzorkovanja dala je rezultate prikazane na grafikonu 7. sa najvećom zastupljenošću frakcije >8–16 mm i prosječnom medijanom distribucije veličine čestica 14,25 mm.



Grafikon 7. Distribucija veličine čestica – B

Analiza distribucije veličine čestica za uzorke okoranog oblog energijskog drva obične bukve tokom 6 mjeseci uzorkovanja dala je rezultate prikazane na grafikonu 8. sa najvećom zastupljenošću frakcija >8–16 mm i >16 – 31,5 mm i prosječnom medijanom distribucije veličine čestica 14,92 mm.



Grafikon 8. Distribucija veličine čestica – BBK

Rezultati provedene analize distribucije veličine čestica ukazuju na činjenicu kako je klasifikacija pod velikim utjecajem pojave prevelikih čestica, čak i u slučaju visoko kvalitetne i ujednačene drvene sječke. Slijedom navedenog a u svrhu zadržavanja željenog razreda kvalitete preporuča se posebno posvetiti pažnju pravilnom i redovnom održavanju iverača, odnosno noževa za usitnjavanje (Spinelli i Marchi 2021). Relativno velika varijabilnost razreda kvalitete također je uzrokovana činjenicom kako je kod 3 od 4 uzorka prilikom prvog uzorkovanja glavna frakcija pokazala značajke P16 razreda kvalitete što se zbog utjecaja pojave prevelikih čestica nije održalo kod kasnijih uzorkovanja. Iako se P16 razred kvalitete smatra logičnim ciljem prilikom proizvodnje peleta, drvena sječka za direktnu uporabu uobičajeno se ne proizvodi u tom razredu kvalitete, čime se da zaključiti kako bi se postavljanjem cilja na razred kvalitete većih dimenzija mogao ukloniti utjecaj pojave prevelikih čestica, uzimajući u obzir kako su kod većine analiziranih uzoraka prevelike čestice u granicama tolerancije razreda većih dimenzija.

U vidu analize distribucije veličine čestica slijedom rezultata više prethodnih istraživanja za očekivati je utjecaj vrste drva na granulometrijsku strukturu (Nati i dr. 2010, Guerrini i dr. 2019, Di Fulvio i dr. 2015), a što se i pokazalo i kod ovoga istraživanja kao nešto veća prosječna dimenzija čestica kod uzoraka obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) zbog veće čvrstoće bukova drva (Spinelli i Magagnotti 2013).

Generalno gledano, testirani uzorci pokazali su povoljnu distribuciju veličine čestica i kod analize fine frakcije (1 uzorak neokoranog oblog energijskog drva obične jele i obične smreke iznad praga F05 razreda) i kod analize glavne frakcije (Tablica 6.). Glavna frakcija uz generalno gledanu povoljnu distribuciju čestica također pokazuje veliku varijabilnost prilikom klasifikacije: 8 uzoraka ulazi u razred P16, 5 uzoraka u razred P31S zbog nedovoljnog udjela P16 razreda u glavnoj frakciji (min. 60 %), i 9 uzoraka nije moglo biti klasificirano kod prvog uzorkovanja u P16 ili P31S razrede zbog duljine najdulje čestice preko 150 mm u 9 slučajeva i prevelikog poprečnog presjeka, preko 4 cm² jednom slučaju (od čega njih 6 ne ulazi u P16 razred zbog nedovoljnog udjela P16 razreda u glavnoj frakciji).

ANOVA analiza (Tablica 7.) pokazuje statistički značajan utjecaj jedino vrste drva kao parametra na vrijednost medijane distribucije veličine čestica. Detaljan prikaz udjela pojedinih frakcija otkriva razloge za povišenu vrijednost medijane distribucije veličina čestica u slučaju bukovog energijskog drva: sniženi udio frakcije >3,15 – 8 mm, te povišeni udio frakcije >16 – 31,5 mm naspram jelovo/smrekove energijske oblovine.

Tablica 6. Rezultati analize distribucije veličine čestica

Sirovina	JSBK	JS	BBK	B	
	Okorano oblo energijsko drvo obične jele i obične smreke	Oblo energijsko drvo obične jele i obične smreke	Okorano oblo energijsko drvo obične bukve	Oblo energijsko drvo obične bukve	
Medijana distribucije veličine čestica, mm ¹	12,22 ^a	12,38 ^a	14,25 ^b	14,92 ^b	
Standardna devijacije medijane distribucije veličine čestica, mm	±0,86	±1,07	±0,62	±1,40	
Prosječni udio fine frakcije, %w	2,57	4,03	2,46	2,32	
Standardna devijacija udjela fine frakcije, %w	±1,49	±1,28	±1,14	±0,59	
Udio fine frakcije kod prvog uzorkovanja, %w (Razred fine frakcije)	3,66 (F05)	4,16 (F05)	2,17 (F05)	1,74 (F05)	
Odstupanje od udjela fine frakcije kod prvog uzorkovanja, %w (Razred fine frakcije)	2, uzorkovanje	+0,09 (F05)	+0,29 (F05)	+0,95 (F05)	+1,16 (F05)
	3, uzorkovanje	+0,23 (F05)	-0,39 (F05)	+1,89 (F05)	+1,20 (F05)
	4, uzorkovanje	-2,94 (F05)	-2,38 (F05)	-0,78 (F05)	+0,94 (F05)
	5, uzorkovanje	-2,91 (F05)	+0,12 (F05)	+0,80 (F05)	-0,12 (F05)
	6, uzorkovanje	-1,03 (F05)	+1,54 (F10)	-1,12 (F05)	+0,30 (F05)
	Prosječni udio glavne frakcije, %w	96,75	95,55	97,25	97,39
Standardna devijacija udjela glavne frakcije, %w	±1,16	±1,13	±1,15	±0,65	
Udio glavne frakcije kod prvog uzorkovanja, %w (Razred glavne frakcije)	96,30 (P16)	95,67 (P16)	97,49 (P16)	97,75 (P31S)	
Odstupanje od udjela glavne frakcije kod prvog uzorkovanja, %w (Razred glavne frakcije)	2, uzorkovanje	-0,29 (P16)	-0,45 (P45)	-0,93 (P31S)	-0,85 (P31)
	3, uzorkovanje	-0,78 (P31)	+0,05 (P31)	-1,75 (P31S)	-0,95 (P31S)
	4, uzorkovanje	+0,80 (P45)	+1,79 (P31)	+1,02 (P31)	-0,99 (P31)
	5, uzorkovanje	+2,54 (P31)	-0,37 (P31)	-0,88 (P31S)	+0,54 (P16)
	6, uzorkovanje	+0,43 (P16)	-1,72 (P16)	+1,12 (P31)	+0,08 (P16)
	Prosječni udio grube frakcije, %w	0,68	0,42	0,28	0,30
Standardna devijacija udjela grube frakcije, %w	±0,77	±0,20	±0,12	±0,20	
Udio grube frakcije kod prvog uzorkovanja, %w	0,04	0,17	0,34	0,51	
Odstupanje od udjela grube frakcije kod prvog uzorkovanja, %w	2, uzorkovanje	+0,20	+0,16	-0,02	-0,31
	3, uzorkovanje	+0,54	+0,34	-0,14	-0,26
	4, uzorkovanje	+2,14	+0,59	-0,23	+0,05
	5, uzorkovanje	+0,38	+0,25	+0,08	-0,42
	6, uzorkovanje	+0,60	+0,18	+0,00	-0,38

1 – Različita slova označavaju značajne razlike na 5%-tnoj razini.

Tablica 7. Rezultati ANOVA analize – Distribucija veličine čestica

Utjecaj	SS	DF	MS	F	p
Odsječak na osi y	4336,282	1	4336,282	4121,941	<0,000001
Vrsta drva	31,282	1	31,282	29,735	0,000024
Okoravanje	0,375	1	0,375	0,356	0,557176
Vrsta drva*Okoravanje	1,042	1	1,042	0,990	0,331587
Greška	21,040	20	1,052		

5. ZAKLJUČAK

Drvena sječka, proizvod je šumarske industrije širokog spektra primjene koji kada je korišten u svrhu dobivanja energije predstavlja obnovljivi izvor energije. Drvena sječka se koristi za dobivanje energije od razine kućne primjene pa sve do industrijske primjene. Kao proizvod proizveden iz relativno jeftine sirovine s visokim troškovima transporta naspram cijene proizvoda, te s obzirom na varijabilnost sirovine iz koje se proizvodi, drvena sječka zahtijeva dobro uspostavljen sustav kontrole kvalitete proizvodnog lanca. Osiguranjem detaljne provedbe kontrole kvalitete podiže se iskoristivost šumske drvene biomase kao resursa, a time i sama isplativost proizvodnje te pozitivan utjecaj na podizanje udjela biomase kao obnovljivog izvora energije u ukupnoj energetskej bilanci. Istraživanja s ciljem optimizacije kontrole kvalitete drvene sječke predstavljaju nužnost u svrhu uspostavljanja najoptimalnijeg mogućeg sustava kontrole kvalitete.

Provedeno istraživanje ukazuje na potrebu za češćim uzorkovanjem i boljom koordinacijom proizvodnoga lanca u smislu izbora vremena sječe te duljine prirodnog prosušivanja oblovinne s ciljem smanjenja udjela vlage što se zaključuje iz odstupanja od prvog uzorkovanja kao i iz varijabilnosti utvrđenih razreda kvalitete.

Analiza udjela pepela dala je rezultate koji pokazuju veliku vjerojatnost zadržavanja početno određenog razreda kvalitete kod većine uzoraka, što je još više potkrijepljeno činjenicom kako su u samo tri slučaja rezultati bili izvan granica ponovljivosti.

Analiza distribucije veličine čestica dala je rezultate koji pokazuju veliki utjecaj pojave prevelikih čestica na klasifikaciju drvene sječke, te je za većinu uzoraka određen lošiji razred kvalitete isključivo radi pojave prevelikih čestica.

Izbor vrste drva pokazao je utjecaj na medijanu distribucije veličine čestica vezano uz čvrstoću drva dok je primjena procesa okoravanja oblovinne pokazala pozitivan utjecaj na redukciju udjela vlage kao i na redukciju udjela pepela.

„Good chips“ certifikacija kako je i u uvodu navedeno u odnosu na intenzitet uzorkovanja za normativne značajke istražene u ovom radu, propisuje intenzitet jedino za analizu masenog udjela vlage za koju bi se uzorak trebao uzeti kod otpreme svake pošiljke finalnog proizvoda. Navedeni jaki intenzitet uzorkovanja slijedeći rezultate ovog rada može se opisat kao opravdan iz razloga velike varijabilnosti rezultata masenog udjela vlage. Za analizu distribucije veličine čestica certifikacija propisuje dogovorni princip između tvrtke i inspekcije na način da tvrtka odredi metodu i intenzitet uzorkovanja i analize koje inspekcija mora odobriti.

Cjelokupno istraživanje ispitalo je neke od opcija optimizacije kontrole kvalitete drvene sječke u vidu intenziteta uzorkovanja i laboratorijskih analiza te informacija potrebnih za potvrdu očekivanog razreda kvalitete drvene sječke kroz dulji period. Bitno je za naglasiti kako su zaključci primjenjivi za vrste sirovine ispitane u istraživanju, te kako je u svrhu donošenja

generalnog zaključka o varijabilnosti normativnih značajki drvene sječke potrebno provesti daljnja istraživanja različitih tipova sirovina.

6. LITERATURA

1. Berg, S.; Bergström, D., 2021: Quality variation in comminuted forest fuels delivered during the winter in north Sweden, *Int. J. For. Eng.*, 32, 11–18, doi:10.1080/14942119.2020.1819721.
2. Bioenergy Europe, 2018: Bioenergy Europe, Statistical report 2018 – Full report, Bruxelles.
3. Di Fulvio, F.; Eriksson, G.; Bergström, D., 2015: Effects of Wood Properties and Chipping Length on the Operational Efficiency of a 30 kW Electric Disc Chipper, , 36, 85–100.
4. ec.europa.eu/eurostat.
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/FOR_BASIC__custom_577874/default/table?lang=en (Pristupljeno 17.02.2021.).
5. European Commission, 2021: A Policy Framework for Climate and Energy in the Period from 2020 to 2030, Brussels, Belgium.
6. Fonseca, L.M.; Domingues, J.P.; Dima, A.M., 2020: Mapping the Sustainable Development Goals Relationships, *Sustainability* 2020, 12, 3359, doi:10.3390/su12083359.
7. Gendek, A.; Nurek, T. 2016: Variability of energy woodchips and their economic effects, *Folia For. Pol.*, 58, 62–71, doi:10.1515/ffp-2016-0007.
8. GoodChips® Standard Introduction to the GoodChips® scheme 2018: GOODCHIPS® ST 1000.
9. GoodChips® Standard Requirements for bodies providing GoodChips® certification, 2018: GOODCHIPS® ST 1002.
10. GoodChips® Standard Requirements for GoodChips® certified entities, 2018: GOODCHIPS® ST 1001.
11. GoodChips® Standard Requirements for the use of the GoodChips® logo and name, 2018. GOODCHIPS® ST 1003.
12. Guerrini, L.; Tirinnanzi, A.; Guasconi, F.; Fagarazzi, C.; Baldi, F.; Masella, P.; Parenti, A., 2019: A Plackett-Burman Design to Optimize Wood Chipper Settings. *Croat. J. Eng.*, 40, 81–87.
13. HRN EN 14588, 2013: Čvrsta biogoriva – Nazivlje, definicije i opisi, Tehnički odbor HZN/TO 238, Čvrsta biogoriva.
14. HRN EN ISO 17225-1, 2014: Solid Biofuels—Fuel Specifications and Classes—Part 1: General Requirements, Hrvatski zavod za norme, Zagreb, Hrvatska.
15. HRN EN ISO 17827-1, 2016: Čvrsta biogoriva -- Određivanje granulometrijskoga sastava nekomprimiranog goriva -- 1. dio: Metoda oscilacijskog prosijavanja upotrebom sita promjera 3,15 mm i većeg (ISO 17827-1:2016; EN ISO 17827-1:2016), Hrvatski zavod za norme, Zagreb, Hrvatska.
16. HRN EN ISO 18122, 2015: Čvrsta biogoriva -- Određivanje udjela pepela (ISO 18122:2015; EN ISO 18122:2015), Hrvatski zavod za norme, Zagreb, Hrvatska.

17. HRN EN ISO 18134-2, 2017: Čvrsta biogoriva -- Određivanje udjela vlage -- Metoda sušionika -- 2. dio: Ukupna vlaga -- Pojednostavljena metoda (ISO 18134-2:2017; EN ISO 18134-2:2017), Hrvatski zavod za norme, Zagreb, Hrvatska.
18. HRN EN ISO 18134-3, 2015: Čvrsta biogoriva -- Određivanje udjela vlage -- Metoda sušionika -- 3. dio: Vlaga u općem uzorku za analizu (ISO 18134-3:2015; EN ISO 18134-3:2015), Hrvatski zavod za norme, Zagreb, Hrvatska.
19. HRN EN ISO 18135, 2017: Čvrsta biogoriva -- Uzorkovanje (ISO 18135:2017; EN ISO 18135:2017), Hrvatski zavod za norme, Zagreb, Hrvatska.
20. <https://www.jenz.de/en/products/single-view/he-561-sta-electronic-engine-and-stationar/Hacker/> (Pristupljeno 7.9. 2021.).
21. Kühmaier, M.; Erber, G., 2018: Research Trends in European Forest Fuel Supply Chains: A Review of the Last Ten Years (2007–2016) —Part Two, Comminution, Transport & Logistics. *Croat. J. Eng.*, 39, 139–152.
22. Kuptz, D.; Schreiber, K.; Schulmeyer, F.; Lesche, S.; Zeng, T.; Ahrens, F.; Zelinski, V.; Schon, C.; Pollex, A.; Borchert, H., 2019: Evaluation of combined screening and drying steps for the improvement of the fuel quality of forest residue wood chips—results from six case studies. *Biomass Conv. Bioref.*, 83–98, doi:10.1007/s13399-019-00389-2.
23. Moskalik, T.; Gendek, A., 2019: Production of Chips from Logging Residues and Their Quality for Energy, A Review of European Literature, *Forests*, 10, 262, doi:10.3390/f10030262.
24. Nati, C.; Spinelli, R.; Fabbri, P., 2010: Wood chips size distribution in relation to blade wear and screen use, *Biomass Bioenergy*, 34, 583–587, doi:10.1016/j.biombioe.2010.01.005.
25. Schon, C.; Kuptz, D.; Mack, R.; Zelinski, V.; Loewen, A.; Hartmann, H., 2019: Influence of wood chip quality on emission behaviour in small-scale wood chip boilers. *Biomass Conv. Bioref.*, 9, 71–82, doi:10.1007/s13399-017-0249-7.
26. Sikkema, R.; Proskurina, S.; Banja, M.; Vakkilainen, E., 2021: How can solid biomass contribute to the EU's renewable energy targets in 2020, 2030 and what are the GHG drivers and safeguards in energy- and forestry sectors?, *Renew. Energy*, 165, 758–772, doi:10.1016/j.renene.2020.11.047.
27. Spinelli, R.; Magagnotti, N., 2013: Performance of a small-scale chipper for professional rural contractors, *For. Sci. Pract.*, 15, 206–213, doi:10.1007/s11632-013-0308-5.
28. Spinelli, R.; Marchi, E., 2021: Trends and Perspectives in the Design of Mobile Wood Chippers. *Croat. J. Eng.*, 42, 25–38, doi:10.5552/crojfe.2021.787.
29. Vusić, D.; Đuka, A., 2015: Repositioning of Forest Biomass as a Renewable Source of Energy—Implications to Harvesting Operations in Croatia. In *Forest Engineering Current Situation and Future Challenges*, Forestry Faculty of Zagreb, University: Zagreb, pp. 1–3.
30. Vusić, D.; Zečić, Ž.; Paladinić, E., 2014: Optimization of energy wood chips quality by proper raw material manipulation. In *Proceedings of the Natural Resources, Green Technology & Sustainable Development*, Zagreb, Croatia.

31. www.hrote.hr,
https://files.hrote.hr/files/PDF/OIEIK/GI_%202019_HROTE_OIEIK%2020200224_final.pdf (Pristupljeno 16.02.2021).
32. www.hzn.hr,
http://31.45.242.218/HZN/Todb.nsf/Web_Prikaz_Rezultata?OpenForm&Seq=1
(Pristupljeno 18.02.2021).
33. Zanetti, M.; Costa, C.; Greco, R.; Grigolato, S.; Ottaviani Aalmo, G.; Cavalli, R., 2017.: How Wood Fuels' Quality Relates to the Standards: A Class-Modelling Approach, *Energies*, 10, 1455, doi:10.3390/en10101455.