

# Utjecaj oštine sječiva na proizvodnost iveranja i granulometrijski sastav drvne sječke

---

**Falamić, Dominik**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*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:108:391626>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-08**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**

**FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE**

**ŠUMARSKI ODSJEK**

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

**DOMINIK FALAMIĆ**

**UTJECAJ OŠTRINE SJEČIVA NA PROIZVODNOST  
IVERANJA I GRANULOMETRIJSKI SASTAV DRVNE  
SJEČKE**

**DIPLOMSKI RAD**

**ZAGREB, 2023.**

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

**UTJECAJ OŠTRINE SJEČIVA NA PROIZVODNOST  
IVERANJA I GRANULOMETRIJSKI SASTAV DRVNE  
SJEČKE**

**DIPLOMSKI RAD**

Diplomski studij Šumarstvo – Smjer: Tehnika, tehnologija i management u šumarstvu

Predmet: Šumska biomasa za energiju

Ispitno povjerenstvo: izv. prof. dr. sc. Dinko Vusić

prof. dr. sc. Željko Zečić

doc. dr. sc. Andreja Đuka

Student: Dominik Falamić

JMBAG: 0068230762

Broj indeksa: 1259/21

Datum odobrenja teme: 05. 05. 2023.

Datum predaje rada: 20. 09. 2023.

Datum obrane rada: 27. 09. 2023.

Zagreb, rujan 2023.

## DOKUMENTACIJSKA KARTICA

|                            |   |
|----------------------------|---|
| <b>Naslov</b>              | Utjecaj oštine sječiva na proizvodnost iveranja i granulometrijski sastav drvene sječke   |
| <b>Title</b>               | The impact of sharpness of knives on chipping productivity and particle size distribution of wood chips   |
| <b>Autor</b>               | Dominik Falamić   |
| <b>Adresa autora</b>       | Rakitovica, Glavna 67, 31540 Donji Miholjac   |
| <b>Mjesto izrade</b>       | Sveučilište u Zagrebu Fakultet šumarstva i drvne tehnologije  |
| <b>Vrsta objave</b>        | Diplomski rad   |
| <b>Mentor</b>              | izv. prof. dr. sc. Dinko Vusić  |
| <b>Izradu rada pomogao</b> | Branko Uršić, mag. ing. silv.   |
| <b>Godina objave</b>       | 2023.   |
| <b>Obujam</b>              | 30 stranica, 33 slike, 7 tablica, 32 navoda korištene literature  |
| <b>Ključne riječi</b>      | Oštrina sječiva, proizvodnost iveranja, granulometrijski sastav, drvena sječka  |
| <b>Key words</b>           | sharpness of knives, chipping productivity, particle size distribution, wood chips  |
| <b>Sažetak</b>             | <p>Istraživanje utjecaja oštine sječiva na proizvodnosti iverača i granulometrijski sastav drvene sječke provedeno je na području šumarije Darda u gospodarskoj jedinici »Kopačevske podunavske šume«. Tijekom devet radnih dana ukupno je snimljeno 3671,45 min od čega 61,55 % efektivnog vremena iveranja. Za vrijeme istraživanja proizvedeno je 1670,1 t drvene sječke koja je na glavno stovarište kupca prevezena u 60 turnusa. Iz ukupne količine izuzeta su 33 uzorka drvene sječke za daljnju laboratorijsku obradu. S obzirom na granulometrijski sastav nije utvrđen statistički značajan utjecaj oštine noža na pojavnost udjela pojedine frakcije kao ni na medijanu granulometrijskog sastava pojedinog uzorka. Proizvodnost iverača također nije statistički značajno ovisila o stanju noževa iskazanom kumulativnom količinom drvene sječke proizvedenom istim sječivom. Rezultati se mogu tumačiti interakcijom velike snage iverača i stanja sirovine. Vizualnom procjenom utvrđena je razlika u stanju površine presjeka između čestica drvene sječke proizvedene oštrim, odnosno tupim sječivom.</p> |

|   |   |                      |
|---|---|----------------------|
|  | <b>IZJAVA<br/>O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI</b> | <b>OB FŠDT 05 07</b> |
|   |   | 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, 20. 09. 2023. godine

---

*vlastoručni potpis*

Dominik Falamić

# Sadržaj

|   |    |
|---|----|
| POPIS SLIKA .....   |    |
| POPIS TABLICA .....   |    |
| 1. UVOD .....   | 1  |
| 2. PROBLEMATIKA ISTRAŽIVANJA .....  | 2  |
| 2.1. Iverači .....  | 2  |
| 2.1.1. Podjela iverača .....  | 2  |
| 2.1.2. Proizvodnost iverača .....   | 3  |
| 2.2. Kakvoća drvene sječke – granulometrijski sastav .....                    | 4  |
| 3. CILJ ISTRAŽIVANJA .....  | 6  |
| 4. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA .....                                     | 7  |
| 4.1. Mjesto istraživanja .....  | 7  |
| 4.2. Materijal istraživanja .....   | 10 |
| 4.2.1. Primijenjena tehnologija rada i organizacija radilišta .....           | 10 |
| 4.2.2. Drvna sječka .....   | 13 |
| 4.3. Metode istraživanja .....  | 14 |
| 4.3.1. Studij rada i vremena .....  | 14 |
| 4.3.2. Uzorkovanje i laboratorijska obrada prikupljenih uzoraka .....         | 15 |
| 4.3.3. Statistička obrada podataka .....                                      | 18 |
| 5. REZULTATI I RASPRAVA .....   | 19 |
| 5.1. Struktura snimljenih vremena .....                                       | 19 |
| 5.2. Ovisnost proizvodnosti iverača o oštini sječiva .....                    | 22 |
| 5.3. Rezultati granulometrijske analize .....                                 | 23 |
| 5.4. Ovisnost granulometrijske strukture drvene sječke o oštini sječiva ..... | 26 |
| 6. ZAKLJUČAK .....  | 30 |
| 7. LITERATURA .....   |    |

## POPIS SLIKA

|  |    |
|--|----|
| Slika 1. Nož i protuteg na bubanjskom iveraču .....  | 3  |
| Slika 2. Sito veličine 8 cm.....   | 3  |
| Slika 3. Kontranož na bubanjskom iveraču.....  | 3  |
| Slika 4. Nož i kontranož na bubanjskom iveraču.....  | 3  |
| Slika 5. Mjesto istraživanja – šumarija Darda ( <a href="http://javni-podaci.hrsume.hr/">http://javni-podaci.hrsume.hr/</a> ) .....  | 7  |
| Slika 6. G. J. »Kopačevske podunavske šume«, odsjek 53b, mjesto iveranja (X) i »T« okretaljka (O) ( <a href="http://javni-podaci.hrsume.hr/">http://javni-podaci.hrsume.hr/</a> ) .....  | 8  |
| Slika 7. Uhrpana sirovina na radilištu .....   | 9  |
| Slika 8. Iveranje uhrpane sirovine na radilištu .....  | 9  |
| Slika 9. Prikaz sustava pridobivanja drva (motorna pila – forvarder – iverač), (izvor: <a href="http://okfs.optimizacija.sumfak.hr/images/dokumenti/tekst/Prilog%202_Sustavi.pdf">http://okfs.optimizacija.sumfak.hr/images/dokumenti/tekst/Prilog%202_Sustavi.pdf</a> ) ..... | 10 |
| Slika 10. Iverač Albach Diamant 2000 prednja strana .....  | 11 |
| Slika 11. Iverač Albach Diamant 2000 stražnja strana.....  | 11 |
| Slika 12. Garnitura oštih noževa .....   | 12 |
| Slika 13. Zamjena noževa na rotoru.....  | 12 |
| Slika 14. Stroj za oštrenje noževa »GRINDER 1700AM« .....  | 12 |
| Slika 15. Oštrenje garniture noževa na stroju »GRINDER 1700AM« .....   | 12 |
| Slika 16. Iveranje na pomoćnom stovarištu .....  | 13 |
| Slika 17. Podmazivanje hvatala na dizalici iverača .....   | 15 |
| Slika 18. Podmazivanje bubnja na iveraču.....  | 15 |
| Slika 19. Prirodno prosušivanje drvene sječke .....  | 16 |
| Slika 20. Digitalna vaga »Kern 440-49A« .....  | 16 |
| Slika 21. Uređaj za prosijavanje »Retsch AS 400 control«.....  | 17 |
| Slika 22. Određivanje mase frakcije veličine 3,15–8 mm.....  | 17 |
| Slika 23. Izmjera srednjeg promjera .....  | 17 |
| Slika 24. Uzorak drvene sječke prosijan na frakcije .....  | 17 |
| Slika 25. Promjena noževa i točenje goriva .....   | 21 |
| Slika 26. Podmazivanje iverača .....   | 21 |
| Slika 27. Ovisnost efektivnog vremena iveranja o kumulativnom učinku .....   | 22 |
| Slika 28. Prikaz masenog udjela frakcija u uzrokovanoj drvnoj sječki .....   | 25 |
| Slika 29. Udio fine frakcije s obzirom na kumulativni učinak iveranja.....   | 26 |
| Slika 30. Ovisnost medijane granulometrijske strukture o kumulativnom učinku iveranja ....   | 27 |
| Slika 31. Uzorak drvene sječke prosijan na frakcije, lijevo uzorak O1 (oštri noževi) i desno uzorak T11 (tupi noževi) .....  | 28 |
| Slika 32. Uzorak O1 proizveden oštrim noževima .....   | 29 |
| Slika 33. Uzorak T11 proizveden tupim noževima .....   | 29 |

## POPIS TABLICA

|  |    |
|--|----|
| Tablica 1. Parametri podjele iverača (Krajnc 2011) .....   | 2  |
| Tablica 2. Razredi drvene sječke s obzirom na granulometrijski sastav (HRN EN 17225-1:2021)<br>.....   | 5  |
| Tablica 3. Prikaz podataka iz osnove gospodarenja g. j. »Kopačevske podunavske šume«,<br>odsjek 53b .....  | 8  |
| Tablica 4. Tehničke značajke iverača »Albach Diamant 2000« ( <a href="https://www.albach-maschinenbau.de/">https://www.albach-<br/>maschinenbau.de/</a> )..... | 10 |
| Tablica 5. Ukupno snimljeno vrijeme rada iverača po radnim danima.....   | 19 |
| Tablica 6. Struktura snimljenih vremena.....   | 20 |
| Tablica 7. Rezultati granulometrijske analize drvene sječke .....  | 23 |



# 1. UVOD

Zbog regulativa Europske Unije povezanih s korištenjem obnovljivih izvora energije i visokoučinkovitih kogeneracija u cilju smanjenja štetnog efekta stakleničkih plinova uslijed izgaranja fosilnih goriva, mora se povećati udio korištenja obnovljivih izvora energije. Jedna od mogućnosti je korištenje biomase koja može biti biljnog i životinjskog porijekla, kao što je drvo, salama, stabljike kukuruza, ostaci sa stočnih farmi, životinjski otpad i dr. Sukladno navedenom, izvori biomase su: šumska biomasa, biomasa iz drvne industrije, biomasa iz poljoprivrede, energetski usjevi, životinjski ostaci i otpadna biomasa (Šegon i dr. 2014). Šumsku biomasu čini drveće i grmlje u šumskom ekosustavu koje se koristi za kemijsku i mehaničku preradu te za termičko korištenje, kao ogrjevno drvo (Pašičko i dr. 2009).

Zečić i dr. (2022) navode kako uvođenjem novih tehnologija svi dijelovi stabla postaju potencijalno iskoristivi. Šumski ostatak koji je nekada ostajao u šumi kao otpad, danas je vrlo tražen energent, a razlog tome je povećanje ljudske potrebe za svim oblicima energije imajući na umu kako su nam resursi ograničeni (Zečić i dr. 2022).

Šumski drvni ostatak u Republici Hrvatskoj najčešće se pridobiva djelomično mehaniziranim sustavima, odnosno izvoženjem ovršina forvarderima ili traktorskim ekipažama nakon pridobivanja oblog drva. Vusić i dr. (2012) navode kako se potpuno mehanizirani sustavi pridobivanja drva koriste rjeđe iz razloga što se strojna sječa koristi prvenstveno u šumskim kulturama i plantažama, dok se u svim prirodnim šumama i dalje koristi motorna pila kao glavno sredstvo rada pri sječi i izradi. Drvo se, ovisno o terenskim uvjetima, može privlačiti i izvoziti specijalnim šumskim strojevima ili iznositi žičarom (Zečić 2015), a drvni ostatak može se pridobivati: iznošenjem ovršina, privlačenjem ovršina, izradom svežnjeva, te iveranjem i izvoženjem drvne sječke (Sučić 2008).

Smanjenjem interesa lokalnog stanovništva za samoizradom drva (Bosner i dr. 2008), a istovremenim izazovom sa uspostavom šumskog reda u hrastovim šumama, šumarska struka pronalazi rješenje proizvodnjom drvne sječke iz drvnog ostatka metodom iveranja. Iverati se može u sječini na mjestu sječe i izradbe, na vlakama ili duž glavnih izvoznih puteva odnosno šumskih prometnica, ali i neposredno uz kogeneracijska postrojenja (Domac 2005). Proizvodnja šumske drvne sječke za energiju u Hrvatskoj odvija se uglavnom na pomoćnom stovarištu. Izvezena, uhrpana i prosušena drvna biomasa (većinom iz krošnje, uključujući i obujam granjvine ispod 7 cm s korom) najčešće se ivera u poluprikolicu kamiona tegljača (Vusić 2013).

## 2. PROBLEMATIKA ISTRAŽIVANJA

### 2.1. Iverači

Iverač je stroj koji je specijalno konstruiran da bi drvo reducirao do drvne sječke, a može biti ugrađen na vozilo, prikolicu, kamion, stražnji dio traktora ili je stacioniran, a može imati vlastiti motor ili se može pokretati preko traktora (Francescato i dr. 2012).

#### 2.1.1. Podjela iverača

Iverači se s obzirom na snagu pogonskog vozila dijele na male, srednje i velike iverače (Hamm i dr. 1994). Mali iverači su priključeni na stražnji trozglobni hidraulični podizač traktora snage pogonskog motora od 25 kW do 66 kW te je kod njih učinak mali. Srednji su iverači nošeni poljoprivrednim traktorima snage iznad 50 kW ili šumskim zglobnim traktorima, dok su veliki iverači ugrađeni na vozilo (kamion ili forvarder) snage od 150 kW do 300 kW.

Krajnc (2011) dijeli iverače po veličini (tablica 1) na temelju procijenjenih parametara proizvodnosti iverača.

Tablica 1. Parametri podjele iverača (Krajnc 2011)

| Veličina iverača | Nabavna cijena, € | Radni promjer, cm | Proizvodnost, t/h | Potrošnja goriva l/h |
|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------|
| <b>Mali</b>      | 4.500–35.000      | 20                | 2–3               | 5–8                  |
| <b>Srednji</b>   | 20.000–85.000     | 30                | 7–15              | 10–14                |
| <b>Veliki</b>    | 85.000–400.000    | > 30              | 20–35             | 20–50                |

S obzirom na izvedbu i princip rada, odnosno položaj sječiva na rotoru i kut presijecanja iverači se dijele na bubanjske iverače, diskovne iverače i iverače s dovodnim vijkom (Francescato i dr. 2012). Diskovni iverači su prvenstveno namijenjeni za usitnjavanje oblog energijskog drva iz razloga što većina diskovnih iverača nije opremljena sitom, te optimalnu kvalitetu drvne sječke s obzirom da granulometrijsku strukturu određuje optimalan razmak noža i kontra-noža. Kod diskovnih iverača kut presijecanja je fiksna, te on iznosi oko idealnih 37°. Bubanjski iverači mogu uz oblo energijsko drvo, usitnjavati i šumski ostatak. S obzirom na konstrukciju bubanjski iverači imaju varijabilan kut presijecanja drvnih vlaknaca u rasponu od 34° do 79°. Bubanjski iverači naspram ostalih, opremljeni su sitom, odnosno sitima različitih dimenzija otvora koji su lako promjenjivi te pomoću koji je moguće regulirati granulometrijsku strukturu. Slike 1–4 prikazuju glavne dijelove bubnja (nož, kontranož i sito) bubanjskog iverača.



Slika 1. Nož i protuteg na bubanjskom iveraču



Slika 2. Sito veličine 8 cm



Slika 3. Kontranož na bubanjskom iveraču



Slika 4. Nož i kontranož na bubanjskom iveraču

### 2.1.2. Produktivnost iverača

Iveranje se može obavljati u šumskoj sastojini, pomoćnom stovarištu, šumskoj cesti ali i neposredno uz kogeneracijska postrojenja (Domac 2005). Najčešće se iveranje obavlja na šumskoj cesti u poluprikolicu kamiona tegljača te se nakon toga prevozi do energane.

Prema Kuhmaieru i dr. (2018) veliki utjecaj na produktivnost iverača ima mjesto iveranja drvene sirovine (energana ili pomoćno stovarište), vrsta i oblik sirovine koja se ivera (višemetarsko oblo energijsko drvo, ovršine ili snopovi energijskog drva), stanje noževa te konfiguracija sita. Isti autori navode kako u energani ima više prostora za promjenu transportnih

sredstava drvene sječke u odnosu na šumsku cestu gdje su najveći gubici prilikom čekanja i promjene kamiona. Kühmaier i dr. (2016) navode kako bi se ovisno o vrsti sirovine, proizvodnost u kogeneracijskom postrojenju mogla povećati do 43 % u odnosu na iveranje na šumskoj cesti, što bi smanjilo troškove iveranja između 0,11 i 1,02 €/m<sup>3</sup>.

Jedan od glavnih čimbenika koji ograničavaju proizvodnost iverača su prekidi rada, a koji prema Spinelli i Visser (2009) mogu biti zbog mehaničkih razloga (održavanje, kvarovi, promjena noževa), zbog prekida operatera (telefonski pozivi, pauza, fiziološke potrebe) i zbog organizacijskih prekida (čekanje sirovine, čekanje i promjena kamiona). Organizacijski prekidi mogu imati značajan udio u ukupnom prekidu rada koje je u istraživanju Spinelli i Visser (2009) bilo zastupljeno s 33 %, dok su mehanički prekidi i prekidi operatera iznosili svega 10 %.

Osim prekida rada, na proizvodnost iverača utječe stanje sječiva na način da se efektivno vrijeme iveranja (min/t) produljuje što su noževi tuplji pa ih je potrebno učestalo oštriti (Spinelli i dr. 2014). S druge strane učestalo oštrenje noža poboljšava rad stroja i smanjuje troškove iveranja, no dovodi do povećanja troškova amortizacije noževa.

## **2.2. Kakvoća drvene sječke – granulometrijski sastav**

Normativne značajke kojima se definira kakvoća drvene sječke prema HRN EN 17225-1:2021 su tehnički udio vode, udio pepela, granulometrijska struktura drvene sječke (udio fine i glavne frakcije), a informativno-normativne značajke su udio dušika, sumpora, klora, ogrjevna vrijednost i nasipna gustoća. Kalorična (ogrjevna) vrijednost, odnosno količina topline koja se oslobađa pri izgaranju jedinice količine goriva s kisikom pri potpunom izgaranju u standardnim uvjetima najvažnije je svojstvo svakog goriva (Vusić 2015).

Kofman (2006) navodi kako se granulometrijski sastav određuje prosijevanjem drvene sječke kroz niz sita različitih veličina, a zastupljenost drvene sječke na pojedinom situ iskazuje se masenim udjelom u ukupnoj količini prosijanog uzorka. Prema HRN EN ISO 17225-1:2021 drvena sječka se s obzirom na maseni udio glavne frakcije (kao glavnog određujućeg parametra), a potom s obzirom na maseni udio fine i grubne frakcije te duljinu najdulje čestice (kao dodatnih određujućih parametra) može klasificirati u 7 razreda (tablica 2).

Prilikom korištenja drvene sječke u kogeneracijskim postrojenjima distribucija veličine čestica nalazi se među najvažnijim parametrima za njenu učinkovito sagorijevanje. Prosušivanjem svježe drvene sječke razvijaju se bakterije i gljive koje razlažu celulozu u drvnj tvari na ugljikov dioksid i vodu uz oslobađanje topline te tako dolazi do gubitka drvene tvari (Kofman 2012).

Nati i dr. (2010) navode da veličina čestica drvene sječke prvenstveno ovisi o sirovini odnosno vrsti drveća i dijelu stabla iz koje se proizvodi, tipu iverača i njemu pripadajućeg sita te rasporedu i stanju sječiva. Izborom odgovarajućeg iverača i podešavanjem njegova rada se može utjecati na kakvoću granulometrijskog sastava (Spinelli i dr. 2005). Cilj je postići ujednačenu granulometrijsku strukturu uz istovremeni izostanak prisutnosti prevelikih čestica

koje mogu onemogućiti uporabu drvene sječke u malim i srednje velikim postrojenjima (Spineli i dr. 2005).

Tablica 2. Razredi drvene sječke s obzirom na granulometrijski sastav (HRN EN 17225-1:2021)

| Razredi dimenzija                         | Glavna frakcija, najmanje 60 % masenog udjela | Gruba frakcija, maseni udio (%)  | Fina frakcija (< 3,15 mm), maseni udio (%) | Najveća duljina čestice, mm |
|---|---|----------------------------------|--|-----------------------------|
| P16s                                      | $3,15 \leq P < 16 \text{ mm}$                 | $\leq 6 \% \geq 31,5 \text{ mm}$ | $\leq 15 \%$                               | 45 mm                       |
| P16                                       | $3,15 \leq P < 16 \text{ mm}$                 | $\leq 6 \% \geq 31,5 \text{ mm}$ |  |                             |
| P31s                                      | $3,15 \leq P < 31,5 \text{ mm}$               | $\leq 6 \% \geq 45 \text{ mm}$   | $\leq 10 \%$                               | 120 mm                      |
| P31                                       | $3,15 \leq P < 31,5 \text{ mm}$               | $\leq 6 \% \geq 45 \text{ mm}$   |  |                             |
| P45s                                      | $3,15 \leq P < 45 \text{ mm}$                 | $\leq 10 \% \geq 63 \text{ mm}$  | $\leq 10 \%$                               | 200 mm                      |
| P45                                       | $3,15 \leq P < 45 \text{ mm}$                 | $\leq 10 \% \geq 63 \text{ mm}$  |  |                             |
| P63                                       | $3,15 \leq P < 63 \text{ mm}$                 | $\leq 10 \% \geq 100 \text{ mm}$ |  |                             |
| Fina frakcija (< 3,15 mm) maseni udio (%) |   |                                  |  |                             |
| F02                                       | $\leq 2 \%$                                   |                                  |  |                             |
| F05                                       | $\leq 5 \%$                                   |                                  |  |                             |
| F10                                       | $\leq 10 \%$                                  |                                  |  |                             |
| F15                                       | $\leq 15 \%$                                  |                                  |  |                             |
| F20                                       | $\leq 20 \%$                                  |                                  |  |                             |
| F25                                       | $\leq 25 \%$                                  |                                  |  |                             |
| F30                                       | $\leq 30 \%$                                  |                                  |  |                             |
| F30+                                      | $> 30 \%$                                     |                                  |  |                             |

### **3. CILJ ISTRAŽIVANJA**

Cilj istraživanja bio je utvrditi utjecaj oštine sječiva na proizvodnost iveranja i granulometrijski sastav drvne sječke. Prilikom prikupljanja uzoraka drvne sječke pratit će se proizvodnost iverača te vrsta i stanje sirovine. Laboratorijskim analizama obradit će se granulometrijski sastav drvne sječke, a matematičko-statističkim analizama proizvodnost iverača s naglaskom na glavne utjecajne čimbenike.

## 4. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

### 4.1. Mjesto istraživanja

Istraživanje je provedeno na području šumarije Darda u gospodarskoj jedinici »Kopačevske podunavske šume« (slika 1) gdje su iverane ovršine koje su izvezene na pomoćno stovarište iz odsjeka 53b (radilište Mali Bajar-Naturavita).



Slika 5. Mjesto istraživanja – šumarija Darda (<http://javni-podaci.hrsume.hr/>)

Prema uređajnom zapisniku površina gospodarske jedinice je 8.797,71 ha podijeljenih u 87 odjela. Odjeli 1–19 nalaze se u sastavu šumarije Tikveš, a ostali su u sastavu šumarije Darda. Veći broj odjela je površine preko 60 hektara i ti su odjeli zadržani u svom dosadašnjem obliku zbog toga što se radi najvećim dijelom o neproizvodnim površinama obraslim šašem i trskom, te neplodnim površinama. Odsjeci su grupirani u grupe odsjeka na temelju uređajnih i dobnih razreda.

Odsjek 53b, kako stoji u šumskogospodarskoj osnovi, površine 8,72 ha iz kojeg potječe iverana sirovina pripada fitocenozi šuma poljskog jasena i brijesta s lužnjakom. Uređajeni razred je »park prirode-Kultura EA.TOPOLE« koji se nalazi na I bonitetu. Ova biljna zajednica se nalazi na aluvijalnom livadnom tlu (humofluvisol) za koje je karakteristično da nije više pod utjecajem poplavnih voda te se formira humusni sloj najčešće debljine 20–30cm. To su većinom jako duboka tla, dobrih fizikalnih osobina i prirodne dreniranosti.

Najzastupljenija vrsta u odsjeku je euroamerička topola, dok uz nju dolazi još američki jasen, bijela topola te ostale vrste tvrde bjelogorice koje su slabije zastupljene (tablica 3).

Tablica 3. Prikaz podataka iz osnove gospodarenja g. j. »Kopačevske podunavske šume«, odsjek 53b

| Vrsta               | Tarifa | Broj stabala, N/ha | Temeljni ca, m <sup>2</sup> /ha | Srednje plošno stablo, cm | Srednja sastojinska visina, h | Drvena zaliha      |                          |          | Godišnji tečajni prirast |                          |       |
|---------------------|--------|--------------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------------|----------|--------------------------|--------------------------|-------|
|                     |        |                    |                                 |                           |                               | m <sup>3</sup> /ha | m <sup>3</sup> u odsjeku | Smjesa % | m <sup>3</sup> /ha       | m <sup>3</sup> u odsjeku | %     |
| Američki jasen      | 12     | 23                 | 0,41                            | 15                        |                               | 2,87               | 25                       | 1        | 0,23                     | 2                        | 8,00  |
| OTB                 | 35     | 30                 | 0,67                            | 17                        |                               | 4,70               | 41                       | 1        | 0,57                     | 5                        | 12,20 |
| Bijela topola       | 114    | 22                 | 0,61                            | 19                        | 22                            | 6,65               | 58                       | 2        | 0,46                     | 4                        | 6,90  |
| Euroamerička topola | 146    | 164                | 22,45                           | 42                        | 35                            | 341,97             | 2982                     | 96       | 10,89                    | 95                       | 3,19  |
| Ukupno              |        | 239                | 24,14                           | 34,15                     |                               | 356,19             | 3106                     | 100      | 12,16                    | 106                      | 3,41  |

Sječa stabala provedena u zadnjem kvartalu 2020. godine kada je obavljeno i privlačenje oblog drva i drvnog ostatka (ovršina). Do trenutka iveranja ovšina protekle su dvije godine i deset mjeseci. U ukupnoj strukturi iverane sirovine, ovršine euroameričke topole činile su 80 %, dok je ostatak činio poljski jasen, američki jasen, bijela topola i ostala tvrda bjelogorica. Slike 7 i 8 prikazuju drvenu sirovinu koja je iverana na radilištu Mali Bajar-Naturavita.



Slika 6. G. J. »Kopačevske podunavske šume«, odsjek 53b, mjesto iveranja (X) i »T« okretaljka (O) (<http://javni-podaci.hr/sume/>)





Slika 7. Uhrpana sirovina na radilištu



Slika 8. Iveranje uhrpane sirovine na radilištu

## 4.2. Materijal istraživanja

Istraživanjem je obuhvaćeno provođenje studije rada i vremena iverača te utvrđivanje granulometrijske strukture kao jednog od parametara kakvoće drvene sječke. Slika 5 prikazuje istraživani sustav pridobivanja drvene sječke koji je kategoriziran u djelomično mehaniziran sustav pridobivanja drva. Prikazani sustav se sastoji od motorne pile (sječa i izrada), forvardera (izvoženje) i iverača (iveranje). Na ovaj način neizrađeno krupno drvo i šumski ostatak (najčešće u obliku ovršina) izvoze se na pomoćno stovarište gdje se nakon prirodnog prosušivanja iveraju. Uporabom motornih pila lančanica nužno je prije izvoženja pripremiti krošnje s ciljem većeg iskorištenja tovarnoga prostora forvardera. Iveranje nije vremenski integrirano s izvoženjem jer je cilj omogućavanje dostatnog vremena prirodnog prosušivanja.



Slika 9. Prikaz sustava pridobivanja drva (motorna pila – forvarder – iverač), (izvor: [http://okfs.optimizacija.sumfak.hr/images/dokumenti/tekst/Prilog%202\\_Sustavi.pdf](http://okfs.optimizacija.sumfak.hr/images/dokumenti/tekst/Prilog%202_Sustavi.pdf))

### 4.2.1. Primijenjena tehnologija rada i organizacija radilišta

Iveranje drvene sječke obavljeno je samohodnim iveračem marke Albach Diamant 2000 (slika 10 i 11) koji je okarakteriziran kao najsuvremeniji i najsnažniji stroj ovog tipa. Tehničke značajke korištenog iverača prikazane su u tablici 4.

Tablica 4. Tehničke značajke iverača »Albach Diamant 2000« (<https://www.albach-maschinenbau.de/>)

|                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|
| Vozilo                    | Albach Diamant 2000       |
| Snaga                     | 565 kW (767 KS)           |
| Masa                      | 32.000 kg                 |
| Dimenzije                 | 10,34 m x 2,55 m x 4,00 m |
| Brzina vožnje             | 70 km/h                   |
| Maksimalni doseg dizalice | 10,1 m                    |
| Raspon rotacije dizalice  | 240°                      |

Iverač ima ugrađen rotor sedme generacije na kojem se nalazi 6 čeličnih noževa koji imaju mogućnost promjene kuta sječenja. Noževi su lako promjenjivi, a oštrenje se obavlja uglavnom strojno. S obzirom na mogućnost lake izmjene noževa, a s druge strane mogućnosti lakog zatupljivanja zbog nečistoća u sirovina, zamjenska garnitura noževa uvijek je bila prisutna uz iverač u cilju postizanja optimalne proizvodnosti. Promjer rotora je 1.040 mm, a brzina okretaja bubnja 420 o/min. Tijekom istraživanja dvočlana ekipa sudjelovala je u pripremi i održavanju stroja kao i neposrednom rukovanju strojem.



Slika 10. Iverač Albach Diamant 2000 prednja strana



Slika 11. Iverač Albach Diamant 2000 stražnja strana

Korišteni noževi nazivne su duljine 35 cm s mogućnošću brušenja do duljine 31 cm. Širina noža iznosi 20 cm, a visina 2,5 cm. Korišteni kut rezanja je  $27^\circ$  i  $25^\circ$ . Masa pojedinog noža iznosi 10,31 kg. Oštrenje tupih noževa obavlja se na automatiziranom stroju »GRINDER 1700AM« (slika 14 i 15). U proces oštrenja na magnetni stezni stol postavi se kompletna garnitura od 6 noževa koji se automatski oštire. Kut oštrenja je moguće podesiti od  $\pm 90^\circ$  no za potrebe iveranja koriste se kutevi oštrenja  $25^\circ$  i  $27^\circ$ . Uređaj za oštrenje ima sustav hlađenje oštrica tokom brušenja te koristi 80 l tekućine u omjeru 1:20 (emulzija:voda) kako bi se spriječilo začepljenje sustava tijekom brušenja.



Slika 12. Garnitura oštrih noževa



Slika 13. Zamjena noževa na rotoru



Slika 14. Stroj za oštrenje noževa »GRINDER 1700AM«



Slika 15. Oštrenje garniture noževa na stroju »GRINDER 1700AM«

Radilište je bilo organizirano na način da je iveranje obavljano uz šumsku cestu (slika 16) dovoljne širine za nesmetano mimoilaženje kamiona. Prazan kamion dolaskom na radilište morao se polukružno okrenuti na 750 m udaljenoj »T« okretnici, a potom paralelno namjestiti uz iverač nakon čega je uslijedio proces iveranja drvene sječke u kamion.



Slika 16. Iveranje na pomoćnom stovarištu

#### 4.2.2. Drvna sječka

Materijal istraživanja predstavlja drvna sječka koja je uzorkovana sukladno planu uzrokovanja tijekom 9 radnih dana na radilištu. U ukupnoj sirovini namijenjenoj proizvodnji drvene sječke, ovršine euroameričke topole činile su 80 % obujma, dok je ostatak činio poljski jasen, američki jasen, bijela topola i ostala tvrda bjelogorica. Sakupljena su i laboratorijski analizirana 33 uzorka veličine 25 litara. Uzorci drvene sječke u trenutku obrade u Laboratoriju bili su stari mjesec dana od iveranja te su u međuvremenu bili prirodno prosušeni i uskladišteni u natkrivenome prostoru. Sve laboratorijske analize uzoraka drvene sječke obavljene su u Laboratoriju za šumsku biomasu, Zavoda za šumarske tehnike i tehnologije, Fakulteta šumarstva i drvene tehnologije.

## 4.3. Metode istraživanja

### 4.3.1. Studij rada i vremena

Istraživanje je provedeno sukladno planu istraživanja kojim je definiran potreban broj uzoraka za određivanje granulometrijskog sastava (najmanje 30), duljina snimanja rada iverača (najmanje 5 dana) i odabranom lokalitetu.

Za snimanje utroška vremena iveranja, odnosno prekida iveranja korištena je povratna metoda. Utrošci vremena evidentirani su na zasebne snimačke listove za svaki tovar kamiona, a uzorci drvene sječke uzimani su iz svakog drugog turnusa te iz turnusa kada je planirana promjena noževa i iz turnusa nakon promjene noževa. Osim efektivnog vremena iveranja, zabilježeno je vrijeme i razlog nastalog prekida rada. Masa svakog tovara kamiona i maseni udio vode u drvnj sječki evidentirani su temeljem službenih odvaga trgovačkog društva »Hrvatske šume d.o.o.«.

Fiksažne točke, odnosno trenutak promjene pojedinog radnog zahvata definiran je za svaki pojedini radni zahvat pri iveranju kako slijedi:

1. promjena kamiona – započinje kada pun kamion odlazi sa radilišta, a završava kada je prazan kamion paralelno parkiran uz iverač,
2. čekanje kamiona – započinje u trenutku odlaska punog kamiona, a kada prazan kamion nije na mjestu radilišta,
3. premještanje iverača i uhrpavanje – uglavnom se obavljalo tijekom čekanja i promjene kamiona,
4. promjena noževa – odvija se nakon što bi operater utvrdio nužnost zamjene, a izmjena se uvijek obavljala po završetku iveranja cijelog tovara,
5. zastoj i kvar – započinje u slučaju zaštopavanja stroja drvnom sirovinom ili u slučaju kvara kada se nije moglo nastaviti s iveranjem,
6. pauza – opravdani prekid kojega su operateri u pravilu koristili kada su obavješteni da duže vrijeme neće biti praznog kamiona na radilištu,
7. točenje goriva – operateri obično obavljaju dok se čeka kamion ili paralelno sa promjenom noževa,
8. podmazivanje – operater svaki dan dodatno podmazuje bubanj bez obzira na centralno podmazivanje, a svaka dva dana kompletan stroj,
9. razgovor – vrijeme utrošeno na komunikaciju u organizaciji potrebnog broja kamiona na radilištu
10. prekidi zbog istraživanja – vrijeme zastoja rada zbog uzorkovanja drvene sječke za potrebe daljnjih laboratorijskih analiza.



Slika 17. Podmazivanje hvatala na dizalici iverača



Slika 18. Podmazivanje bubnja na iveraču

#### 4.3.2. Uzorkovanje i laboratorijska obrada prikupljenih uzoraka

Uzorkovanje drvene sječke na terenu obavljeno je sukladno normi HRN EN ISO 18135:2017 na način da je proces iveranja drvene sječke prekinut na polovici napunjenosti poluprikolice kamiona, a potom je uzorak za daljnju laboratorijsku analizu iz općeg uzorka izuzet metodom nasuprotnih četvrtina do postizanja količine uzorka od 25 litara.

Prikupljeni uzorci (slika 19) prosušeni su tokom ljeta te su zapakirani u plastične vreće nakon čega su dostavljeni u Laboratorij za šumsku biomasu Fakulteta šumarstva i drvene tehnologije. U Laboratoriju je potom određena granulometrijska struktura drvene sječke metodom oscilacijskog prosijavanja sukladno normi HRN EN ISO 17827-1:2016. Granulometrijski sastav definiran je kao maseni udio pojedine frakcije određene veličine čestica u ukupnoj masi uzorka (Kofman 2006).



Slika 19. Prirodno prosušivanje drvene sječke



Slika 20. Digitalna vaga »Kern 440-49A«

Laboratorijskom vagom »Kern 440-49A« utvrđena je početna masa uzorka koja je potom prosijana u uređaj za prosijavanje »Retsch AS 400 control« (slika 21). Dimenzije otvora sita definirane su normom kako slijedi: zatvorena posuda,  $\varnothing$  3,15 mm,  $\varnothing$  8 mm,  $\varnothing$  16 mm,  $\varnothing$  31,5mm,  $\varnothing$  45 mm i  $\varnothing$  63 mm.

Uređaj za prosijavanje podešen je na 230 okretaja u minuti, a trajanje samog prosijavanja iznosilo je 15 minuta. Po završetku prosijavanja utvrđena je masa svake frakcije, a potom i utvrđivanje razlike u početnoj i završnoj masi uzorka koja se sukladno normi ne smije prelaziti 2 %.





Slika 21. Uređaj za prosijavanje »Retsch AS 400 control«



Slika 22. Određivanje mase frakcije veličine 3,15–8 mm

Čestice duljine  $> 100$  mm svrstane su u frakcije prema duljini (100–150 mm, 150–200 mm, 200–250 mm, 250–300 mm,  $>300$  mm). Masa predugih čestica u pojedinoj frakciji također je određena s točnošću od 0,1 g. Izdvojena je najduža čestica kojoj je osim duljine u milimetrima izmjeren i srednji promjer u centimetrima. Uz najdužu česticu izdvojena je i čestica ( $> 100$  mm) s najvećim srednjim promjerom (slika 23). Klasifikacija drvene sječke prema razredima dimenzija obavljena je sukladno normi HRN EN ISO 172251-1:2021.



Slika 23. Izmjera srednjeg promjera



Slika 24. Uzorak drvene sječke prosijan na frakcije

### 4.3.3. Statistička obrada podataka

Za istraživanje utjecaja oštine sječiva na proizvodnost, odnosno granulometrijsku strukturu drvene sječke primijenjene su regresijske analize. Stanje je noževa iskazano kumulativnim učinkom iveranja do trenutka promjene noževa iskazanim količinom proizvedene drvene sječke u tonama prema službenim odvagama tovara (uključujući i vodu). Navedenim je podacima pridruženo vrijeme iveranja za svaki pojedini tovar, odnosno maseni udio fine frakcije te medijana granulometrijske strukture za one toware za koje je obavljeno uzorkovanje drvene sječke.

## 5. REZULTATI I RASPRAVA

Istraživanjem je obuhvaćeno devet radnih dana tijekom kojih je praćen rad iverača pri iveranju 60 tovara drvene sječke ukupne mase 1670,1 t, prosječnog udjela vode  $27,57 \pm 2,47$  %. Ukupno su izuzeta 33 uzorka drvene sječke kojima je određen granulometrijski sastav. Tablica 5 prikazuje strukturu ukupnog snimljenog vremena podijeljenog na efektivno vrijeme iveranja i prekide po pojedinom radnom danu.

Tablica 5. Ukupno snimljeno vrijeme rada iverača po radnim danima

| Šumarija | Datum      | Broj tovara u radnom danu | Ukupna masa drvene sječke, t | Ukupno trajanje iveranja, min | Ukupno trajanje prekida iveranja, min | Ukupno vrijeme, min |
|----------|------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|---------------------|
| Darda    | 17.7.2023. | 6                         | 168,2                        | 231,7                         | 190,1                                 | 421,8               |
| Darda    | 18.7.2023. | 6                         | 170,0                        | 225,2                         | 125,7                                 | 350,9               |
| Darda    | 19.7.2023. | 8                         | 222,2                        | 299,1                         | 138,3                                 | 437,4               |
| Darda    | 20.7.2023. | 6                         | 164,4                        | 224,9                         | 198,9                                 | 423,7               |
| Darda    | 21.7.2023. | 7                         | 192,8                        | 248,0                         | 150,3                                 | 398,3               |
| Darda    | 24.7.2023. | 8                         | 220,5                        | 303,1                         | 158,2                                 | 461,2               |
| Darda    | 25.7.2023. | 6                         | 167,1                        | 226,6                         | 152,8                                 | 379,4               |
| Darda    | 26.7.2023. | 7                         | 197,9                        | 272,3                         | 130,6                                 | 402,9               |
| Darda    | 27.7.2023. | 6                         | 167,0                        | 228,9                         | 167,0                                 | 395,9               |

### 5.1. Struktura snimljenih vremena

Struktura snimljenog vremena prikazana je u tablici 6. Ukupno snimljeno vrijeme raščlanjeno je na radni zahvat iveranja te na utrošak vremena prekida iveranja. Prekidi iveranja dalje su raščlanjeni na promjenu i čekanje kamiona, koji čine organizacijski prekide; premještanje iverača i uhrpavanje, točenje goriva, podmazivanje; promjenu noževa te zastoje i kvar koji čine tehničke prekide, te pauzu, razgovor i prekidi radi istraživanja.

Važno je naglasiti da je tijekom radnog dana dolazilo do preklapanja među pojedinim prekidima rada. Tijekom promjene noževa ujedno se točilo gorivo, za vrijeme čekanja i promjene kamiona obavljeno je premještanje iverača i uhrpavanje (ako je bilo potrebno). Zbog načina obrade podataka bilo je nužno evidentirati svaku kategoriju prekida zasebno i na prethodno navedenim primjerima prekid je svrstan u kategoriju promjene i čekanje kamiona u cilju utvrđivanja utjecaja organizacije radilišta na proizvodnost iverača.

Ukupno snimljeno vrijeme iznosi 3671,5 min od čega ukupno efektivno vrijeme ima udio od 61,55 % (2259,70 min), a svi prekidi tijekom rada udio od 38,45 % (1411,75 min). Od navedenih prekida iveranja u tablici 6 prikazani su razlozi i udio prekida u strukturi ukupnog vremena. Prekid rada zbog promjene kamiona evidentiran je u iznosu 470,82 min (12,82 %) te u strukturi prekida čine najveći udio (33,35 % od ukupnog vremena svih prekida). Po duljini trajanja, sljedeći je prekid čekanje kamiona s 216,73 min (5,90 % od efektivnog vremena), odnosno 15,35 % od ukupnog prekida rada. Nakon čekanja kamiona, slijedi pauza u trajanju od 196,00 min, odnosno 5,34 % od ukupnog snimljenog vremena. Za istraživanje utrošeno je 4,44 % ukupnog snimljenog vremena. Promjena noževa i podmazivanje sudjeluju sa po 2,27 % ukupnog snimljenog vremena. Na promjenu noževa je potrošeno 83,43 min, a na podmazivanje 83,35 min. Prekidi koji su u najmanjem postotku sudjelovali u strukturi snimljenog vremena bili su razgovor 65,35min, premještanje iverača i uhrpavanje koje je iznosilo 55,52 min, točenje goriva 41,07 min te zastoj i kvar 36,53 min. Ukupno ova tri prekida čine 5,41 % od ukupnog snimljenog vremena.

Tablica 6. Struktura snimljenih vremena

| Radni zahvat                           | min     | % - od ukupnog vremena | % - dodatnog vremena |
|--|---------|------------------------|----------------------|
| <b>1. Iveranje</b>                     | 2259,70 | <b>61,55</b>           |                      |
| <b>2. Prekidi</b>                      | 1411,75 | <b>38,45</b>           | 100,00               |
| 2.1. Promjena kamiona                  | 470,82  | 12,82                  | 33,35                |
| 2.2. Čekanje kamiona                   | 216,73  | 5,90                   | 15,35                |
| 2.3. Premještanje iverača i uhrpavanje | 55,52   | 1,51                   | 3,93                 |
| 2.4. Promjena noževa                   | 83,43   | 2,27                   | 5,91                 |
| 2.5. Zastoj i kvar                     | 36,53   | 1,00                   | 2,59                 |
| 2.6. Pauza                             | 196,00  | 5,34                   | 13,88                |
| 2.7. Točenje goriva                    | 41,07   | 1,12                   | 2,91                 |
| 2.8. Podmazivanje                      | 83,25   | 2,27                   | 5,90                 |
| 2.9. Razgovor                          | 65,35   | 1,78                   | 4,63                 |
| 2.10. Istraživanje                     | 163,05  | 4,44                   | 11,55                |
| Ukupno                                 | 3671,45 |                        |                      |



Slika 25. Promjena noževa i točenje goriva



Slika 26. Podmazivanje iverača

## 5.2. Ovisnost proizvodnosti iverača o oštini sječiva

Slika 27 prikazuje ovisnost efektivnog vremena iveranja o kumulativnom učinku iveranja. Ovisnost efektivnog vremena iveranja i kumulativnog učinka iveranja izjednačena je pravcem s koeficijentom korelacije  $R^2 = 0,0031$  koji je gotovo paralelan s osi x. Stoga ne možemo zaključiti da efektivno vrijeme iveranja u istraživanim uvjetima ovisi o oštini noževa iverača. S obzirom na relativno podjednaku proizvodnost neovisno o kumulativnom učinku iveranja korištenih noževa, proizvodnost iverača u istraživanim uvjetima vrlo je vjerojatno posljedice iznimno velike snage iverača te stanja sirovine. S obzirom na to da je iverana sirovina provela značajno vrijeme na pomoćnom stovarištu, vjerojatno je ista promijenila strukturu drva uslijed truljenja i propadanja drva.



Slika 27. Ovisnost efektivnog vremena iveranja o kumulativnom učinku

Iz ostvarenih učinaka i snimljenog vremena izračunata je norma vremena u iznosu od 1,35 min/t efektivnog vremena, odnosno 2,20 min/t uključujući prekide rada. Sukladno tomu prosječna norma učinka u istraživanim uvjetima iznosi 27,29 t/h. Podatak o normi učinka od izuzetnog je značaja za organizaciju radilišta na temelju koje se planira potreban broj kamiona u danu, a potom i dinamika njihovog izmjenjivanja na radilištu s obzirom na ostale utjecajne čimbenike, poput primjerice udaljenosti transporta drvene sječke do glavnog stovarišta kupca.

### 5.3. Rezultati granulometrijske analize

Granulometrijska struktura, odnosno maseni udio fine, glavne i grube frakcije kao i duljina najdulje čestice te najveća površina presjeka prekrupnih čestica kao i pripadajući razredi drvene sječke sukladno HRN EN ISO 17225-1:2021 prikazani su u tablici 7.

Tablica 7. Rezultati granulometrijske analize drvene sječke

| Uzorak | Maseni udio frakcije, $w$ (%) |                              |                   | $l_{max}$ (mm) | $\phi_{max}$ (cm <sup>2</sup> ) | Razred prema HRN EN ISO 17225-1:2021 |
|--------|-------------------------------|------------------------------|-------------------|----------------|---------------------------------|--------------------------------------|
|        | FINE                          | GLAVNE                       | GRUBE             |                |                                 |                                      |
| O1     | 5,0<br>( < 3,15 mm)           | 88,3<br>(3,15 ≤ P < 45 mm)   | 3,8<br>( > 63 mm) | 117            | 11,3                            | P45s; F05                            |
| O2     | 7,8<br>( < 3,15 mm)           | 85,1<br>(3,15 ≤ P < 45 mm)   | 4,5<br>( > 63 mm) | 144            | 13,8                            | P45s; F10                            |
| O3     | 9,9<br>( < 3,15 mm)           | 75,2<br>(3,15 ≤ P < 31,5 mm) | 3,3<br>( > 45 mm) | 167            | 3,5                             | P31; F10                             |
| O4     | 7,3<br>( < 3,15 mm)           | 77,5<br>(3,15 ≤ P < 31,5 mm) | 2,5<br>( > 45 mm) | 157            | 4,2                             | P31; F10                             |
| O5     | 5,3<br>( < 3,15 mm)           | 87,5<br>(3,15 ≤ P < 45 mm)   | 4,7<br>( > 63 mm) | 145            | 4,2                             | P45s; F10                            |
| O6     | 9,2<br>( < 3,15 mm)           | 71,2<br>(3,15 ≤ P < 31,5 mm) | 4,3<br>( > 45 mm) | 148            | 5,3                             | P31; F10                             |
| O7     | 7,1<br>( < 3,15 mm)           | 74,8<br>(3,15 ≤ P < 31,5 mm) | 5,3<br>( > 45 mm) | 196            | 9,1                             | P31; F10                             |
| O8     | 8,5<br>( < 3,15 mm)           | 84,9<br>(3,15 ≤ P < 45 mm)   | 3,4<br>( > 63 mm) | 177            | 7,5                             | P45s; F10                            |
| O9     | 6,8<br>( < 3,15 mm)           | 84,6<br>(3,15 ≤ P < 45 mm)   | 3,3<br>( > 63 mm) | 169            | 10,2                            | P45s; F10                            |
| O10    | 8,6<br>( < 3,15 mm)           | 83,7<br>(3,15 ≤ P < 45 mm)   | 3,6<br>( > 63 mm) | 162            | 6,2                             | P45s; F10                            |
| T11    | 7,8<br>( < 3,15 mm)           | 85,3<br>(3,15 ≤ P < 45 mm)   | 2,6<br>( > 63 mm) | 120            | 15,2                            | P31; F10                             |
| O12    | 8,2<br>( < 3,15 mm)           | 75,9<br>(3,15 ≤ P < 31,5 mm) | 5,9<br>( > 45 mm) | 156            | 5,3                             | P31; F10                             |
| O13    | 8,5<br>( < 3,15 mm)           | 75,1<br>(3,15 ≤ P < 31,5 mm) | 5,8<br>( > 45 mm) | 136            | 9,1                             | P31; F10                             |
| O14    | 9,0<br>( < 3,15 mm)           | 75,9<br>(3,15 ≤ P < 31,5 mm) | 4,6<br>( > 45 mm) | 165            | 6,2                             | P31; F10                             |
| O15    | 9,3<br>( < 3,15 mm)           | 76,0<br>(3,15 ≤ P < 31,5 mm) | 3,9<br>( > 45 mm) | 131            | 14,5                            | P31; F10                             |
| O16    | 8,4<br>( < 3,15 mm)           | 85,1<br>(3,15 ≤ P < 45 mm)   | 2,8<br>( > 63 mm) | 175            | 6,6                             | P45s; F10                            |
| O17    | 9,5<br>( < 3,15 mm)           | 70,5<br>(3,15 ≤ P < 31,5 mm) | 4,4<br>( > 45 mm) | 216            | 1,3                             | P31; F10                             |
| O18    | 9,3<br>( < 3,15 mm)           | 73,1<br>(3,15 ≤ P < 31,5 mm) | 5,7<br>( > 45 mm) | 161            | 11,9                            | P31; F10                             |

| Uzorak | Maseni udio frakcije, $w$ (%) |                                    |                     | $l_{\max}$ (mm) | $\varnothing_{\max}$ (cm <sup>2</sup> ) | Razred prema HRN EN ISO 17225-1:2021 |
|--------|-------------------------------|------------------------------------|---------------------|-----------------|---|--------------------------------------|
|        | FINE                          | GLAVNE                             | GRUBE               |                 |   |                                      |
| O19    | 10,4<br>( $< 3,15$ mm)        | 83,1<br>( $3,15 \leq P < 45$ mm)   | 2,9<br>( $> 63$ mm) | 148             | 13,8                                    | P45; F15                             |
| T20    | 16,5<br>( $< 3,15$ mm)        | 66,3<br>( $3,15 \leq P < 31,5$ mm) | 4,7<br>( $> 45$ mm) | 187             | 0,6                                     | P31; F20                             |
| O21    | 10,6<br>( $< 3,15$ mm)        | 82,9<br>( $3,15 \leq P < 45$ mm)   | 5,2<br>( $> 63$ mm) | 199             | 7,5                                     | P45; F15                             |
| O22    | 17,4<br>( $< 3,15$ mm)        | 66,9<br>( $3,15 \leq P < 31,5$ mm) | 4,4<br>( $> 45$ mm) | 175             | 6,2                                     | P31; F20                             |
| O23    | 16,1<br>( $< 3,15$ mm)        | 71,8<br>( $3,15 \leq P < 31,5$ mm) | 3,3<br>( $> 45$ mm) | 124             | 5,7                                     | P31; F20                             |
| O24    | 18,0<br>( $< 3,15$ mm)        | 75,8<br>( $3,15 \leq P < 45$ mm)   | 1,9<br>( $> 63$ mm) | 197             | 5,3                                     | P45; F20                             |
| O25    | 17,4<br>( $< 3,15$ mm)        | 76,7<br>( $3,15 \leq P < 45$ mm)   | 3,7<br>( $> 63$ mm) | 221             | 9,6                                     | P45; F20                             |
| O26    | 16,9<br>( $< 3,15$ mm)        | 70,1<br>( $3,15 \leq P < 31,5$ mm) | 5,2<br>( $> 45$ mm) | 151             | 3,8                                     | P31; F20                             |
| O27    | 1,9<br>( $< 3,15$ mm)         | 87,3<br>( $3,15 \leq P < 45$ mm)   | 5,8<br>( $> 63$ mm) | 185             | 13,8                                    | P45s; F02                            |
| O28    | 3,7<br>( $< 3,15$ mm)         | 85,9<br>( $3,15 \leq P < 45$ mm)   | 4,3<br>( $> 63$ mm) | 182             | 6,2                                     | P45s; F05                            |
| O29    | 2,4<br>( $< 3,15$ mm)         | 89,4<br>( $3,15 \leq P < 45$ mm)   | 1,3<br>( $> 63$ mm) | 171             | 2,8                                     | P45s; F05                            |
| T30    | 8,8<br>( $< 3,15$ mm)         | 81,7<br>( $3,15 \leq P < 45$ mm)   | 3,3<br>( $> 63$ mm) | 161             | 8                                       | P45s; F10                            |
| O31    | 15,9<br>( $< 3,15$ mm)        | 71,7<br>( $3,15 \leq P < 31,5$ mm) | 5,2<br>( $> 45$ mm) | 152             | 8                                       | P31; F20                             |
| O32    | 2,8<br>( $< 3,15$ mm)         | 87,5<br>( $3,15 \leq P < 45$ mm)   | 5,6<br>( $> 63$ mm) | 245             | 8                                       | P45; F05                             |
| O33    | 2,7<br>( $< 3,15$ mm)         | 72,4<br>( $3,15 \leq P < 31,5$ mm) | 5,5<br>( $> 45$ mm) | 160             | 3,1                                     | P31; F05                             |

Udio fine frakcije u svim analiziranim uzorcima kretao se između 1,9 i 18 % odnosno od razreda F02 do F20. Udio glavne frakcije uglavnom je bio iznad 70 %, a s obzirom na raspon veličine čestica nije prelazio frakciju iznad 45 mm. Najdulja čestica imala je duljinu 245 mm a presjek najveće čestice bio je 15,2 cm<sup>2</sup>.

Slika 28 prikazuje zastupljenost pojedinih frakcija u svim analiziranim uzorcima te je frakcija s česticama veličine 16 – 31,5 mm bila najzastupljenija s prosjekom od 37,37 %. Udio prekrupnih čestica ( $> 100$  mm) iznosio je u prosjeku 3,01 %.





Slika 28. Prikaz masenog udjela frakcija u uzrokovanj drvnoj sječki

#### 5.4. Ovisnost granulometrijske strukture drvene sječke o oštini sječiva

Laboratorijskom analizom granulometrijske strukture nije utvrđena značajna razlika između uzoraka proizvedenih ostrim i tupim nožem. Slika 29 prikazuje udio fine frakcije u odnosu na kumulativan učinak iveranja. Ovisnost udjela fine frakcije o kumulativnom učinku iveranja izjednačena je regresijskom jednadžbom s koeficijentom korelacije  $R^2 = 0,0493$ . Stoga ne možemo zaključiti da udio fine frakcije statistički značajno ovisi o oštini sječiva. Rasutost podataka može biti objašnjena utjecajem lošeg stanja sirovine koja je dugo stajala na pomoćnom stovarištu, odnosno bila je natrula u vrijeme iveranja.



Slika 29. Udio fine frakcije s obzirom na kumulativni učinak iveranja

Slika 30 prikazuje ovisnost medijane granulometrijske strukture o kumulativnom učinku iveranja. Ovisnost medijana granulometrijske strukture o kumulativnom učinku iveranja frakcije izjednačen je regresijskom jednadžbom s koeficijentom korelacije  $R^2 = 0,1159$ . Iako je medijana s obzirom na kumulativni učinak iveranja u blagom porastu, s obzirom na nisku vrijednost koeficijenta korelacije ne možemo zaključiti da medijana granulometrijske strukture statistički značajno ovisi o kumulativnom učinku iveranja, odnosno stanju sječiva.



Slika 30. Ovisnost medijane granulometrijske strukture o kumulativnom učinku iveranja

Slika 31 prikazuje po jedan uzorak drvene sječke proizveden oštrim noževima i tupim noževima. Bez obzira na rezultate masenog udjela pojedine frakcije, vizualnom procjenom može se zaključiti kako se radi o dva uzorka iznimno sličnog granulometrijskog sastava s obzirom na sve promatrane frakcije, osim eventualno fine frakcije (<3,15 mm).



Slika 31. Uzorak drvene sječke prosijan na frakcije, lijevo uzorak O1 (oštri noževi) i desno uzorak T11 (tupi noževi)

Iako oštrina noža nije utjecala na granulometrijski sastav i proizvodnost iverača, na slikama 32 i 33 je prikazan utjecaj oštrote noža na finoću reza površine pojedinog komada drvene sječke. Tako se može vizuoaom procjenom primjetiti kako oštar nož (bez obzira na stanje

sirovine) ima pravilan i gladak rez dok tupi nož proizvodi drvenu sječku čija je površina nepravilne i hrapave teksture.



Slika 32. Uzorak O1 proizveden ostrim noževima



Slika 33. Uzorak T11 proizveden tupim noževima

## 6. ZAKLJUČAK

Istraživanjem je planirano utvrditi utjecaj oštine sječiva na proizvodnost i granulometrijski sastav drvene sječke. S obzirom na rezultate istraživanja može se zaključiti da hipoteze istraživanja nisu potvrđene.

U istraživanim uvjetima nije dokazana statistički značajna povezanost između oštirne sječiva iskazane kumulativnim učinkom iveranja (odnosno količinom proizvedene drve sječke) istim setom noževa i efektivnog vremena iveranja.

Granulometrijski sastav drvene sječke također nije pokazao statistički značajnu ovisnost o oštirni sječiva u istraživanim uvjetima.

Osnovni razlog vjerojatno leži u stanju sirovine; ovršina topole koje su uslijed dugotrajnog skladištenja na pomoćnom stovarištu značajno zahvaćene truleži, a što je uz veliku snagu iverača rezultiralo podjednakim otporima presijecanja drvnih vlaknaca u slučaju oštrih i tupih noževa.

Vizualnom procjenom površine reza utvrđena je razlika u teksturi površine nastale oštrim, odnosno tupim nožem. Iako finoća reza ne utječe na kakvoću drvene sječke, ovaj rezultat nam može biti od koristi u budućim istraživanjima pri praćenju proizvodnosti iveranja kvalitetnije sirovine, odnosno tvrdog drva, gdje bi utjecaj oštine noža zasigurno bio veći negoli u istraživanim uvjetima.

## 7. LITERATURA

1. Bosner, A., Nikolić, S., Pandur, Z., BeniĆ, D., 2008: Razvoj i umjeravanje prijenosnoga sustava za mjerenje osovinskih opterećenja vozila – mjerenja na forvarderu. *Nova mehanizacija šumarstva* 29: 1–15.
2. Domac, J., Risović, S., Sever, S., 2005: Strategija pridobivanja šumske biomase u Republici Hrvatskoj do 2030.godine. *Mehanizacija šumarstva* 26(1): 81–86.
3. Hamm., Đ., Goglia, V., Sever, S., 1994: Korištenje drvnog ostatka iz šumske proizvodnje za dobivanje iverja kao goriva u toplinskim generatorima. *Mehanizacija šumarstva* 19(4): 269–275.
4. <http://albach.hr/> (Pristupljeno 13. 9. 2023.)
5. <https://javnipodaci.blob.core.windows.net/pdf/090/Opis.pdf> (Pristupljeno 8. 9. 2023.)
6. [https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA-ZA-PROCJENU-UTJECAJA-NA-OKOLIS-ODRZIVO-GOSPODARENJE-OTPADOM/Opuo/05\\_01\\_2021\\_Elaborat\\_Crpljenje\\_vode\\_farma\\_Veliki\\_Otok.pdf](https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA-ZA-PROCJENU-UTJECAJA-NA-OKOLIS-ODRZIVO-GOSPODARENJE-OTPADOM/Opuo/05_01_2021_Elaborat_Crpljenje_vode_farma_Veliki_Otok.pdf) (pristupljeno 8. 9. 2023.)
7. <https://webgis.hrsume.hr/arcgis/apps/webappviewer/index.html?id=8bb3e1d6b80d49ad9e0193f8b62380e2> (Pristupljeno 8. 9. 2023.)
8. <https://www.albach-maschinenbau.de/produkte/diamant-2000> (pristupljeno 13. 9. 2023.)
9. <https://www.kingkong-tools.de/produkt/723/kfm131> (pristupljeno 15. 9. 2023.)
10. <https://www.zakon.hr/cms.htm?id=56644> NN 28/2023 (10.3.2023.), Uredba o korištenju obnovljivih izvora energije i visokoučinkovitih kogeneracija
11. Katalog sustava pridobivanja drva; [http://okfs-optimizacija.sumfak.hr/images/dokumenti/tekst/Prilog%202\\_Sustavi.pdf](http://okfs-optimizacija.sumfak.hr/images/dokumenti/tekst/Prilog%202_Sustavi.pdf) (pristupljeno 16.04.2023.)
12. Kofman, P. D., 2006: Quality wood chip fuel. Coford Connects, Harvesting/Transport 6.
13. Kofman, P. D., 2012: Storage of short rotation coppice willow fuel. Coford Connects, Harvesting/Transport 30.
14. Krajnc, N., 2011: Wood Energy Technologies, Technical report, 1-53
15. Kühmaier, M., Erber, G., 2018: Research Trends in European Forest Fuel Supply Chains: A Review of the Last Ten Years (2007–2016). *Croatian Journal of Forest Engineering* 39(1): 139–152.
16. Kühmaier, M., Erber, G., Kanzian, C., Holzleitner, F., Stampfer, K., 2016: Comparison of costs of different terminal layouts for fuel wood storage. *Renewable Energy* 87: 544–551
17. Nati, C., Spinelli, R., Fabbri, P., 2010: Wood chips size distribution in relation to blade wear and screen use. *Biomass and Bioenergy* 34: 583–587.
18. Osnova gospodarenja za gospodarsku jedinicu » Kopačevske podunavske šume «, 2011
19. Pašičko, R., Kajba, D., Domac, J., 2009: konkurentnost šumske biomase u hrvatskoj u uvjetima tržišta CO<sub>2</sub> emisija. *Šumarski list* 133(7–8): 425-438
20. Priručnik o gorivima iz drvne biomase (2012) <https://regea.org/wp-content/uploads/2018/05/Priru%C4%8Dnik-o-gorivima-iz-drvne-biomase-o%C5%BEujak-2012..pdf>

21. Spinelli, R., Glushkov, S., Markov, I., 2014: Managing chipper knife wear to increase chip quality and reduce chipping cost. *Biomass and Bioenergy* 62: 117– 122.
22. Spinelli, R., Hartsough, B. R., Magagnotti, N., 2005: Testing Mobile Chippers for Chip Size Distribution. *International Journal of Forest Engineering* 16 (2): 29–35.
23. Spinelli, R., Ivorra, L., Magagnotti, N., Picchi, G., 2011: Performance of a mobile mechanical screen to improve the commercial quality of wood chips for energy. *Bioresurces Technology* 102(15): 7366–7370.
24. Spinelli, R., Ivorra, L., Magagnotti, N., Picchi, G., 2011: Performance of a mobile mechanical screen to improve the commercial quality of wood chips for energy. *Bioresurces Technology* 102(15): 7366–7370.
25. Spinelli, R., Visser, R., 2009: Analyzing and estimating delays in wood chipping operations. *Biomass and Bioenergy* 33(3): 429–433.
26. Sučić, Ž., 2008: Raspoloživi potencijal šumske biomase i kako ga koristiti. <https://www.sumari.hr/biomasa/urhsisak2008/1-3Sucic.pdf>
27. Šegon, V., Šimek, T., Oradini, A., Marchetti, M., 2014: Priručnik za učinkovito korištenje biomase. Hrvatska, 1-26.
28. Vusić, D., 2013: Pogodnost sustava pridobivanja drvene biomase u smrekovoj šumskoj kulturi. Doktorski rad. Šumarski fakultet Sveučilišta u zagrebu, 1–199.
29. Vusić, D., 2015: Priprema za laboratorijske vježbe iz kolegija Šumski proizvodi
30. Vusić, D., Ž. Zečić, Z. Turk, 2012: Productivity of chainsaw felling and processing in selective forests of Croatia. *Proceedings of the 45th International Symposium on Forestry Mechanization »Forest Engineering: Concern, Knowledge and Accountability in Today's Environment«*, T. Pentek, T. Poršinky, M. Šporčić, (ur.), Dubrovnik (Cavtat), Forestry Faculty of Zagreb University, 1–7.
31. Zečić, Ž., 2015: Optimiziranje sustava pridobivanja drva skupnim radom u prorednim sječinama grđevačke Bilogore. *Radovi Zavoda za znanstvenoistraživački i umjetnički rad u Bjelovaru* 9: 245–264
32. Zečić, Ž., Đuka A., Vusić D., Ursić B., Benić, D., 2022: Struktura nadzemne biomase divlje trešnje (*Prunus avium* L.) u nizinskim šumama hrvatske. *Šumarski list*, 1–2 (2022): 31–40