

Primjena sustava harvester-forvarder za prorede listača u Bjelovarskoj Bilogori

Plantak, Marijo

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:633341>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-11**



Repository / Repozitorij:

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



ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

ŠUMARSKI ODSJEK

SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ ŠUMARSTVO

TEHNIKE, TEHNOLOGIJE I MENADŽMENT U ŠUMARSTVU

MARIJO PLANTAK

**PRIMJENA SUSTAVA HARVESTER – FORVARDER ZA
PROREDE LISTAČA U BJELOVARSKOJ BILOGORI**

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, RUJAN, 2017.

ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

ŠUMARSKI ODSJEK

**PRIMJENA SUSTAVA HARVESTER – FORVARDER ZA PROREDE
LISTAČA U BJELOVARSKOJ BILOGORI**

DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij: Šumarstvo, smjer Tehnike, tehnologije i menadžment u šumarstvu

Predmet: Mehanizacija pridobivanja drva

Ispitno povjerenstvo: 1. prof. dr. sc. Dubravko Horvat

2. dr. sc. Zdravko Pandur

3. izv. prof. dr. sc. Marijan Šušnjar

Student: Marijo Plantak

JMBAG: 0068217174

Broj indeksa: 627/2015

Datum odobrenja teme: 20.04.2017.

Datum predaje rada: 15.09.2017.

Datum obrane rada: 22.09.2017.

Zagreb, rujan, 2017.

DOKUMENTACIJSKA KARTICA

| | |
|---------------------|---|
| Naslov | Primjena sustava harvester – forvarder za prorede listača u Bjelovarskoj Bilogori |
| Title | Application of the harvester – forwarder system for broadleaf thinning in Bjelovarska Bilogora |
| Autor | Marijo Plantak |
| Adresa autora | Haganj 95, 10342 Dubrava |
| Mjesto izrade | Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu |
| Vrsta objave | Diplomski rad |
| Mentor | prof. dr. sc. Dubravko Horvat |
| Izradu rada pomogao | dr. sc. Dinko Vusić |
| Godina objave | 2017. |
| Obujam | 59 stranica, 39 slika, 10 tablica i 37 navoda literature |
| Ključne riječi | Harvester, forwarder, proizvodnost, jedinični trošak |
| Key words | Harvester, forwarder, productivity, unit cost |
| Sažetak | <p>Cilj provedenog istraživanja je bio utvrditi proizvodnost harvestera i forvardera prilikom prorede listača na području Šumarije Bjelovar. Proizvodnost je utvrđena temeljem metode studije rada i vremena. Proizvodnost harvestera se kretala od 3,9 m³/h za prsni promjer 12,5 cm do 16,8 m³/h za prsni promjer 42,5 cm. Proizvodnost forvardera se kretala od 11,1 m³/h za srednju udaljenost izvoženja 100 m do 7,3 m³/h za srednju udaljenost izvoženja 800 m. Utvrđeni jedinični troškovi harvestera su se kretali u rasponu od 235,07 kn/m³ za prsni promjer 12,5 cm do 54,08 kn/m³ za prsni promjer 42,5 cm. Jedinični troškovi forvardera su se kretali od 50,10 kn/m³ za srednju udaljenost izvoženja 100 m do 76,48 kn/m³ za srednju udaljenost izvoženja 800 m.</p> |

„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“.

vlastoručni potpis

Marijo Plantak

U Zagrebu, 15.09.2017.

POPIS SLIKA:

| | |
|---|----|
| Slika 1. Sheme rada harvestera i forvardera u skupnom radu (Izvor: Krpan i Poršinsky 2004)..... | 4 |
| Slika 2. Skupni rad harvestera i forvardera u prorednoj sječi listača..... | 7 |
| Slika 3. GJ »Bjelovarska Bilogora«, odsjeci 14 b i 14 c na karti Republike Hrvatske...8 | |
| Slika 4. Odsjeci 14 b i 14 c, GJ »Bjelovarska Bilogora«..... | 10 |
| Slika 5. a) Distribucija doznačenih stabala po debljinskim stupnjevima za odsjek 14 b..... | 11 |
| Slika 5. b) Distribucija doznačenih stabala po vrstama drveća za odsjek 14 b..... | 11 |
| Slika 5. c) Distribucija doznačenog obujma po debljinskim stupnjevima za odsjek 14 b..... | 12 |
| Slika 5. d) Distribucija doznačenog obujma po vrstama drveća za odsjek 14 b..... | 12 |
| Slika 6. a) Distribucija doznačenih stabala po debljinskim stupnjevima za odsjek 14 c..... | 12 |
| Slika 6. b) Distribucija doznačenih stabala po vrstama drveća za odsjek 14 c..... | 12 |
| Slika 6. c) Distribucija doznačenog obujma po debljinskim stupnjevima za odsjek 14 c..... | 13 |
| Slika 6. d) Distribucija doznačenog obujma po vrstama drveća za odsjek 14 c..... | 13 |
| Slika 7. Pomoćno stovarište..... | 14 |
| Slika 8. Istovar višemetarskog prostornog drva..... | 15 |
| Slika 9. Istovar tehničke oblovine..... | 15 |
| Slika 10. Sastavni dijelovi harvestera (Izvor: Granić 2013)..... | 16 |
| Slika 11. Harvester Timberjack 1470D..... | 17 |
| Slika 12. Sječna glava Timberjack 758..... | 19 |
| Slika 13. Forvarder Timberjack 1710D..... | 21 |

| | |
|---|----|
| Slika 14. Stablo obilježeno rednim brojem..... | 24 |
| Slika 15 Stablo obilježeno prsnim promjerom..... | 24 |
| Slika 16. Sučelje softvera UmtPlus kod snimanja harvestera (radni zahvati)..... | 27 |
| Slika 17. Sučelje softvera UmtPlus kod snimanja harvestera (prekidi)..... | 27 |
| Slika 18. Sučelje softvera UmtPlus prilikom snimanja forvardera (radni zahvati)..... | 29 |
| Slika 19. Sučelje softvera UmtPlus prilikom snimanje forvardera (prekidi)..... | 29 |
| Slika 20. Tablet Alcatel plus 10..... | 29 |
| Slika 21. Laserski daljinomjer Trupulse 200..... | 29 |
| Slika 22. Tovar tehničke oblovine..... | 31 |
| Slika 23. Tovar višemetarskog prostornog drva..... | 31 |
| Slika 24. Ovisnost utroška vremena sječe o prsnom promjeru stabala..... | 36 |
| Slika 25. Ovisnost utroška vremena izrade do krošnje o prsnom promjeru stabla..... | 36 |
| Slika 26. Ovisnost utroška vremena izrade krošnje o prsnom promjeru stabala..... | 36 |
| Slika 27. Ovisnost neto obujma stabla o prsnom promjeru stabla..... | 37 |
| Slika 28. Produktivnost strojne sječe i izrade iskazana brojem stabala po satu..... | 39 |
| Slika 29. Produktivnost strojne sječe i izrade iskazana neto obujmom po satu..... | 39 |
| Slika 30. Jedinični troškovi strojne sječe i izrade iskazani po 1m ³ neto obujma drvnih sortimenata..... | 40 |
| Slika 31. Ovisnost utroška vremena vožnje neopterećenog forvardera po pomoćnom stovarištu o udaljenosti vožnje..... | 44 |
| Slika 32. Ovisnost utroška vremena vožnje opterećenog forvardera po pomoćnom stovarištu o udaljenosti vožnje..... | 44 |
| Slika 33. Ovisnost utroška vremena vožnje neopterećenog forvardera po sječini o udaljenosti vožnje..... | 45 |
| Slika 34. Ovisnost utroška vremena vožnje opterećenog forvardera po sječini o udaljenosti vožnje..... | 45 |

| | |
|---|----|
| Slika 35. Ovisnost utroška vremena utovara o broju komada u tovaru..... | 46 |
| Slika 36. Ovisnost utroška vremena istovara o broju komada u tovaru..... | 48 |
| Slika 37. Produktivnost forvardera iskazana brojem turnusa po satu stroja..... | 50 |
| Slika 38. Produktivnost forvardera iskazana obujmom izvezenih sortimenata po satu..... | 50 |
| Slika 39. Jedinični troškovi izvoženja drvnih sortimenata u ovisnosti o srednjoj udaljenosti izvoženja..... | 51 |

POPIS TABLICA:

| | |
|--|----|
| Tablica 1. Struktura efektivnog vremena pri strojnoj sječi i izradi | 33 |
| Tablica 2. Struktura općih vremena pri strojnoj sječi i izradi | 34 |
| Tablica 3. Struktura dodatnog vremena pri strojnoj sječi i izradi | 35 |
| Tablica 4. Struktura efektivnog vremena pri izvoženju drvnih sortimenata forvarderom | 41 |
| Tablica 5. Struktura općih vremena pri izvoženju drvnih sortimenata forvarderom... | 42 |
| Tablica 6. Struktura dodatnog vremena pri izvoženju drvnih sortimenata forvarderom | 43 |
| Tablica 7. Usporedba proizvodnosti i jediničnih troškova ručno - strojne i strojne sječe i izrade za odsjek 14 b | 52 |
| Tablica 8. Usporedba proizvodnosti i jediničnih troškova ručno - strojne i strojne sječe i izrade za odsjek 14 c | 52 |
| Tablica 9. Usporedba proizvodnosti i jediničnih troškova privlačenja drva skiderom i izvoženja drva forvarderom za odsjek 14 b | 53 |
| Tablica 10. Usporedba proizvodnosti i jediničnih troškova privlačenja drva skiderom i izvoženja drva forvarderom za odsjek 14 c..... | 54 |

SADRŽAJ:

| | |
|---|-----------|
| 1 UVOD | 1 |
| 2. PROBLEMATIKA I CILJ ISTRAŽIVANJA..... | 3 |
| 2.1 Problematika istraživanja..... | 3 |
| 2.2 Cilj istraživanja | 7 |
| 3 MJESTO I MATERIJALI ISTRAŽIVANJA | 8 |
| 3.1 Mjesto istraživanja..... | 8 |
| 3.1.1 Odsjek 14 b, GJ »Bjelovarska Bilogora« | 9 |
| 3.1.2 Odsjek 14 c, GJ »Bjelovarska Bilogora« | 9 |
| 3.1.3 Način i struktura doznake..... | 11 |
| 3.1.4 Način rada harvetsera | 13 |
| 3.1.5 Način rada forvardera | 13 |
| 3.1.6 Pomoćno stovarište..... | 14 |
| 3.2 Materijali istraživanja | 16 |
| 3.2.1 Istraživani strojevi..... | 16 |
| 3.2.1.1 Harvester | 16 |
| 3.2.1.2 Tehničke značajke harvestera Timberjack 1470D | 17 |
| 3.2.1.3 Forvarder | 19 |
| 3.2.1.4 Tehničke značajke forvardera Timberjack 1710D..... | 20 |
| 4 METODE ISTRAŽIVANJA | 22 |
| 4.1 Studij rada i vremena | 22 |
| 4.2 Pripremni radovi | 23 |
| 4.3 Postupak snimanja | 25 |
| 4.3.1 Snimanje harvestera | 25 |
| 4.3.2 Snimanje forvardera..... | 27 |
| 4.4 Mjerenje oblovine na pomoćnom stovarištu | 30 |
| 4.5 Obrada podataka i prikaz rezultata..... | 32 |

| | |
|---|-----------|
| 5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA..... | 33 |
| 5.1 Proizvodnost mehanizirane sječe i izrade | 33 |
| 5.1.1 Struktura utrošenih vremena | 33 |
| 5.1.2 Varijabilna vremena | 35 |
| 5.1.3 Neto obujam drvnih sortimenata | 37 |
| 5.1.4 Proizvodnost i troškovi harvesterata pri sječi i izradi | 38 |
| 5.2 Proizvodnost forvardera prilikom izvoženja drvnih sortimenata..... | 41 |
| 5.2.1 Struktura utrošenih vremena | 41 |
| 5.2.2 Ovisnost utroška vremena vožnje o udaljenosti vožnji | 44 |
| 5.2.2.1 Ovisnost utroška vremena vožnje neopterećenog i opterećenog forvardera po pomoćnom stovarištu o udaljenosti vožnje | 44 |
| 5.2.2.2 Ovisnost utroška vremena vožnje neopterećenog i opterećenog forvardera po sječini | 44 |
| 5.2.2.3 Ovisnost utroška vremena utovara i istovara o broju komada u tovaru | 45 |
| 5.2.2.4 Tovari..... | 49 |
| 5.2.2.5 Proizvodnost i troškovi forvardera pri izvoženju drvnih sortimenata.... | 49 |
| 6. USPOREDBA SKUPNOG RADA HARVESTERATA I FORVARDERATA S KLASIČNIM NAČINOM PRIDOBIVANJA DRVA | 52 |
| 6.1 Usporedba ručno strojne i strojne sječe i izrade..... | 52 |
| 6.2 Usporedba privlačenje drvnih sortimenata skiderom i izvoženja drva forvarderom | 53 |
| 7. ZAKLJUČAK..... | 55 |
| 8. LITERATURA | 56 |

Predgovor:

Ovaj rad je izrađen na Zavodu za šumarske tehnike i tehnologije Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Zahvaljujem se svom mentoru prof .dr .sc. Dubravku Horvatu na predloženoj temi za izradu ovog diplomskog rada, jer sam proučavanjem i pisanjem o ovoj tematici dobio novi pogled na budućnost u šumarstvu.

Posebnu zahvalnost dugujem dr. sc. Dinku Vusiću na mnogim savjetima i nesebično pruženoj pomoći prilikom izrade ovog rada.

I na kraju najveću zahvalu dugujem mojoj obitelji koja mi je omogućila ovo studiranje i pružila potporu pri donošenju svake moje odluke.

Marijo Plantak

1 UVOD

Razvoj tehničke sastavnice hrvatskog šumarstva, kao i ostalih, započinje prije gotovo dva i pol stoljeća s razvojem šumarstva kao struke, odnosno ustrojem prvih organiziranih oblika šumarske službe na području današnje Hrvatske (Matić 2011).

Poseban pečat tomu razvoju daje uvođenje mehaniziranih sredstava u gospodarenje šumama 50-ih godina prošloga stoljeća kada su u sječi i izradbi uporabljene prve motorne pile kojima su rukovala dvojica radnika (one su se tada pokazale kao neprikladne za rad pa su potpuno uklonjene iz proizvodnje). Tek desetljeće poslije (1960–1961) nastupio je drugi pokušaj mehaniziranja sječe i izrade motornim pilama (kojima radi jedan radnik), s tim da je ovaj puta uspješno proveden te traje sve do današnjih dana, samo se u proizvodnju uvode poboljšane i suvremenije inačice tih strojeva (Tomašić 2012).

Početak 21. stoljeća u Hrvatsku se uvodi strojna sječa i izrada drva harvesterom. Za sada se u Hrvatskoj nalazi nekoliko harvestera koji su u vlasništvu privatnih poduzetnika (Štimac 2017).

Pridobivanje drva harvesterom je potpuno mehanizirano. Sustav mehaniziranog pridobivanja drva zasniva se na grupnom radu jednozahvatnog harvestera i forvardera usklađenih mogućnosti. Harvester vrši sječu stabala, kresanje grana, trupljenje debla, mjerenje sortimenata i njihovo slaganje u hrpe koje će forvarder utovariti i izvesti do pomoćnog stovarišta (Krpan i Poršinsky 2002).

Kada je riječ o privlačenju drva, korištenje visoko mehaniziranih strojeva u hrvatskom šumarstvu ovdje je nastupilo dosta ranije.

Uvođenje mehanizacije pri privlačenju oblog drva započinje pedesetih godina u razvijenim zemljama dok se kod nas uvodi šezdesetih godina dvadesetog stoljeća. U početku su se koristili poljoprivredni traktori s jednostavnim prihvatnim napravama. Kasnije su se takvi traktori dodatno opremali zaštitnim konstrukcijama i šumskim vitlima te se nazivaju adaptirani poljoprivredni traktori. Adaptirani poljoprivredni traktori imali su nekoliko značajnih nedostataka kao što su velike dimenzije, veliki krug okretanja, nezadovoljavajuća uzdužna stabilnost te veliko opterećenje stražnje osovine. Na temelju uočenih nedostataka razvijaju se specijalizirani šumski zglobni traktori, odnosno skideri i forvarderi (Šušnjar 2005).

Od 1979. godine na privlačenju se uvodi veći broj zglobnih traktora i traktora

gusjeničara (Krpan 1984).

Prvi forvarderi u Hrvatskoj primjenjuju se od 1971. godine i to dva stroja tipa Kockums 836B (Slabak 1983).

Pandur i dr. (2014) u svom radu navode da Krpan (2000) daje podatak da su u to vrijeme u hrvatskim šumama radila 32 forvardera, dok Poršinsky (2005) daje podatak da se krajem 2004. u vlasništvu trgovačkog društva »Hrvatske šume« d.o.o. nalazi 25 forvardera te procjenjuje da privatni poduzetnici imaju još 40 forvardera.

Krpan i Poršinsky (2004) citirajući Anderssona (1994), Richardsona i Makkonena (1994) navode kako u odnosu na ručno-strojnu sječu i izradbu stabala te privlačenje drva zglobnim traktorima vučom drva po tlu, skupni rad harvesterom i forvarderom spada u okolišno prihvatljivije tehnologije proizvodnje obloga drva.

Prilikom prvih pokusa primjene harvestera u našim šumama zaključeno je da postoje ograničenja koja su rezultat pretežno prirodnog podrijetla naših šuma, vrsta drveća i dimenzije stabala, makro i mikro reljefa te metoda uzgajanja i uređivanja šuma (Krpan i Poršinsky 2001). Činjenica je da se u Republici Hrvatskoj potpuno mehanizirani sustavi pridobivanja drva rjeđe koriste jer se strojna sječa koristi prvenstveno u šumskim kulturama i plantažama, a u svim prirodnim šumama motorna pila i dalje je glavno sredstvo rada pri sječi i izradi (Vusić i dr. 2012).

Problem s kojim se hrvatsko šumarstvo susreće u posljednje vrijeme je nedostatak radnika sjekača, koji je uzrokovan u najvećoj mjeri odlaskom radno sposobnog stanovništva van granica Republike Hrvatske u potrazi za boljim uvjetima rada. Iako je posao radnika sjekača jedan od najbolje plaćenih fizičkih poslova u Hrvatskoj ako se promatraju zaposlenici »Hrvatskih šuma« d.o.o. mladi ljudi se rijetko odlučuje za rad u šumarstvu. Povećanjem starosne dobi radnika sjekača koji trenutno rade u hrvatskom šumarstvu, a nedostatkom nove mlade radne snage dolazi se do toga da će jednostavno biti nemoguće realizirati propisani etat u narednim godinama (Vincenc 2017).

Jedan od načina koji se nameće kao rješenje gorućeg problema nedostatka radnika sjekača u hrvatskom šumarstvu je povećanje upotrebe strojne sječe i izrade kojom bi se u jednom dijelu nadomjestio nedostatak radnika sjekača.

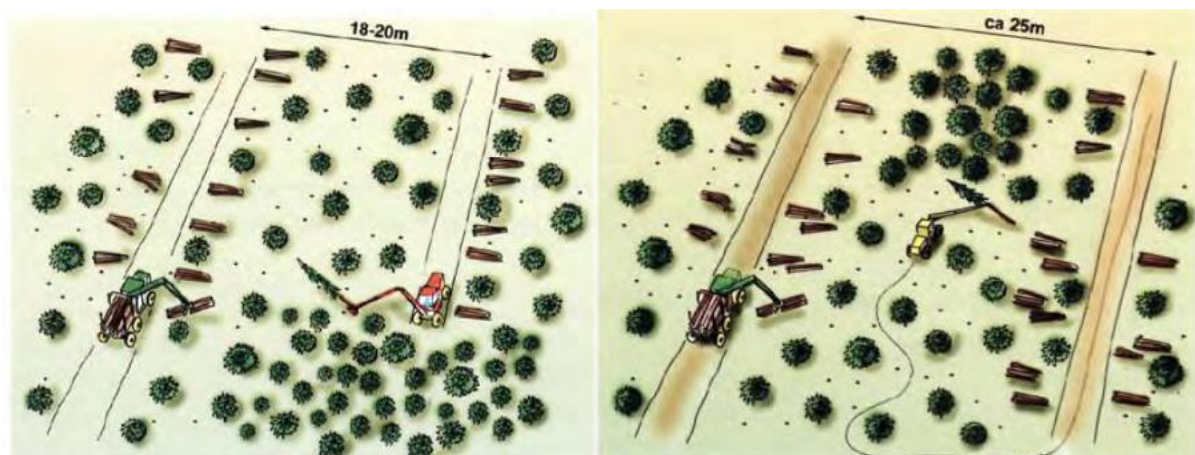
2 PROBLEMATIKA I CILJ ISTRAŽIVANJA

2.1 Problematika istraživanja

Mehanizirani sustav pridobivanja kratkog drva, odnosno skupni rad harvesterera i forvardera predstavlja vrhunsku tehnologiju pridobivanja drva određenu sortimentnom metodom izradbe drva, koja obuhvaća zaokruženu cjelinu kojom se obavlja proizvodnja kratke oblovine od sječe i izradbe do privlačenja, a u određenim slučajevima forvarderom možemo obaviti i daljinski transport drva (Krpan i Poršinsky 2001).

Pri sječi stabala harvesterom provodi se kontrolirano obaranje stabla što dovodi do smanjivanja oštećivanja preostalih stabala u sastojini u odnosu na ručno – strojnu sječu i izradu (Poršinsky i dr. 2004). Kod čistih sječa (i dovršnog sijeka u oplodnim sječama) harvester se kreće slobodno po sječini, dok druge vrste sječa zahtijevaju infrastrukturu. Vlake širine 3,5 do 4 metra harvester si tijekom rada prosijeca na određenim međusobnim razmacima (Sambo 1999).

Uobičajeni međusobni razmak između vlaka je 20 m, pri kojem harvesteri čiji je dohvat hidraulične ruke 10 m mogu dosegnuti i srušiti sva stabla. Kod ovakvog načina rada, harvester okresane grane odlaže pred kotače vozila čime poboljšava uvjete nosivosti podloge, odnosno smanjuje oštećenje tla na vlakama. Ukoliko je razmak vlaka veći tada se rad harvesterera kombinira s ručno-strojnom sječom ili se pri radu harvester kreće po površini između vlaka (Krpan i Poršinsky 2004).



Slika 1. Sheme rada harvesterera i forvardera u skupnom radu (Izvor: Krpan i Poršinsky 2004)

Harvesteri su ponajprije predviđeni za uporabu u šumama četinjača (Bojanin i Krpan 1997). Krpan i Poršinsky (2002) navode da se u Hrvatskoj harvester može primjenjivati u proredama, u kulturama četinjača te bjelogoričnih plantaža (meke listače) na blagim nagibima i na tlu sa dobrim mehaničkim značajkama.

Učinkovitost harvestera kreće se u širokom rasponu od 5,5 do 30 m³ po pogonskom satu rada (Bensch i Urbaniak 2001).

Na učinak harvestera djeluje sječna gustoća tj. broj doznačenih stabala po jedinici površine. Osim sječne gustoće na učinak harvestera i troškove snažno djeluje zakon obujma komada, jer se njegov učinak s porastom prsnog promjera sječnog stabla, odnosno obujma stabla povećava uz istodobno smanjivanje troškova rada (Krpan i Poršinsky 2001).

Najveći promjer koji sječna glava može obuhvatiti (70 cm) ograničava uporabu harvestera pri obaranju stabala većih dimenzija (Bručić 1997), dok građa stabala listača te reljefne prilike djeluju na smanjenje učinkovitosti (Krpan 2000).

Krpan i Poršinsky (2004) citirajući Peltolu i Papunena (2001) navode kako na proizvodnost harvestera uglavnom utječu uvjeti i metode rada, uvježbanost operatera, konačni proizvod, dok sječna gustoća u slučaju čiste sječe pogoduje djelotvornosti harvestera za razliku od proreda kod kojih je sječna gustoća znatno manja. Kao prilog tome, Krpan i Poršinsky (2004) istražujući djelotvornost strojne sječe i izrade u čistoj sječi kulture vrbe navode kako je harvester ostvario učinak od 17,5 m³/h. Prsni promjer srednjeg sječnog stabla iznosio je 25 cm, dok je sječna gustoća bila 633 stabla po hektaru.

Danilović i dr. (2014) navode kako proizvodnost harvestera pri čistoj sječi topolovih plantaža ovisi o metodi rada i prosječno se kreće u rasponu od 30,3 m³/h do 34,7 m³/h, za srednji prsni promjer stabala 40,4 cm.

Pored toga harvesteri se također primjenjuju i u bukovim sastojinama za sječu stabla do prsnoga promjera 24 cm (Forbrig i Encke 1996). Sionneau i Cuchet (2001) iznose podatak kako se u Francuskoj godišnje strojnom sječom posječe i izradi 350.000 m³ bjelogorice. Isti autori također navode kako je harvesterom moguće izvršiti sječu stabala do prsnog promjera 40 cm, dok je rad harvestera moguć na nagibu do 30 %. Proučavajući proizvodnost navode kako se proizvodnost prilikom sječe bjelogorice kreće u širokim rasponima od 3,8 m³/h do 12 m³/h.

Prema Forbirgu i Enckeu (2004) harvesteri se u Njemačkoj primjenjuju u prorednim i čistim sječama bjelogorice. Isti autori navode primjer proizvodnosti harvestera prilikom sječe i izrade u proredi bukove sastojine starosti 53 godine koja iznosi od 9 m³ do 11 m³ po radnom satu stroja. Prsni promjeri stabala koja su posječena i izrađena kretali su se u rasponu od 18 cm do 24 cm. Proizvodnost je forvardera koji je radio u istoj sastojini iznosila 11 m³ po radnom satu stroja.

Slugen i dr. (2014) navode kako proizvodnost harvestera John Deere 1070D u prorednoj sastojini hrasta kitnjaka starosti 75 godina i srednjeg promjera stabala 27 cm iznosi 4,98 m³/h, također navode kako je ovako mala proizvodnost rezultat čestih prekida rada, koji su posljedica nepoštivanja tehnoloških procesa i korištenja harvestera koji je neadekvatno održavan. Isti autori navode kako je proizvodnost harvestera prilikom sječe i izrade u bukovoj sastojini iste starosti i srednjeg promjera stabla 23 cm iznosila 5,35 m³/h. Na produktivnost u istraživanoj bukovoj sastojini najviše su utjecala stabla s brojnim debelim granama, kao i prisutnost stabala s rašljama.

Forvarderi su specijalna šumska vozila koja se koriste za prikupljanje i izvoženje drva od mjesta sječe i izrade do pomoćnog stovarišta. Izvorno su namijenjeni za korištenje u sortimentnoj metodi izradbe drva, odnosno podrazumijeva se da su svi sortimenti približno istih duljina (Stankić 2010). Bojanin i Krpan (1997) navode kako bi duljina sortimenata koji se izvoze forvarderom trebala biti od 4 do 5 m.

Poršinsky (2005) navodi kako se forvarderi u Hrvatskoj ponajprije koriste za izvoženje drva glavnog prihoda (tijekom razdoblja zimske sječe), za vrijeme razdoblja ljetne sječe koriste se za izvoženje drva prethodnog prihoda (prorede) te prilikom čistih sječa topola, i sječa jasena na pruge te sanitarnih sječa. Isti autor navodi kako se forvarder u sječini kreće po izvoznim pravcima koji nakon višekratnog prolaska poprime izgled traktorskih vlaka.

Kod istovara drva na pomoćnom stovarištu, forvarderom se drvo slaže u složajevu s obje strane šumske ceste, visina složajeva dostiže 3 do 4 m i na taj način se smanjuje zahtjev za velikom površinom stovarišta, a ujedno se vrši razvrstavanje prema vrstama drveća i razredima kakvoće (Krpan 1992, Poršinsky 2005).

Citirajući niz autora (Richardson i Makkonen 1994, Krpan i Ivanović 1994, Krpan i Poršinsky 1997, Poršinsky 2000) Poršinsky (2005) navodi kako proizvodnost forvardera ovisi o međudjelovanju niza utjecajnih čimbenika kao što su udaljenost

izvoženja drva, vrsta drva i dimenzije izrađene oblovine, sječna gustoća, nagib terena, površinske prepreke, uvjeti nosivosti podloge, otvorenost sječine sekundarnom mrežom šumskih prometnica, potreba za razvrstavanjem sortimenata na pomoćnome stovarištu, vještina rukovatelja te same tehničko-tehnološke značajke vozila i dizalice.

Na temelju pozitivnih iskustava iz drugih zemalja, ali i na temelju do sada provedenih istraživanja primjene strojne sječe i izrade u sastojinama tvrdih listača u Republici Hrvatskoj treba nastaviti s daljnjim istraživanjima, kako bi se došlo do najboljih rezultata u smislu pridobivanja drva strojevima i metodama rada koje ispunjavaju 5E (ekološke, ergonomske, energijske, estetske i ekonomske) zahtjeve.

2.2 Cilj istraživanja

Cilj ovog istraživanja je utvrditi proizvodnost skupnoga rada harvesteri i forvarderi metodama studija rada i vremena u prorednoj sječi bjelogorične mješovite sastojine (obične bukve, običnog graba i hrasta kitnjaka) u gospodarskoj jedinici »Bjelovarska Bilogora« na području Šumarije Bjelovar, UŠP Bjelovar.

Na temelju dobivenih podataka utvrditi će se struktura utrošenog vremena te dnevni učinak harvesteri i forvarderi. Na temelju dnevnih učinaka izračunat će se i jedinični troškovi ova dva stroja te izvršiti usporedba skupnog rada harvesteri i forvarderi s klasičnim sustavom pridobivanja drva (odnosno ručno strojnom sječom i izradom te privlačenjem drva skiderima).

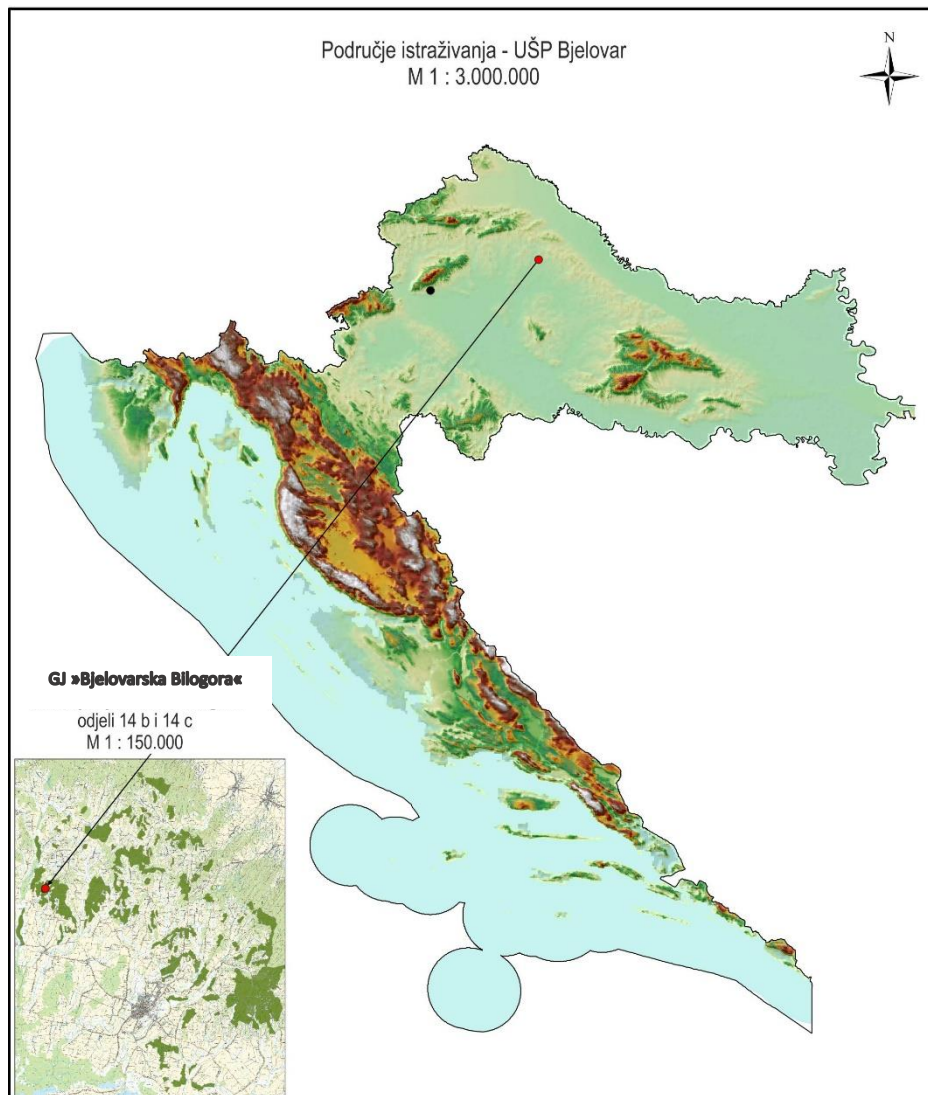


Slika 2. Skupni rad harvesteri i forvarderi u prorednoj sječi listača

3 MJESTO I MATERIJALI ISTRAŽIVANJA

3.1 Mjesto istraživanja

Istraživanje primjene sustava harvester-forvarder za prorede listača provedeno je na području UŠP Bjelovar, Šumarije Bjelovar u gospodarskoj jedinici »Bjelovarska Bilogora«. UŠP Bjelovar jedna je od većih uprava šuma u sklopu poduzeća Hrvatske šume d.o.o. Zagreb i sastoji se od 15 šumarija i jedne radne jedinice: Bjelovar, Čazma, Daruvar, Đulovac, Garešnica, Grubišno polje, Ivanska, Lipik, Pakrac, Sirač, Suhopolje, Veliki Grđevac, Velika Pisanica, Virovitica i Vrbovec te radna jedinica Prijevoz, mehanizacija i graditeljstvo. Unutar tih 15 šumarija postoje 34 gospodarske jedinice koje prostiru na području 7 županija. Ukupna površina UŠP Bjelovar je 130.750 ha.



Slika 3. GJ »Bjelovarska Bilogora«, odsjeci 14 b i 14 c na karti Republike Hrvatske

3.1.1 Odsjek 14 b, GJ »Bjelovarska Bilogora«

Prema podacima gospodarske osnove iz 2013. godine, odsjek 14 b je površine 18,28 ha, uređajnog razreda običnog graba starosti 79 godina na II bonitetu. Propisana ophodnja iznosi 70 godina. Odsjek se nalazi na nadmorskoj visini 100 m, nagiba 3–9 %, ekspozicija je zapadna. Tlo je lesivirano i na njemu se razvila fitocenoza šume lužnjaka i običnog graba s bukvom. Sklop je potpun, a obrast iznosi 1,23. Drvna zaliha iznosi 291,58 m³/ha, odnosno 5330 m³ u odsjeku, od čega 18,16 m³/ha čini hrast lužnjak, 3,72 m³/ha hrast kitnjak, 17,34 m³/ha obična bukva, 243,71 m³/ha obični grab, 0,33 m³/ha OTB i 8,32 m³/ha crna joha. Prema smjesi najzastupljeniji je obični grab s 84% zatim slijedi hrast lužnjak 6%, hrast kitnjak 1%, obična bukva 6% i crna joha 3%. Broj stabala iznosi 784 po ha dok temeljnica iznosi 28,88 m²/ha. Srednje plošno stablo je promjera 21,60 cm, dok je godišnji tečajni prirast 7,49 m³/ha, odnosno 137 m³ u odsjeku.


Prema propisu osnove gospodarenja za prvo polurazdoblje treba obaviti proredu intenziteta 11,67 %, odnosno 34,03 m³/ha.

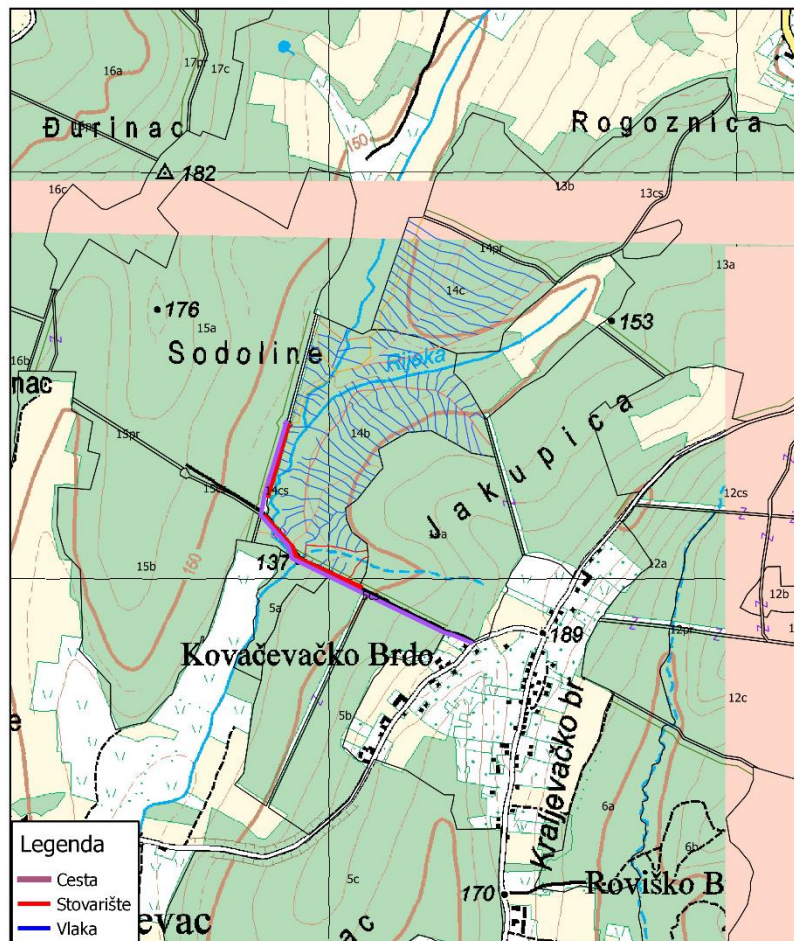
Propisana je sječa samo običnog graba u intenzitetu 32 m³/ha i obične bukve 2,02 m³/ha.

3.1.2 Odsjek 14 c, GJ »Bjelovarska Bilogora«

Prema podacima iz gospodarske osnove odsjek 14 c je površine 9,07 ha, uređajnog razreda bukve starosti 79 godina na I bonitetu. Propisana ophodnja iznosi 100 godina. Odsjek 14 c se nalazi na nadmorskoj visini 150 - 175 m, prosječni nagib iznosi 3–9 %, a ekspozicija je jugo-zapadna. Tlo je lesivirano, a fitocenzu predstavlja submontanska bukova šuma s trepavičastim šašem. Sklop je potpun, dok obrast iznosi 1,06. Drvna zaliha iznosi 405,84 m³/ha, odnosno 3681 m³ u odsjeku, od toga hrasta lužnjaka 7,94 m³/ha, hrasta kitnjaka 16,54 m³/ha, obične bukve 201,76 m³/ha i običnog graba 179,60 m³/ha. Prema smjesi najzastupljenija je obična bukva s 50 %, obični grab 44 %, hrast kitnjak 4 % i hrast lužnjak 2 %. Broj stabala je 540 po ha, a temeljnica iznosi 30,98 m². Srednje plošno stablo je promjera 30,98 cm, dok je godišnji tečajni prirast 9,70 m³/ha odnosno 88 m³ u odsjeku.

Prema propisu osnove gospodarenja za prvo polurazdoblje treba obaviti proredu intenziteta 11,08 %, odnosno 44,98 m³/ha, od toga obične bukve 19,96 m³/ha i običnog graba 25,03 m³/ha.

 **RADOVI PRIDOBIVANJA DRVA**
G.J. BJELOVARSKA BILOGORA
ODJEL/ODSJEK 14 b, c **MJERILO 1 : 10000**



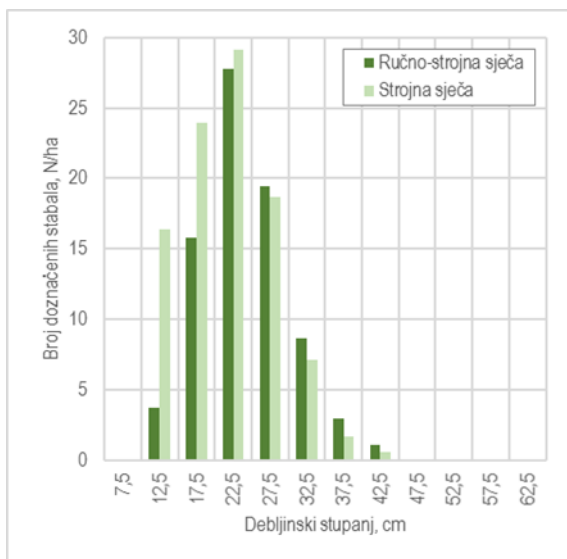
Slika 4. Odsjeci 14 b i 14 c, GJ »Bjelovarska Bilogora«

3.1.3 Način i struktura doznake

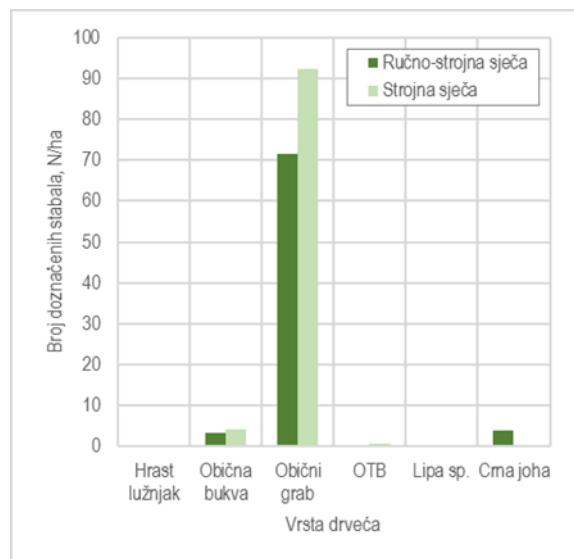
Nakon redovne doznake, provedeni su dodatni pripremni radovi koji su provedeni tijekom ljeta i jeseni 2016. godine, a uključivali su obilježavanje vlaka u sječini i korekciju doznake stabala s ciljem omogućivanja kretnosti strojeva i dohvata stabala harvesterskom glavom («harvesterske pruge» odgovarajućeg razmaka i prostornog rasporeda).

U 14 b odsjeku prilikom doznake za ručno-strojnu sječu i izradu ukupno je doznačeno 1455 stabala ukupnog obujma 741,81 m³. Naknadno je doznakom stabala na »harvesterskim prugama« i korekcijom prethodne doznake dostignut broj od 1782 doznačenih stabla za strojnu sječu ukupnog obujma 731,24 m³. Distribucija doznačenih stabala i doznačenog obujma po debljinskim stupnjevima i vrstama drveća obrađena je i prikazana u histogramskom obliku (slika 5). Prsni promjer srednje doznačenog stabla iznosi 21,7 cm.

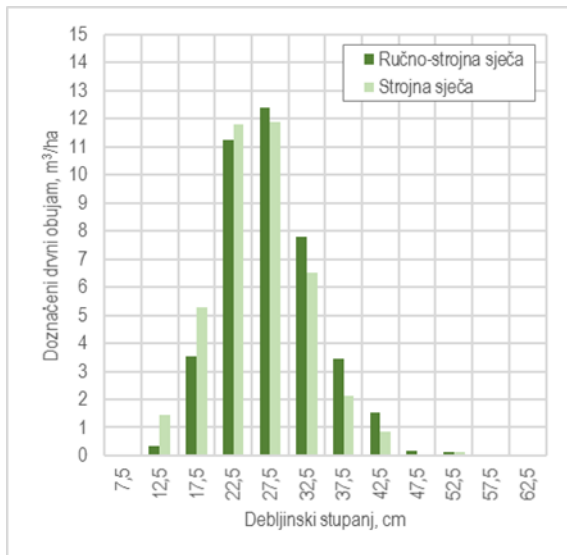
Prilikom doznake u 14 c odsjeku za ručno-strojnu sječu i izradu ukupno su doznačena 423 stabala ukupnog obujma 407,02 m³. Naknadno je doznakom stabala na vlakama i korekcijom prethodne doznake dostignut broj od 559 doznačenih stabla za strojnu sječu ukupnog obujma 446,3 m³. Prsni promjer srednje doznačenog stabla iznosi 26,4 cm. Distribucije doznačenih stabala prikazane su u histogramskom obliku (slika 6).



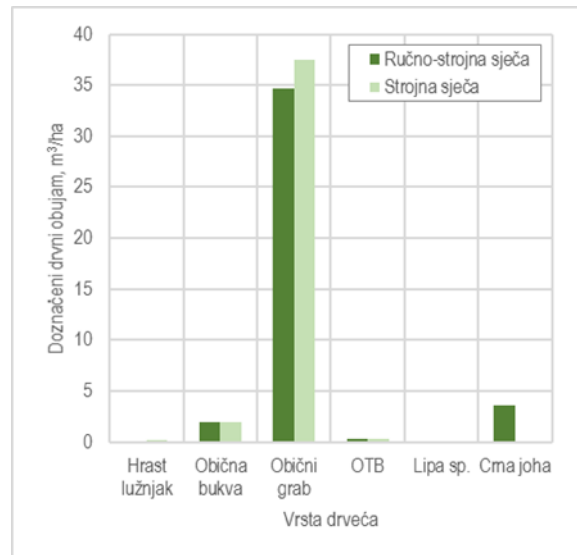
Slika 5. a) Distribucija doznačenih stabala po debljinskim stupnjevima za odsjek 14 b



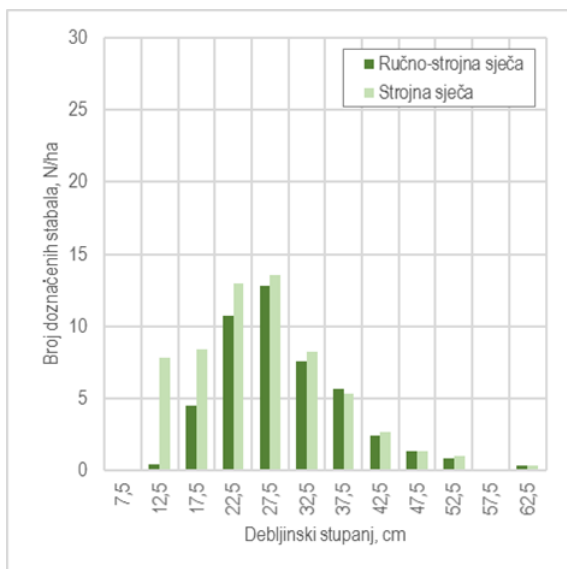
Slika 5. b) Distribucija doznačenih stabala po vrstama drveća za odsjek 14 b



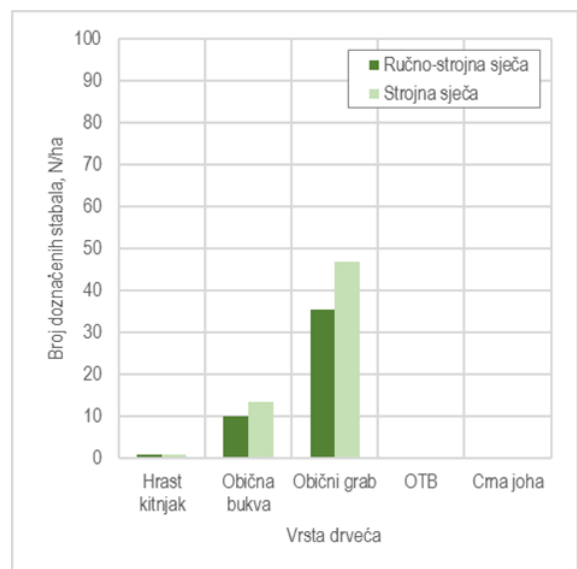
Slika 5. c) Distribucija doznačenog obujma po debljinskim stupnjevima za odsjek 14 b



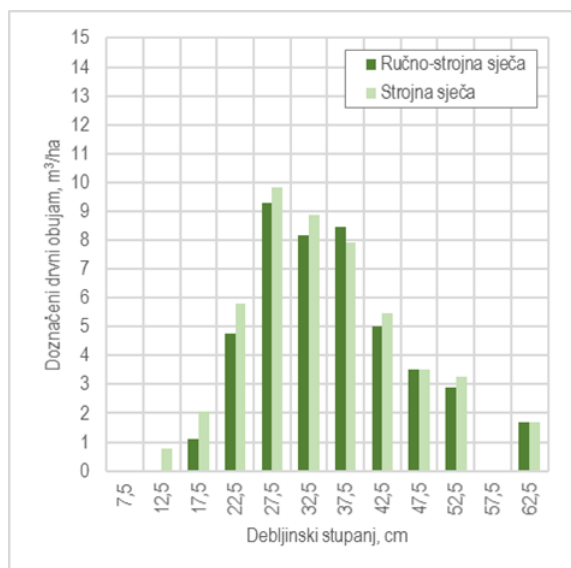
Slika 5. d) Distribucija doznačenog obujma po vrstama drveća za odsjek 14 b



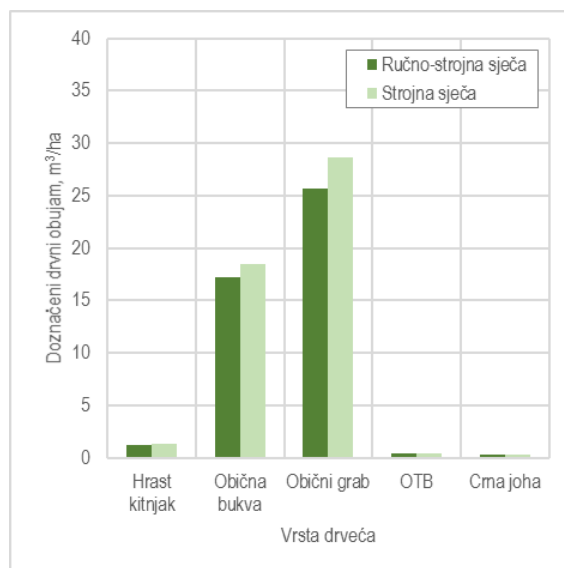
Slika 6. a) Distribucija doznačenih stabala po debljinskim stupnjevima za odsjek 14 c



Slika 6. b) Distribucija doznačenih stabala po vrstama drveća za odsjek 14 c



Slika 6. c) Distribucija doznačenog obujma po debljinskim stupnjevima za odsjek 14 c



Slika 6. d) Distribucija doznačenog obujma po vrstama drveća za odsjek 14 c

3.1.4 Način rada harvesterera

Operater harvesterera je svaki radni dan započinjao pregledom stroja na pomoćnom stovarištu. Pregled stroja je obuhvaćao opći pregled stroja te provjeru razine goriva i ulja i njihovo nadolijevanje ako je to bilo potrebno. Također prije samog kretanja harvesterera operater je zagrijao stroj u trajanju od nekoliko minuta. Do sječine harvester se kretao traktorskim vlakama. Sječa stabala se izvodila na način da se harvesterom glavom obuhvatilo deblo debećeg stabla (što je moguće bliže tlu) nakon toga se izvodilo potpiljivanje te pad stabla. Nakon sječe slijedi izrada srušenog stabla, i to na način da se tehnička oblovina izrađivala sukladno propisanim normama, odnosno njihove duljine su bile određene razredima kakvoće. Višemetarsko prostorno drvo je izrađivano na standardne duljine od 4 m. Izrađene drvene sortimente harvester je slagao pored harvesterke pruge sa koje je obavljao sječu i izradu, dok je ostatak neizrađene krošnje (sitnu granjevinu odlagao pod kotače.

3.1.5 Način rada forvardera

Svakog radnog dana strojar bi najprije pregledao forvarder na pomoćnom stovarištu. Nakon toga je slijedila vožnja koja se odvijala po pomoćnom stovarištu, vlakama te »harvesterkim prugama«. Izvoženje drvnih sortimenata je obavljano na način da su tehnička oblovina i višemetarsko prostorno drvo izvažani zasebno.

3.1.6 Pomoćno stovarište

Za pomoćno stovarište korištena je šumska cesta na kraju koje je bila okretaljka koja je služila za okretanje kamiona koji su odvozili drvo s pomoćnog stovarišta, ali je također služila kao i mjesto za parkiranje strojeva na kraju radnog dana. Drvni sortimenti odlagani su s obje strane pomoćnog stovarišta, i to višemetarsko prostorno drvo s jedne strane, a tehnička oblovina (furnirski i pilanski trupci) s druge strane. Osim odvajanja drva na višemetarsko prostorno drvo i tehničku oblovinu na pomoćnom stovarištu nije vršeno dodatno odvajanje drva npr. prema vrstama drveća. Pomoćno stovarište se protezalo na duljini od 120 m iz razloga što se primanje drvnih sortimenata također odvijalo na pomoćnom stovarištu te je tehnička oblovina bila razvučena s jedne strane pomoćnog stovarišta i na taj način je poslovođi bila olakšana izmjera tehničke oblovine te njeno zaprimanje. Višemetarsko prostorno drvo je za razliku od tehničke oblovine bilo uhrpano te je na taj način prostor pomoćnog stovarišta bio najbolje iskorišten. Otprema drvnih sortimenata vršila se gotovo svakodnevno, osobito višemetarskog prostornog drva koje je voženo kamionskim skupovima, ali i traktorom s poluprikolicom opremljenom dizalicom. Zadnjega dana snimanja formirano je novo pomoćno stovarište u duljini od 30 m, također uz šumsku cestu, radi smanjenja udaljenosti izvoženja drvnih sortimenata iz 14 b odsjeka.



Slika 7. Pomoćno stovarište



Slika 8. Istovar višemetarskog prostornog drva



Slika 9. Istovar tehničke oblovine

3.2 Materijali istraživanja

3.2.1 Istraživani strojevi

3.2.1.1 Harvester

Harvesteri su vozila za kretanje po bespuću, čija je osnovna namjena obaranje stabala i izradba kratkog drva kraj panja (Drushka i Kontinen 1997). Nekoć su se proizvodili kao višezahvatni strojevi, a danas isključivo kao jednozahvatni te kao takvi izvode sječu stabala, kresanje grana, trupljenje debla, mjerenje sortimenata i njihovo slaganje u hrpe (Kellog i dr 1993).

Harvester je zglobno vozilo koji se sastoji od prednjeg i stražnjeg okvira s mogućnošću gibanja u vodoravnoj i uspravnoj ravnini. Na stražnjem okviru nalazi se pogonski motor i transmisija, dok se na prednjem okviru nalazi kabina i hidraulična dizalica s montiranom sječnom glavom. Upravljanje se odvija preko zgloba, odnosno dva hidraulična cilindra omogućavaju promjenu kuta prednjeg i stražnjeg dijela vozila u vodoravnoj ravnini. Prema izvedbi voznoga sustava, harvestere dijelimo na gusjenične i kotačne, a prema broju kotača na četverokotačne, šesterokotačne i osmerokotačne harvestere (Štimac 2017). Kod harvestera s više od četiri kotača, na prednju osovinu se ugrađuje bogi most, kod kojega su po dva kotača smještena jedan blizu drugoga, u tzv. tandem rasporedu. Primjena bogi osovina omogućava amortiziranje vozila pri kretanju po površinskim preprekama bespuća, ali i njegovu povećanu stabilnost prilikom obaranja stabla (Krpan i Poršinsky 2001).



Slika 10. Sastavni dijelovi harvestera (Izvor: Granić 2013)

Računalni sustav harvestera kontrolira rad sječne glave, izmjeru stabla, donošenje odluke o mjestu trupljenja u svrhu najveće iskoristivosti debla, odnosno odluke o izradbi sortimenata zadanih dimenzija prema zahtjevima kupaca (Krpan 2000).

Glavni nedostatak harvestera je njegova složenost zbog koje vozači moraju biti vrhunski obučeni. Obuka vozača je skupa i može trajati do dvije godine, dok vozač u cijelosti ne ovlada rukovanjem strojem. Ipak, kroz nekoliko mjeseci većina vozača stječe zadovoljavajuća znanja i vještine (Hoss 2001).

3.2.1.2 Tehničke značajke harvestera Timberjack 1470D

Jednozahvatni harvester Timberjack 1470D šesterokotačno je vozilo (6 WD) s bogi sustavom na prednjoj osovini, njegova namjena je kretanje po bespuću te sječa i izrada drvnih sortimenata. Predstavnik je kategorije velikih harvestera širokog raspona primjene.



Slika 11. Harvester Timberjack 1470D

Duljina harvestera Timberjack 1470D iznosi 7700 mm, visina mu je 3830 mm. Širina harvestera iznosi 3000 mm, dok mu je masa 18.800 kg.

Timberjack 1470D pokreće motor John Deere JD6081 HTJ 04, 6-cilindrični, turbo diesel motor sa prednabijanjem. Maksimalna snaga motora je 180 kW pri frekvenciji vrtnje od 1200–2000 min⁻¹. Maksimalni zakretni moment je 1250 NM pri frekvenciji vrtnje motora od 1400 min⁻¹.

Transmisija je kod harvestera hidrostatsko-mehanička sa sporim i brzim hodom koji omogućuje promjenu brzine kretanja vozila bez prekida zakretnog momenta.

Najveća obodna sila vozila je 190 kN, brzina kretanja po bespuću 7 km/ha, a putna brzina iznosi 24 km/h.

Prednje gume su dimenzija 650x26,5, a stražnje 700x34.

Harvester Timberjack 1470D koristi paralelnu hidrauličku dizalicu model TJ 200 H 97 na kojoj je ugrađena sječna glava. Deklarirani podizni moment je 178 kNm, a zakretni moment je 43,6 kNm. Doseg dizalice iznosi 10 m, dok je kut zakretanja 220°.

Kontrola sustava kod harvestera Timberjack 1470D (Total Machine Control) upravlja pogonskim motorom, transmisijom, radom dizalice i stabilnošću vozila. Računalni sustav (Timberjack 300) kontrolira rad sječne glave, izmjeru drvnih sortimenata, trupljenje debala (izradu sortimenata zadanih dimenzija) te pohranjivanje podataka o izrađenoj oblovinu koji se mogu ispisati ili pohraniti na računalo.

Kabina je lagana, komforna i pregledna i izrađena u skladu s propisanim međunarodnim normama ISO (ROPS, POPS, OPS, BC).

Harvester Timberjack 1470D je opremljen sječnom glavom Timberjack 758. Najveći sječni promjer iznosi 65 cm. Masa sječne glave s rotatorom iznosi 1080 kg. Posmak stabla kroz sječnu glavu ostvaruju četiri čelična valjka, sa silom u rasponu od 22 do 27 kN, uz posmičnu brzinu 0–4,7 m/s. Kresanje grana obavljaju tri pokretna te jedan fiksni nož. Vodicica lančane pile je dugačka 75 cm, a brzina kretanja lanca iznosi 40 m/s.



Slika 12. Sječna glava Timberjack 758

3.2.1.3 Forvarder

Forvarderi su samopogonjena vozila namijenjena pomicanju stabala ili njegovih dijelova izvozeći ih utovarene u tovarnom prostoru vozila (ISO 2000). Osim za izvoženje forvarderi se koriste i za daljinski prijevoz drvnih sortimenata na kraćim udaljenostima (Poršinsky 2005).

Prednji, upravljačko-pogonski dio vozila i pogonjena poluprikolica spojeni su s dva zgloba (uzdužni i poprečni), s mogućnošću gibanja u vodoravnoj i uspravnoj ravnini. Upravljanje forvardera se odvija preko uzdužnog zgloba, promjenom kuta prednjeg i stražnjeg dijela vozila u vodoravnoj ravnini, što najčešće omogućavaju dva hidraulična cilindra (Poršinsky 2005).

Osim upravljanja forvarderom, zglobna veza omogućava savladavanje terenskih prepreka na način da je omogućeno njihanje prednjeg i stražnjeg dijela vozila (poluprikolice). Prilikom utovara drva dizalicom poprečni je zglob blokiran.

Kod forvardera s više od 4 kotača upotrebljava se bogie most, kod kojega su po dva kotača smještena jedan blizu drugoga, u tzv. tandem rasporedu. Primjena bogie mosta povećava bočnu stabilnost forvardera zbog smanjenog naginjanja utovarenog dijela vozila, jer kotači povezani bogie mostom dobro slijede površinske neravnine

ublažavajući visinske razlike trena (Stankić 2010).

U uvjetima smanjene nosivosti tla na prednje kotače 6 kotačnih forvardera najčešće se montiraju lanci, a na stražnje polugusjenice. Upotreba polugusjenica na tlima ograničene nosivosti utječe na povećanje kretnosti i proizvodnosti (Poršinsky i dr. 2011), utječe na smanjenje proklizavanja kotača, a time i na smanjenu potrošnju goriva te povećanu stabilnost prilikom kretanja forvardera, odnosno utovara i istovara drva, ali dovodi do većeg oštećenja pomlatka (Pandur 2013).

Za prijenos snage pogonskog motora forvardera na kotače najčešće se koristi mehaničko – hidrodinamička, hidrostatsko – mehanička te hidrostatska transmisija.

Hidrauličkom se dizalicom (s rotatorom i hvatalom) ugrađenom na poluprikolicu vrši utovar i istovar obloga drva (Stankić 2010).

3.2.1.4 Tehničke značajke forvardera Timberjack 1710D

Forvarder Timberjack 1710D, osmerokotačno je vozilo (8 WD) s bogi sustavom na prednjoj i stražnjoj osovini. Ovaj tip forvardera pripada kategoriji teških forvardera, mase preko 14 tona. Njegova namjena je prvenstveno izvoženje drva prilikom čistih sječa (u kulturama četinjača) te za izvoženje drva prilikom oplodnih sječa (u sastojinama listača). Iako njegova primjena u prorednim sječama nije isključujuća, prilikom izvoženja drva iz prorednih sječina ograničavajući čimbenik su prvenstveno njegove dimenzije.

Duljina Timberjacka 1710D je 10.900 mm, dok je njegova širina 3050 mm. Visina forvardera do vrha dizalice je 3900 mm, a njegova masa ovisi o stupnju opremljenosti i može iznositi od 18.500 do 19.500 kg.

Timberjack 1710D pokreće pogonski agregat John Deere 6081H, 6-cilindrični, turbo diesel motor snage 160 kW (215 KS) pri frekvenciji vrtnje od 2100 min⁻¹. Maksimalni zakretni moment iznosi 1090 Nm pri frekvenciji vrtnje od 1400 min⁻¹.

Transmisija kod forvardera Timberjack 1710D je hidrostatsko – mehanička sa po dvije brzine naprijed i nazad, maksimalna brzina je 23 km/h, dok je najveća obodna sila vozila 200 kN.



Slika 13. Forvarder Timberjack 1710D

Dimenzije prednjih i stražnjih guma su identične i iznose 750x26,5.

Timberjack 1710D je opremljen hidrauličnom dizalicom Boom CF885, na kojoj se nalazi hvatalo. Maksimalni dohvat dizalice je 8500 mm. Deklarirani podizni moment je 151 kNm, dok je zakretni moment 41 kNm.

Nosivost forvardera iznosi 17.000,6 kg.

4 METODE ISTRAŽIVANJA

4.1 Studij rada i vremena

Studij rada kao znanstvena osnova organizacije rada i organizacije proizvodnje polazi od čovjeka i njegova rada te analize čovjek – radno mjesto – radna okolina. Zadatak je studija rada da znanstvenim metodama te logičkim, cjelovitim i sustavnim analizama dođe do optimalno oblikovanog načina rada te realnog vremena izrade, odnosno objektivno izračunane norme (Taboršak 1987).

Studij vremena je promatranje i mjerenje vremenskih i količinskih (proizvodnih) jedinica u svrhu čega se radni proces raščlanjuje na mjerene jedinice tj. zahvate (Bojanin 1987).

Studijem vremena utvrđuje se tehnička norma vremena, odnosno vrijeme koje je potrebno za izradu proizvoda u cjelini kao i za pojedine faze izrade. Istraživanjem se utvrđuje realno potrebno vrijeme izrade koje služi za izračunavanje norme čiji je cilj organizacijski i humano optimalno oblikovati rad.

Snimanje utroška vremena pojedinih radnih zahvata obavljeno je upotrebom tableta Alcatel plus 10 s instaliranim softverskim paketom za provođenje studija rada i vremena, komercijalnog naziva UmtPlus proizvođača Laubress.

Laubress je kompanija koja se specijalizirala za projektiranje, proizvodnju i distribuciju proizvoda i softvera namijenjenih optimizaciji proizvodnih postupaka te skraćivanju i olakšavanju unosa različitih podataka (Sever 2013).

Softver UmtPlus je i prije korišten pri snimanju utroška vremena radnih zahvata različitih strojeva koji se koriste u šumarstvu (Mudri 2012, Sever 2013).

Sever (2013) kao osnovne prednosti korištenja softvera UmtPlus prilikom snimanja utroška vremena pojedinih radnih zahvata navodi manju mogućnost pogreške prilikom mjerenja te pojednostavljeno bilježenje podataka. Podaci se ne moraju bilježiti na snimačkom listu i kasnije ručno unositi u program za obradu rezultata, već se oni automatski spremaju u memoriju softvera. Snimljene podatke je zatim moguće prebaciti na osobno računalo pomoću softvera UMT Manager iz kojeg ih je moguće brzo i jednostavno eksportirati u Microsoft Excel gdje se vrši daljnja obrada. Isti autor kao jedini nedostatak navodi korištenje probne inačice softvera UmtPlus čija je licenca

bila ograničena korištenjem na 30 dana, a broj odabranih zahvata je bio ograničen na devedeset i devet unosa. Nakon zabilježenih devedeset i devet unosa, bilo je nužno prekinuti snimanje i podatke prebaciti na računalo.

Upravo su pozitivna iskustva i prednosti korištenja softvera UmtPlus, naspram u prošlosti korištene povratne metode kronometrije i snimanja utroška vremena pojedinog radnog zahvata kronometrom bili razlog korištenja softvera UmtPlus prilikom provedenog istraživanja.

Prilikom istraživanja »Primjena sustava harvester – forvarder za prorede listača u Bjelovarskoj Bilogori« korištena je licencirana verzija softvera UmtPlus, bez ograničenja, upravo iz razloga kako bi se izbjegli nedostaci probne verzije softvera, što se posebno odnosi na ograničen broj unosa radnih zahvata. To je posebno značajno za strojnu sječu i izradu iz razloga brzog izmjenjivanja velikog broj radnih zahvata u radnom danu.

Za osnovnu jedinicu praćenja radnoga procesa odabrano je kod sječe i izrade stablo, a kod primarnoga transporta turnus izvoženja (Vusić 2013).

4.2 Pripremni radovi

U oba odsjeka istraživanju su prethodili pripremni radovi. Pripremne radove je moguće podijeliti na pripremne radove koji su prethodili snimanju harvestera, kao i pripremne radove koji su prethodili snimanju radnog procesa forvardera. Prije samog snimanja radnog procesa harvestera bilo je potrebno obilježiti doznačena stabla za sječu i to na način, da su stabla koja su služila kao uzorak za utvrđivanje izrađenog neto obujma bila obilježena rednim brojevima, koji su na stabla bili napisani s dvije nasuprotne strane. A njihov prsni promjer je bio evidentiran na terenski obrazac poradi daljnje obrade podataka.



Slika 14. Stablo obilježeno rednim brojem

Obilježavanje stabala korištenih samo za izračun proizvodnosti izvršeno je na način da je za svako stablo izmjeran prsni promjer te napisan na stablo, obavezno s dvije nasuprotne strane, kako bi bio vidljiv bez obzira s koje strane je harvester prilazio stablu.



Slika 15 Stablo obilježeno prsnim promjerom

Za snimanje forvardera pripremni radovi su obuhvaćali obilježavanje i izmjeru duljina vlaka. Duljina je bila izmjerena mjernom vrpcom duljine 50 m, te je na svakih 50 m na najbliže nedoznačeno stablo ljepljivom trakom i sprejom obilježena udaljenost segmenata vlake rastućih po 50 m.

4.3 Postupak snimanja

4.3.1 Snimanje harvesterera

Snimanje harvesterera provedeno je pomoću digitalne kamere koja je bila postavljena na kabinu harvesterera. Ovakav način snimanja odabran je iz razloga što je opasno i propisima zaštite na radu zabranjeno biti u blizini harvesterera prilikom njegova rada, a što je neophodno da bi se na direktan način evidentirali utrošci vremena za pojedine radne zahvata. Također istraživani je harvester bio jednozahvatni te kod njega pojedini radni zahvati traju vrlo kratko i iziskuju veliku koncentraciju osobe koja snima te njegove brze reflekse.

Kako bi se došlo do stvarnog utroška vremena pojedinog radnog zahvata, dobivene video zapise je bilo potrebno analizirati pomoću softvera UmtPlus, u kojemu su prethodno bili utvrđeni radni zahvati harvesterera.

Svaki radni zahvat ima svoj početak i kraj. Početak jednog radnog zahvata ujedno je završetak prethodnog radnog zahvata, a taj trenutak u kojemu dolazi do promjene radnog zahvata nazivamo fiksna točka. Fiksne točke moraju biti definirane prije početka snimanja, kako bi bilo moguće prepoznati kada počinje novi, a završava prethodni radni zahvat, odnosno prekid rada.

Prilikom snimanja utvrđeni su sljedeći radni zahvati harvesterera koji su obuhvaćali efektivni rad harvesterera:

- **Vožnja do sječine:** odvija se prilikom ulaska harvesterera u sječinu. Obuhvaća vrijeme od kada je harvesterere krenuo s pomoćnog stovarišta, pa do zauzimanja položaja za sječu prvog stabla tog radnog dana.
- **Vožnja do pomoćnog stovarišta:** odvija se prilikom izlaska iz sječine, odnosno obuhvaća vrijeme od sječe i izrade posljednjeg stabla tog radnog dana pa do dolaska na pomoćno stovarište.

- **Premještanje harvestera:** predstavlja radni zahvat za vrijeme kojega se harvester kreće od prethodno posječenog i izrađenog stabla ka slijedećem stablu. Započinje nakon izrade krošnje prethodnog stabla i traje do početka zauzimanja položaja za sječu slijedećeg stabla.
- **Zauzimanje položaja:** nastupa nakon što je harvester završio s premještanjem i traje dok harvesterska glava ne obuhvati doznačeno stablo.
- **Sječa:** je radni zahvat za vrijeme kojega se odvija prerezivanje debla te pad stabla na tlo. Početak radnog zahvata je nakon što je stablo obuhvaćeno harvesterskom glavom i traje do pada stabla na tlo ili do zaustave ukoliko se stablo prilikom pada naslonilo na okolna stabla.
- **Pomicanje:** radni je zahvat za vrijeme kojega operater hidrauličnom dizalicom zaustavljeno stablo povlači na tlo. Traje nakon sječe, pa sve dok stablo ne padne na tlo.
- **Izrada:** obuhvaća izradu debla i krošnje.
- **Izrada do krošnje:** radni zahvat koji obuhvaća trupljenje debla. Započinje nakon pada stabla na tlo pa do izrade krošnje, odnosno pomicanja harvesterske glave do prve žive grane na stablu ili do rašlji.
- **Izrada krošnje:** je radni zahvat za vrijeme kojega se vrši kresanje grana i trupljenje preostalog drva koje se može izraditi iz krošnje. Započinje nakon trupljenja debla i traje do kraja izrade stabla.
- **Uhrpavanje:** pojavljuje se povremeno i najčešće nastupa nakon izrade krošnje, a podrazumijeva uhrpavanje izrađenih sortimenata ili sitne granjevine koja ostaje nakon izrade.

Snimanje harvestera odvijalo u razdoblju od 4. do 11. srpnja 2017. godine. vremenski uvjeti u tom razdoblju su bili bez oborina dok je temperatura bila uobičajena za to doba godine, oko 30 °C.

Za stabla poznatih prsnih promjera koja su služila kao uzorak, neto obujam je izmjeren i evidentiran sukladno »Hrvatskim normama proizvoda iskorištavanja šuma« (HRN).

| A | B | C |
|-------------------|--------------|-----------------|
| Voznja do S | | Sjeca |
| Pre mjestanj | Uhrpavan | Izrada do krosn |
| Zauziman položaja | POVREMEN RAD | Izrada krosnje |
| Voznja do PS | PREKID | Pomicanj |
| | | |
| | | |
| | | |

Slika 16. Sučelje softvera UmtPlus kod snimanja harvestera (radni zahvati)

| A | B | C |
|-------|--------------|-------|
| PZV | O_TEH | N_TEH |
| OBJED | O_ORG | N_ORG |
| ODMOR | ISTRAZIV NJE | LANAC |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

Slika 17. Sučelje softvera UmtPlus kod snimanja harvestera (prekidi)

4.3.2 Snimanje forvardera

Snimanje utroška vremena pojedinih radnih zahvata forvardera je za razliku od harvestera obavljeno neposredno na terenu. Snimanje svih radnih operacija forvardera tijekom cijelog dana obavljeno je sa sigurne udaljenosti i uz korištenje zaštitne opreme (zaštitna kaciga i reflektirajući prsluk) kako bi snimatelj bio uočljiv operateru forvardera.

Samo snimanje utroška vremena radnih zahvata forvardera obavljeno je pomoću tableta Alcatel plus 10 na kome je prethodno bio instaliran softver UmtPlus, a u njemu su bili definirani radni zahvati forvardera.

Utvrđeni su sljedeći radni zahvati forvardera, koji su ujedno činili efektivni rad forvardera:

- **Vožnja neopterećenog forvardera po pomoćnom stovarištu:** ovaj radni zahvat odvija se na pomoćnom stovarištu, odnosno na izgrađenoj šumskoj cesti uz koju je formirano pomoćno stovarište. Početak vožnje je nakon istovara posljednjeg sortimenta iz tovara i traje do ulaska forvardera u sječinu.
- **Vožnja neopterećenog forvardera po sječini:** započinje nakon ulaska forvardera u sječinu, a završava zaustavljanjem vozila na mjestu utovara drvnih sortimenata.

- **Utovar:** nakon zaustavljanja vozila započinje utovar drvnih sortimenata, koji traje dok se ne napuni tovarni prostor forvardera ili dok se ne utovare svi sortimenti u dohvat hidraulične dizalice.
- **Pomicanje po sječini:** radni zahvat koji predstavlja premještanje forvardera do slijedećeg složaja drvnih sortimenata. Odvija se nakon utovara svih sortimenata u dohvat hidraulične dizalice pa do premještanja do slijedećeg složaja drvnih sortimenata.
- **Vožnja opterećenog forvardera po sječini:** radni zahvat koji započinje nakon što se napunio tovarni prostor forvardera i obuhvaća vožnju po sječini do pomoćnog stovarišta.
- **Vožnja opterećenog forvardera po pomoćnom stovarištu:** dolaskom prednjih kotača forvardera na pomoćno stovarište započinje ovaj radni zahvat, a završava dolaskom do mjesta istovara, odnosno početkom istovara.
- **Istovar:** istovar drvnih sortimenata započinje nakon zaustavljanja forvardera na pomoćnom stovarištu i traje sve dok se ne istovari posljednji sortiment u tovaru.
- **Pomicanje po pomoćnom stovarištu:** pomicanje forvardera po pomoćnom stovarištu se odvija ukoliko se cijeli tovar ne istovaruje na jedno mjesto, već se forvarder pomiče kako bi istovario ostatak tovara. Ovaj radni zahvat je izražen kod istovara tehničke oblovine koja se razvlači po pomoćnom stovarištu. Počinje početkom pomicanja forvardera i traje ponovnog početka istovara.
- **Uhrpavanje/razvrstavanje:** radni zahvat koji se ne pojavljuje redovno, a podrazumijeva uhrpavanje sortimenata na pomoćnom stovarištu ili razdvajanje tehničke oblovine i višemetarskog prostornog drva, ako se nalaze na istom složaju u sječini.

| A | B | C |
|-----------------|--------------|-----------------|
| P_voznja prazan | | S_voznja prazan |
| P istovar | S uhrpavan | S utovar |
| P pomicanj | POVREMEN RAD | S pomicanj |
| P_voznja pun | PREKID | S_voznja pun |
| | | |
| | | |
| | | |

Slika 18. Sučelje softvera UmtPlus prilikom snimanja forvardera (radni zahvati)

| A | B | C |
|-------|--------------|-------|
| PZV | O_TEH | N_TEH |
| OBJED | O_ORG | N_ORG |
| ODMOR | ISTRAZIV NJE | |
| | | |
| | | |
| | | |

Slika 19. Sučelje softvera UmtPlus prilikom snimanje forvardera (prekidi)

U softveru UmtPlus za radne zahvate vožnji i pomicanja upisivana je i udaljenost koju je forvarder prošao prilikom tih radnih zahvata. Duljina glavnih vlaka je bila prethodno obilježena na svakih 50 m, dok je udaljenost koju je forvarder prolazio »harvesterskim prugama«, kao i udaljenost koju je forvarder prolazio po pomoćnom stovarištu mjerena laserskim daljinomjerom Trupulse 200.



Slika 20. Tablet Alcatel plus 10



Slika 21. Laserski daljinomjer Trupulse 200

Snimanje forvardera odvijalo se u periodu od 14. do 21. srpnja 2017. godine. Vremenski uvjeti su u tom periodu bili bez oborina, temperatura očekivana za to doba godine s vrijednostima i do 35 °C. Upravo su vremenski uvjeti bez oborina pridonijeli tome da nosivost tla bude odlična i samim time nije dolazilo do šteta na tlu, a i nosivost tla nije negativno utjecala na proizvodnost forvardera. Nasuprot tome visoke temperature su uzrokovale pregrijavanje stroja te je u nekoliko navrata operater forvardera bio prisiljen prekinuti rad kako bi se radna temperatura stroja vratila na normalnu vrijednost.

4.4 Mjerenje oblovine na pomoćnom stovarištu

Prilikom istovara na pomoćnom stovarištu, tehnička oblovina je bila »razvučena« kako bi se omogućila njena izmjera. Izmjeru su vršili poslovođa i pomoćni radnik, na način su izmjerena dva nasuprotna srednja promjera čije su vrijednosti zaokružene puni centimetar na niže, kao i njihova aritmetička sredina, dok je duljina oblovine mjerena mjernom vrpcom u metrima na dva decimalna mjesta te zaokružena na puni decimetar na niže. Tako izmjerena tehnička oblovina odmah je zaprimljena, odnosno njene dimenzije su unesene u terensko računalo, a na čelo oblovine udarena je evidencijska pločica ovisno o klasi tehničke oblovine te otisak režijskog čekića. Debljina kore koja se odbija prilikom primanja tehničke oblovine automatski se odbija u programu HsPro, prema tablicama odbijanja kore za različite vrste drveća i s obzirom na vrijednost srednjeg promjera oblovine.

Primanje tehničke oblovine vršeno je posebno po odsjecima. Nakon što je oblovina zaprimljena, poslovođa je isprintao knjigu primanja iz terenskog računala te su vrijednosti obujma oblovine iz knjige primanja naknadno pridružene pojedinim turnusima.

Izmjera višemetarskog prostornog drva je vršena na način da je iz svakog odsjeka izmjeren po jedan tovar forvardera i to na način da su poslovođa i pomoćni radnik izmjerenu višetricu odmah i zaprimili, odnosno poslovođa je dimenzije višetrice odmah unosio u terensko računalo. Višemetarskog prostorno izrađivalo se na duljinu od 4 m, tako da su u programu HsPro u kome se vrši primanje i otprema drvnih sortimenata u poduzeću »Hrvatske šume« d.o.o., sve duljine zaprimljenog višemetarskog drva bile evidentirane u duljini od 4 m, a za srednje promjere nije

odbijana vrijednost kore. Na temelju izmjere po jednog tovara višemetarskog prostornog drva iz svakog odsjeka dobivena je prosječna vrijednost jednog komada višemetarskog prostornog drva za svaki odsjek. Ostali tovari su prilikom izvoza uslikani, kako bi se mogao odrediti broj komada u tovaru.



Slika 22. Tovar tehničke oblovine



Slika 23. Tovar višemetarskog prostornog drva

4.5 Obrada podataka i prikaz rezultata

Snimljeni podaci u programu UmtPlus su pomoću UmtManagera eksportirani u program Microsoft Excel. U Microsoft Excelu snimljeni podaci su sistematizirani, odnosno kreirane su baze podataka za daljnju obradu. Osnovne matematičke analize i izračuni također su obavljani istim programom, dok su statističke analize provedene u programskom paketu STATISTICA.

Obrada rezultata terenskih istraživanja proizvodnosti harvesteri i forvardera obavljena je na tri razine. Na prvoj je razini matematičko-statističkim metodama utvrđena i prikazana struktura ukupnog, općeg i dodatnog vremena te utvrđeno dodatno vrijeme. Na drugoj su razini obavljene regresijske analize ovisnosti utrošaka varijabilnih vremena o glavnim utjecajnim čimbenicima i izračunate prosječne vrijednosti utrošaka ostalih efektivnih vremena, a na trećoj su konstruirani matematički modeli za izračun proizvodnosti (Štimac 2017).

Proizvodnost je prikazana u ovisnosti o prsnom promjeru stabla za strojnu sječu i izradu, a za izvoženje u ovisnosti o udaljenosti primarnog transporta.

5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

5.1 Proizvodnost mehanizirane sječe i izrade

5.1.1 Struktura utrošenih vremena

Istraživanje strojne sječe i izrade je obavljeno u trajanju od šest radnih dana i ukupno je snimljeno 2609,54 minute utroška vremena.

Tablica 1. Struktura efektivnog vremena pri strojnoj sječi i izradi

| Vrsta aktivnosti | Utrošak vremena | | |
|------------------------------------|-----------------|----------------------|---------------|
| | Ukupno | Postotni udio prema: | |
| | | ukupnom | efektivnom |
| | min | vremenu | |
| | | % | |
| 1. Vožnja | 68,75 | 2,63 | 3,83 |
| 1.1 Vožnja do sječine | 33,12 | 1,27 | 1,84 |
| 1.2 Vožnja do pomoćnog stovarišta | 35,63 | 1,37 | 1,98 |
| 2. Rad harvestera u sječini | 1727,47 | 66,20 | 96,17 |
| 2.1 Zauzimanje položaja | 66,35 | 2,54 | 3,69 |
| 2.2 Sječa | 200,77 | 7,69 | 11,18 |
| 2.3 Pomicanje | 34,67 | 1,33 | 1,93 |
| 2.4 Izrada do krošnje | 217,90 | 8,35 | 12,13 |
| 2.5 Izrada krošnje | 681,75 | 26,13 | 37,95 |
| 2.6 Premještanje | 443,40 | 16,99 | 24,69 |
| 2.7 Uhrpavanje | 82,63 | 3,17 | 4,60 |
| 3. Efektivno vrijeme | 1796,22 | 68,83 | 100,00 |
| 4. Opća vremena | 813,32 | 31,17 | |
| 5. Ukupno vrijeme | 2609,54 | 100,00 | |

Od ukupno snimljenih 2609,54 minuta na efektivno vrijeme otpada 1796,22 minute ili 68,83 %, dok je udio općeg vremena 31,17 %, odnosno 813,32 minute. Tijekom istraživanja harvestera ukupno je posječeno 795 stabala. Prosječni utrošak vremena vožnje harvestera od pomoćnog stovarišta do sječine iznosio je 5,52 minute, dok je prosječni utrošak vremena vožnje od sječine do pomoćnog stovarišta iznosio 5,94 minute po radnome po radnome danu.

Za radni zahvat zauzimanje položaja ukupno je utrošeno 66,35 minuta što iznosi prosječno 0,08 minuta po stablu. Za sječju stabala ukupno je utrošeno 200,77 minuta što iznosi 0,25 minuta po stablu.

Izrada do krošnje prosječno iznosi 0,27 minuta po stablu, odnosno ukupno je utrošeno 217,90 minuta. Na radni zahvat izrade krošnje ukupno je utrošeno 681,75 minuta, što po stablu iznosi 0,86 minuta. Na premještanje je ukupno utrošeno 443,40 minuta što po stablu iznosi 0,56 minuta. Ukupni utrošak vremena za pomicanje stabala iznosi 34,67 minuta, odnosno 0,04 minute po stablu. Na uhrpavanje je prosječno utrošeno 0,10 minuta po stablu, dok je ukupni utrošak vremena uhrpavanja 82,63 minute.

Tablica 2. Struktura općih vremena pri strojnoj sječi i izradi

| Vrsta prekida | Utrošak vremena | |
|-------------------------------------|-----------------|---------------|
| | min | % |
| 1. Pripremno završno vrijeme | 67,60 | 8,31 |
| 2. Odmor | 18,57 | 2,28 |
| 3. Objed | 261,70 | 32,18 |
| 4. Opravdani prekidi | 348,27 | 42,82 |
| 4.1 Opravdani organizacijski | 71,47 | 8,79 |
| 4.2 Opravdani tehnički | 224,83 | 27,64 |
| 4.3 Prekid radi lanca | 51,97 | 6,39 |
| 5. Neopravdani prekidi | 6,45 | 0,79 |
| 5.1 Neopravdani organizacijski | 6,45 | 0,79 |
| 6. Prekid radi istraživanja | 110,73 | 13,61 |
| Opća vremena | 813,32 | 100,00 |

Općim vremenom obuhvaćeni su svi utrošci vremena koji su evidentirani kao opravdani i neopravdani prekidi, odmor, objed, pripremno završno vrijeme te prekidi radi istraživanja (tablica 2). Opća vremena su u ukupnom vremenu snimanja sudjelovala s 31,17 %.

Tablica 3. Struktura dodatnog vremena pri strojnoj sječi i izradi

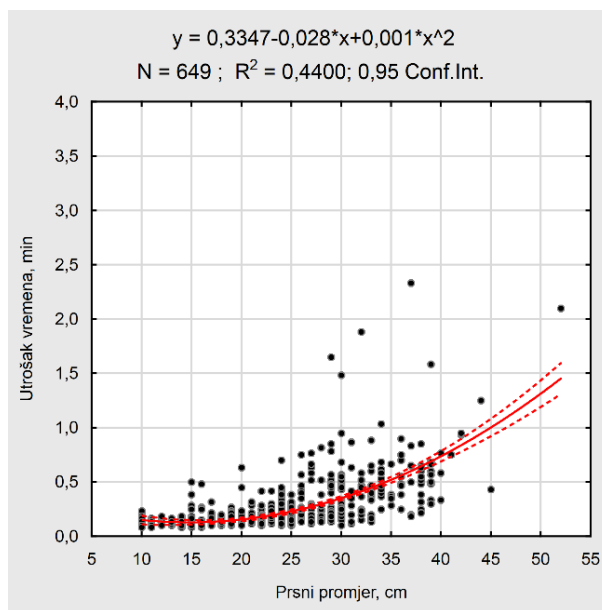
| Vrsta prekida | Utrošak vremena | |
|-------------------------------------|-----------------|---------------|
| | min | % |
| 1. Pripremno završno vrijeme | 67,60 | 11,31 |
| 2. Odmor | 18,57 | 3,11 |
| 3. Objed | 163,10 | 27,30 |
| 4. Opravdani prekidi | 348,27 | 58,28 |
| 4.1 Opravdani organizacijski | 71,47 | 11,96 |
| 4.2 Opravdani tehnički | 224,83 | 37,63 |
| 4.3 Prekid radi lanca | 51,97 | 8,70 |
| Dodatno vrijeme | 597,54 | 100,00 |
| Efektivno vrijeme | 1796,22 | |
| Dodatno vrijeme | 597,54 | 33,27 |
| Faktor dodatnog vremena | 1,33 | |

Dodatno vrijeme dobiveno je na način da su iz općih vremena izbačeni neopravdani prekidi rada i prekidi rada radi istraživanja, dok je vrijeme utrošeno na objed korigirano. Za objed je opravdano 6,25 % od ukupno snimljenog vremena, što iznosi 163,10 minuta, odnosno 27,18 minuta dnevno.

Faktor dodatnog vremena iznosi 1,33 i njegova visoka vrijednost je posljedica korištenja harvesteru starijeg godišta što je za posljedicu imalo smanjenje tehničke ispravnosti harvesteru. Prekidi nastali uslijed pucanja ili pada lanca s vodilice evidentirani su zasebno od ostalih tehničkih prekida i njihovo ukupno vrijeme iznosilo je 51,97 minuta. Česti prekidi nastali uslijed pucanja i ispadanja lanca posljedica su prevelike brzine kojom vodilica izlazi iz harvesteru glave. Taj problem je riješen na način da je brzina kojom vodilica izlazi iz harvesteru glave smanjena dok je brzina kretanja lanca ostala ista.

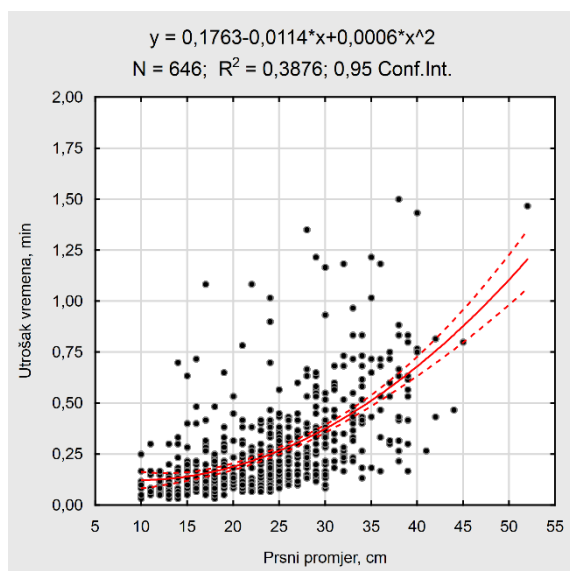
5.1.2 Varijabilna vremena

Na strojnu sječicu i izradu ukupno je utrošeno 2609,54 minuta od čega na efektivno vrijeme otpada 1796,22 minute ili 68,83 % (tablica 1), a za to vrijeme posječeno je i izrađeno 795 stabala. Na sječicu stabala ukupno je utrošeno 200,77 minuta što po stablu prosječno iznosi 0,25 minuta. Prsni promjeri srušenih stabala prilikom istraživanja kretali su se u rasponu od minimalno 10 cm do maksimalno 52 cm.

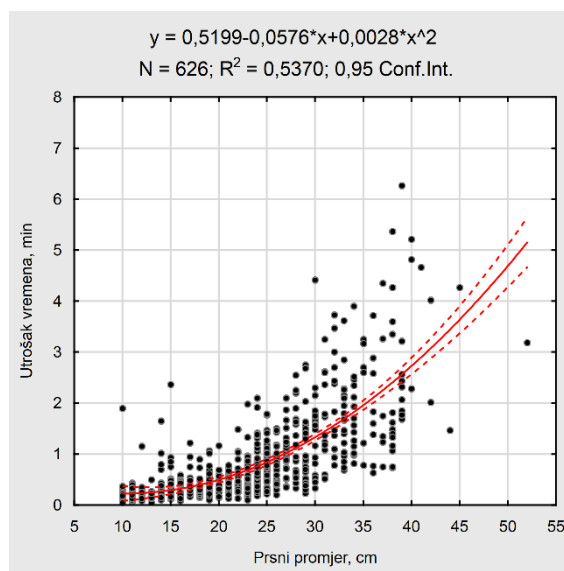


Slika 18. Ovisnost utroška vremena sječe o prsnom promjeru stabala

Efektivno vrijeme sječe promatrano je kao varijabilno vrijeme u odnosu na prsni promjer stabla. Njegova ovisnost o prsnom promjeru prikazana je na slici 24. Regresijski model ovisnosti utroška vremena sječe o prsnom promjeru stabla objašnjava 44,00 % varijabilnosti (slika 24).



Slika 25. Ovisnost utroška vremena izrade do krošnje o prsnom promjeru stabla



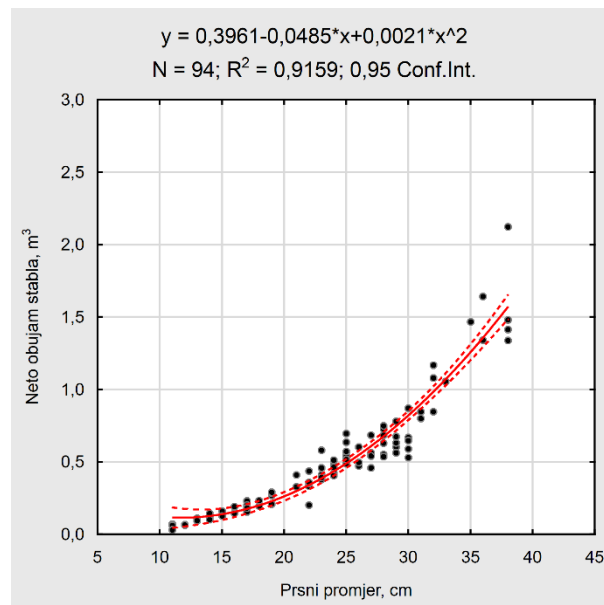
Slika 26. Ovisnost utroška vremena izrade krošnje o prsnom promjeru stabala

Na izradu stabla do krošnje prosječno je utrošeno 0,28 minuta po stablu, dok je za izradu krošnje po stablu prosječno bilo potrebno 0,89 minuta po stablu. Kao što je vidljivo i na slikama 25 i 26, na izradu krošnje je utrošeno više vremena što je bilo i očekivano. Prilikom izrade stabla do krošnje harvester ne mora kresati grane, već samo vrši trupljenje. Najveći utrošak vremena izrade krošnje primijećen je kod onih stabla koja su imala rašlje.

Regresijskom analizom ovisnost utroška vremena izrade do krošnje o prsnom promjeru objašnjeno je 38,76 %, dok ovisnost utroška vremena izrade krošnje o prsnom promjeru objašnjeno 53,70 % varijabilnosti.

5.1.3 Neto obujam drvnih sortimenata

Za izračun neto obujma stabla uzorkovano je 94 stabla. Raspon prsnih promjera kretao se od 11 do 38 cm. Neto obujam kretao se u rasponu od minimalno 0,031 m³ do maksimalno 2,123 m³, dok je prosječni neto obujam stabla iznosio 0,518 m³.



Slika 27. Ovisnost neto obujma stabla o prsnom promjeru stabla

Regresijski model ovisnosti neto obujma stabla o prsnom promjeru stabla (slika 27) objašnjava 91,59 % varijabilnosti.

5.1.4 Proizvodnost i troškovi harvesterera pri sječi i izradi

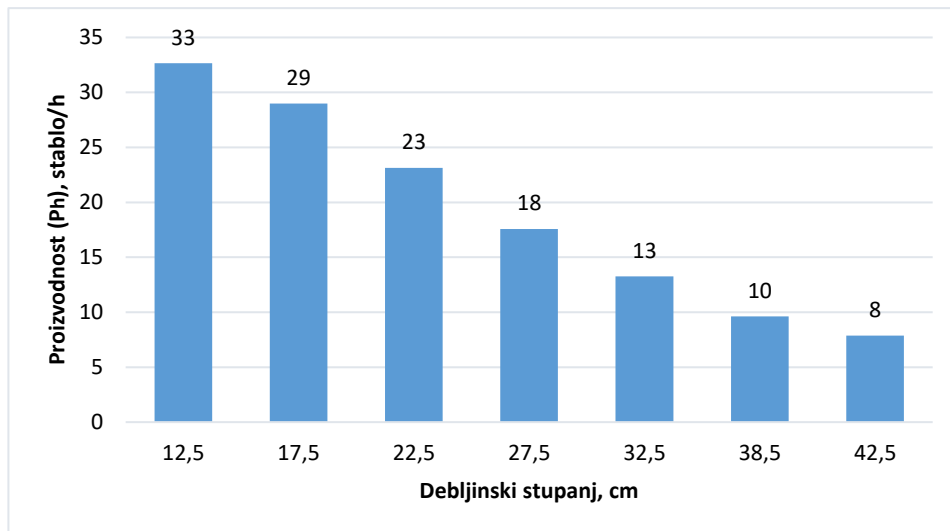
Proizvodnost je izračunata na temelju matematičke jednadžbe za izračun proizvodnosti sječe i izradbe (1) u koju je uvršten faktor dodatnog vremena (f_d), utrošak fiksnog efektivnog vremena (t_F) koji je obuhvaćao prosječne vrijednosti utroška vremena za slijedeće radne zahvate: zauzimanje položaja ($t_{ZP} = 0,08$ min/stablo), pomicanje ($t_{PO} = 0,04$ min/stablo), premještanje harvesterera ($t_{PR} = 0,56$ min/stablo), uhrpavanje ($t_{UH} = 0,10$ min/stablo), vožnja do sječine ($t_{VS} = 0,04$ min/stablo) i vožnja do pomoćnog stovarišta ($t_{VPS} = 0,04$ min/stablo). Na mjesto varijabilnih efektivnih vremena (t_V) uvrštene su regresijske jednadžbe za sječicu (slika 24), izradu do krošnje (slika 25) i izradu krošnje (slika 26).

Matematičkim modelom (2) moguće je izračunati proizvodnost strojne sječe i izrade (P_h) iskazanu brojem stabala po radnom satu.

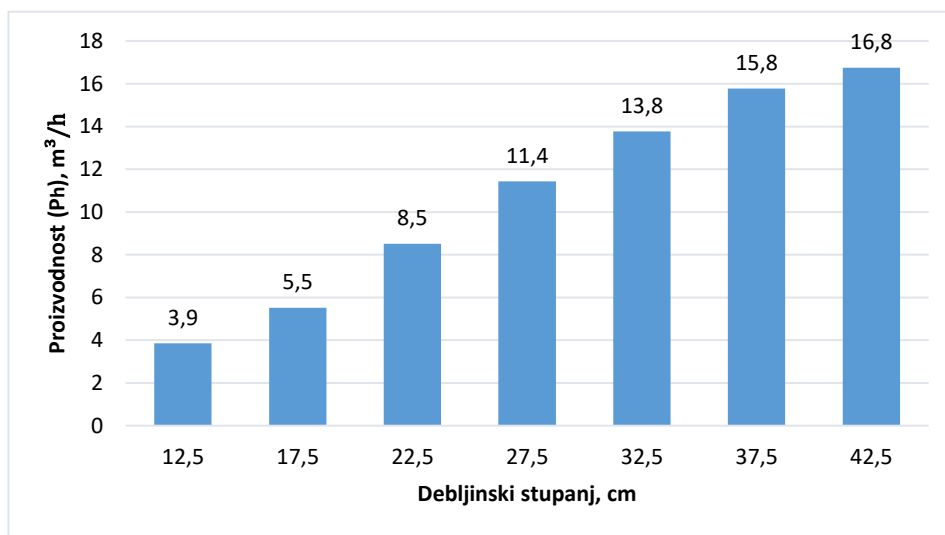
$$Ph = \frac{60}{fd(t_F + t_V)} \left[\frac{\text{stablo}}{h} \right] \dots (1)$$

$$Ph = \frac{60}{fdx(t_{ZP} + t_{PO} + t_{PR} + t_{UH} + t_{VS} + t_{PS} + t_S + t_{DK} + t_{IK})} \left[\frac{\text{stablo}}{h} \right] \dots (2)$$

Harvesterom je moguće posjeći veći broj stabala nižeg debljinskog stupnja S povećanjem prsnog promjera stabla potreban je veći utrošak vremena sječe i izrade što dovodi do smanjenja broja posječenih i izrađenih stabala. Proizvodnost harvesterera se kretala od 33 stabla po satu za debljinski stupanj 12,5 cm do 8 stabala za debljinski stupanj 42,5 cm (slika 28). U jednom satu moguće je posjeći i izraditi 3,9 m³ neto obujma oblog drva iz stabala prsnog promjera 12,5 cm do 16,8 m³ neto obujma oblog drva iz stabala prsnog promjera 42,5 cm (slika 29).

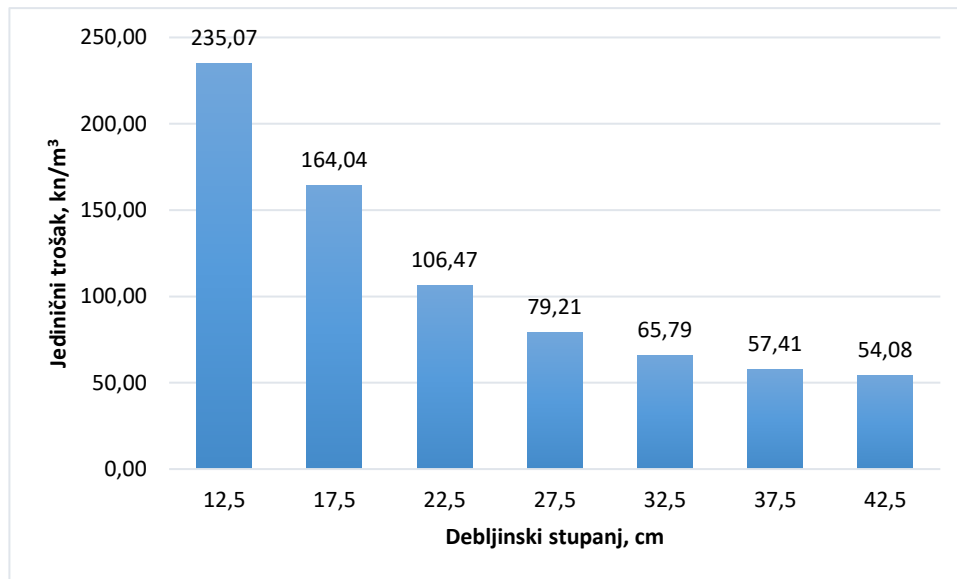


Slika 28. Proizvodnost strojne sječe i izrade iskazana brojem stabala po satu



Slika 29. Proizvodnost strojne sječe i izrade iskazana neto obujmom

Za izračun jediničnih troškova strojne sječe i izrade upotrijebljen je kalkulativni trošak u iznosu od 905,85 kn/h, koji je utvrđen prijašnjim istraživanjima strojne sječe i izrade (Vusić 2013). Povećanjem prsnog promjera, što neposredno utječe na povećanje obujma stabla dolazi do smanjenja jediničnih troškova strojne sječe i izrade. U provedenom istraživanju jedinični troškovi se kreću u rasponu od 235,07 kn/m³ za debljinski stupanj 12,5 cm do 54,08 kn/m³ za debljinski stupanj 42,5 cm (slika 30).



Slika 30. Jedinični troškovi strojne sječe i izrade iskazani po 1m³ neto obujma drvnih sortimenata

5.2 Produktivnost forvardera prilikom izvoženja drvnih sortimenata

5.2.1 Struktura utrošenih vremena

Tijekom šest radnih dana istraživanja rada forvardera na izvoženju drvnih sortimenata snimljeno je ukupno 3621,43 minute utroška vremena.

Tablica 4. Struktura efektivnog vremena pri izvoženju drvnih sortimenata forvarderom

| Vrsta aktivnosti | Utrošak vremena | | |
|---|-----------------|----------------------|---------------|
| | Ukupno | Postotni udio prema: | |
| | | ukupnom | efektivnom |
| | | vremenu | |
| | min | % | |
| 1. Vožnja | 672,20 | 18,56 | 24,98 |
| 1.1. Vožnja neopterećenog forvardera po pomoćnom stovarištu | 73,62 | 2,03 | 2,74 |
| 1.2 Vožnja neopterećenog forvardera po sječini | 316,75 | 8,75 | 11,77 |
| 1.3 Vožnja opterećenog forvardera po sječini | 239,90 | 6,62 | 8,92 |
| 1.4 Vožnja opterećenog forvardera po pomoćnom stovarištu | 41,93 | 1,16 | 1,56 |
| 2. Rad forvardera u sječini | 1724,28 | 47,61 | 64,08 |
| 2.1 Utovar drvnih sortimenata | 938,70 | 25,92 | 34,88 |
| 2.2 Pomicanje forvardera prilikom utovara | 785,58 | 21,69 | 29,19 |
| 3. Rad forvardera na pomoćnom stovarištu | 283,69 | 7,83 | 10,54 |
| 3.1 Istovar drvnih sortimenata | 271,17 | 7,49 | 10,08 |
| 3.2 Pomicanje forvardera prilikom istovara | 12,52 | 0,35 | 0,47 |
| 4. Uhpavanje/razvrstavanje | 10,72 | 0,30 | 0,40 |
| 5. Efektivno vrijeme | 2690,89 | 74,30 | 100,00 |
| 6. Opća vremena | 930,55 | 25,70 | |
| 7. Ukupno vrijeme | 3621,44 | 100,00 | |

Ukupna udaljenost vožnje neopterećenog forvardera po pomoćnom stovarištu iznosila je 2855 m s ukupnim utroškom vremena od 73,62 minuta. Ostvarena je prosječna brzina kretanja neopterećenog forvardera po pomoćnom stovarištu od 2,33 km/h. Ukupna prijeđena udaljenost neopterećenog forvardera po sječini iznosila je 14.470 m uz utrošak vremena vožnje od 316,75 minuta i ostvarenom brzinom od 2,74 km/h. Ukupni utrošak vremena prilikom vožnje opterećenog forvardera po sječini iznosio je 239,90 minuta s ukupnom prijeđenom udaljenošću od 10.390 m, dok je prosječna ostvarena brzina iznosila 2,60 km/h. Ukupna udaljenost vožnje opterećenog

forvardera po pomoćnom stovarištu iznosila je 1385 m s ukupnim utroškom vremena od 41,93 minute i ostvarenom prosječnom brzinom od 1,98 km/h.

Vidljiva je razlika u prosječnim udaljenostima kod vožnje opterećenog i neopterećenog forvardera po sječini koja je uzrokovana kretanjem vozila po različitim izvoznim pravcima, ali i uslijed pomicanja forvardera prilikom utovara drvnih sortimenata. Na taj način forvarder je veće udaljenosti prolazio kada je bio neopterećen. Razlika u prosječnim udaljenostima vožnje neopterećenog i opterećenog forvardera po pomoćnom stovarištu je nastala prvenstveno prilikom istovara tehničke oblovine, koja je bila razvrstavana i »razvučena« po pomoćnom stovarištu, te je na taj način na kraju istovara udaljenost koju je neopterećen forvarder prolazio bila veća od udaljenosti vožnje opterećenog forvardera.

Tablica 5. Struktura općih vremena pri izvoženju drvnih sortimenata forvarderom

| Vrsta prekida | Utrošak vremena | |
|-------------------------------------|-----------------|---------------|
| | min | % |
| 1. Pripremno - završno vrijeme | 146,10 | 15,70 |
| 2. Odmor | 65,77 | 7,07 |
| 3. Objed | 340,75 | 36,62 |
| 4. Opravdani organizacijski prekidi | 66,92 | 7,19 |
| 5. Opravdani tehnički prekidi | 255,73 | 27,48 |
| 6. Prekidi radi istraživanja | 55,28 | 5,94 |
| Opća vremena | 930,55 | 100,00 |

U strukturi ukupno snimljenih vremena (tablica 4) vidljivo je da efektivna vremena čine 74,30 %, odnosno 2690,89 minuta, dok opće vrijeme čini 25,70 % odnosno 930,55 minuta od ukupno snimljenog vremena izvoženja drvnih sortimenata forvarderom. Ukupno utrošeno vrijeme rada forvardera iznosi 3621,44 minute (tablica 4). U strukturi općih vremena (tablica 5) najzastupljeniji su opravdani tehnički prekidi sa 27,48 % i objed sa 36,62 %. Razlog toga je korištenje stroja starijeg godišta što dovodi do čestih kvarova, osobito pucanje uljnih vodova.

Tablica 6. Struktura dodatnog vremena pri izvoženju drvnih sortimenata forvarderom

| Vrsta prekida | Utrošak vremena | |
|-------------------------------------|-----------------|---------------|
| | min | % |
| 1. Pripremno - završno vrijeme | 90,00 | 12,77 |
| 2. Odmor | 65,77 | 9,33 |
| 3. Objed | 226,34 | 32,12 |
| 4. Opravdani organizacijski prekidi | 66,92 | 9,50 |
| 5. Opravdani tehnički prekidi | 255,73 | 36,29 |
| Dodatno vrijeme | 704,76 | 100,00 |
| Efektivno vrijeme | 2690,89 | |
| Dodatno vrijeme | 704,76 | 26,19 |
| Faktor dodatnog vremena | 1,26 | |

Struktura dodatnog vremena dobivena je na način da je korigirano vrijeme objeda u strukturi općih vremena. U strukturi općih vremena (tablica 5) vidljivo je da je na objed utrošeno 340,75 minuta odnosno 56,79 minuta dnevno. Radi izračuna faktora dodatnog vremena, prekid za objed priznat je u trajanju od 6,25 % od ukupno snimljenog vremena, što iznosi 226,34 minuta ili 37,72 minute po danu. Također, pripremno završno vrijeme je umanjeno na način da je za pripremno završno vrijeme priznato 15 minuta dnevno, što ukupno iznosi 90 minuta. Osim toga iz strukture dodatnog vremena su izbačeni prekidi radi istraživanja.

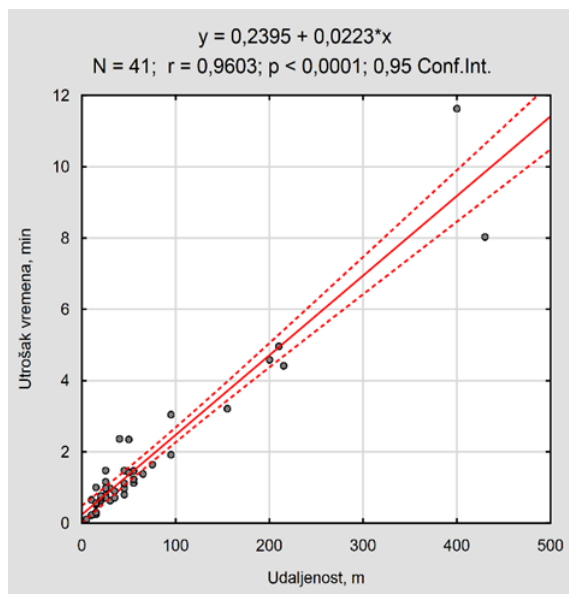
Korigiranjem općih vremena objeda i pripremno završnog vremena i izbacivanjem prekida radi istraživanja dobiven je faktor dodatnog vremena 1,26 (tablica 6).

5.2.2 Ovisnost utroška vremena vožnje o udaljenosti vožnji

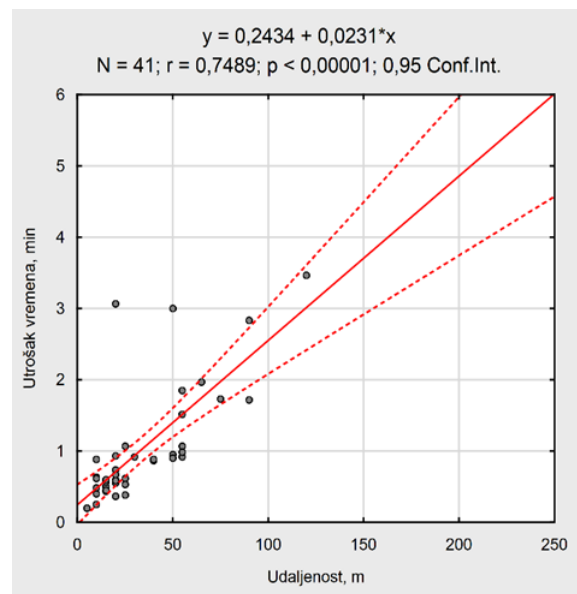
Obradom snimljenih podataka regresijskom analizom utvrđeni su utrošci vremena kretanja neopterećenog i opterećenog forvardera po pomoćnom stovarištu i sječini u zavisnosti o udaljenosti vožnje.

5.2.2.1 Ovisnost utroška vremena vožnje neopterećenog i opterećenog forvardera po pomoćnom stovarištu o udaljenosti vožnje

Prosječna udaljenost vožnje neopterećenog forvardera po pomoćnom stovarištu iznosi $69,63 \text{ m} \pm 95,17 \text{ m}$, s prosječnim utroškom vremena od 1,80 minuta po turnusu. Prosječna udaljenost vožnje opterećenog forvardera po pomoćnom stovarištu iznosi $33,78 \text{ m} \pm 26,43 \text{ m}$, uz prosječni utrošak vremena od 1,02 minute po turnusu. Istraživanje je provedeno na uzorku od 41 turnusa, od čega je u 12 turnusa izvožena tehnička oblovina, a u 29 turnusa višemetarsko prostorno drvo.



Slika 31. Ovisnost utroška vremena vožnje neopterećenog forvardera po pomoćnom stovarištu o udaljenosti vožnje

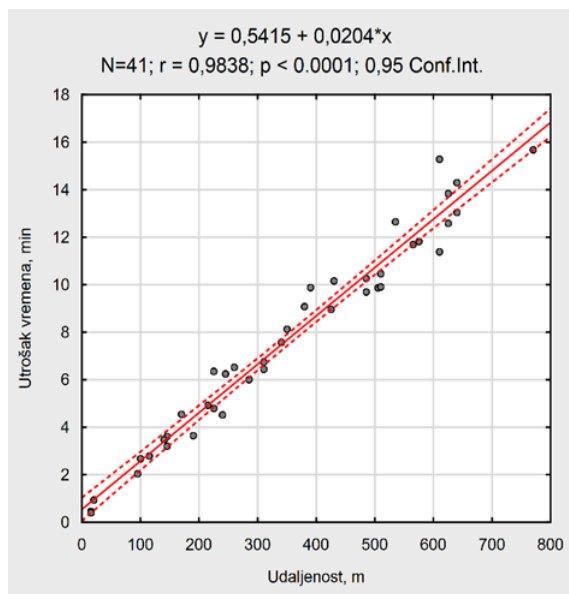


Slika 32. Ovisnost utroška vremena vožnje opterećenog forvardera po pomoćnom stovarištu o udaljenosti vožnje

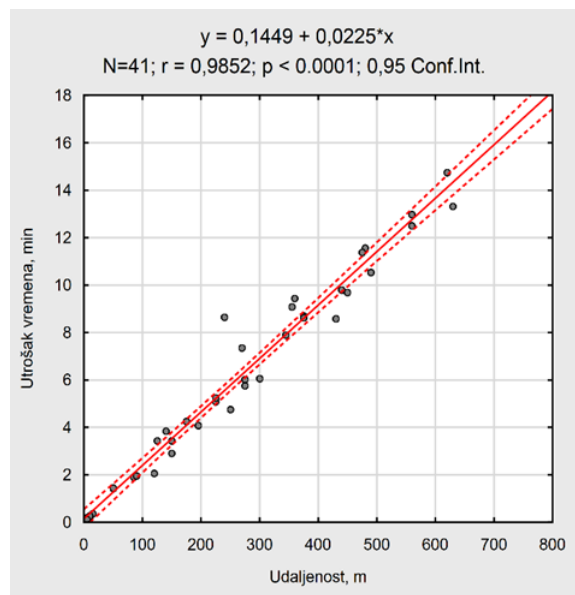
Na slikama 31 i 32 vidljivo je da povećanjem udaljenosti vožnje raste i utrošak vremena vožnje. Također je vidljivo da su prilikom vožnje neopterećenim forvarderom prelažene veće udaljenosti u odnosu na vožnju opterećenog forvardera.

5.2.2.2 Ovisnost utroška vremena vožnje neopterećenog i opterećenog forvardera po sječini o udaljenosti vožnje

Prosječna udaljenost vožnje neopterećenog forvardera po sječini iznosi $352,93\text{m} \pm 204,84\text{ m}$, uz prosječno vrijeme trajanja vožnje od 7,73 minute po turnusu. Opterećen forvarder je vožnjom po sječini prolazio prosječnu udaljenost od $253,41\text{ m} \pm 188,96\text{ m}$, dok je utrošak vremena opterećenog forvardera po sječini iznosio 5,85 minuta po turnusu.



Slika 33. Ovisnost utroška vremena vožnje neopterećenog forvardera po sječini o udaljenosti vožnje



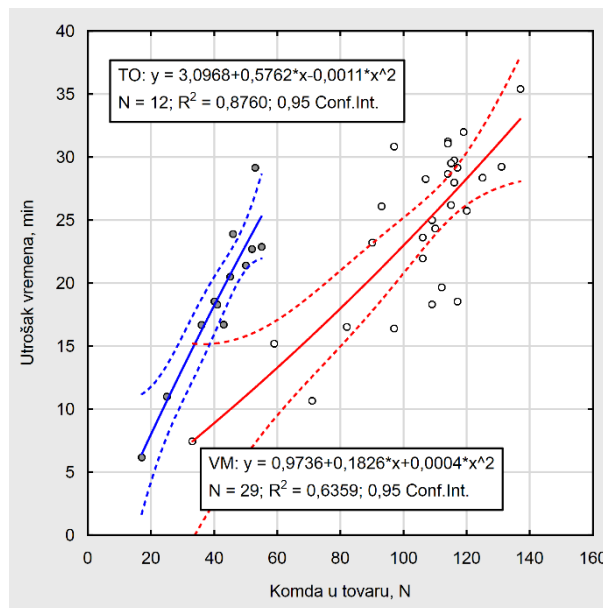
Slika 34. Ovisnost utroška vremena vožnje opterećenog forvardera po sječini o udaljenosti vožnje

5.2.2.3 Ovisnost utroška vremena utovara i istovara o broju komada u tovaru

Utovar drvnih sortimenata započinjao je nakon vožnje neopterećenog forvardera po sječini, odnosno nakon njegova zaustavljanja. Forvarder je obavljao posebno utovar i istovar tehničke oblovine, odnosno višemetarskog prostornog drva pa je stoga moguće vidjeti razliku ovisnosti utroška vremena u odnosu na vrstu drvnog sortimenta. Kao što je prethodno i navedeno izvezeno je 29 tovara višemetarskog prostornog drva i 12 tovara tehničke oblovine.

Za utovar tehničke oblovine prosječno je trebalo 19,01 minutu, a prosječan broj komada u tovaru je bio 42 ± 11 .

Prosječno vrijeme utovara višemetarskog prostornog drva iznosilo je 24,50 minuta, dok je u tovaru prosječno bilo 105 ± 22 komada.



Slika 35. Ovisnost utroška vremena utovara o broju komada u tovaru

Na temelju provedene regresijske analize ovisnost utroška vremena utovara tehničke oblovine o broju komada u tovaru objašnjeno je s 87,60 % varijabilnosti (slika 35).

Manji utrošak vremena koje je potreban za utovar tehničke oblovine, proizlazi iz većih dimenzija tehničke oblovine, odnosno s manjim brojem komada moguće je prije natovariti puni tovar forvardera. Također, povećanjem broja komada tehničke oblovine u tovaru znatno raste i utrošak vremena utovara, dok je to kod višemetarskog prostornog drva manje izraženo, što je vidljivo po nagibima pravaca izjednačenja (slika 35).

Usporedbom pravaca izjednačenja za isti broj komada vidljivo je da utovar višemetarskog prostornog drva ima znatno manji utrošak vremena što je posljedica toga da je višemetarsko prostorno drvo u sječini bilo uhrpano te je na taj način bilo moguće brže utovariti višemetarsko prostorno drvo (slika 35).

Regresijskom analizom je objašnjeno 63,59 % varijabilnosti ovisnosti vremena utovara višemetarskog prostornog drva o broju komada u tovaru (slika 35).

Kod utovara višemetarskog prostornog vidljivo da je potrebno više vremena u odnosu na utovaru tehničke oblovinu iz razloga su dimenzije višemetarskog prostornog drva manje u odnosu na tehničku oblovinu, što posljedično dovodi do većeg broja komada u tovar, te većeg vremena samog utovara (slika 35).

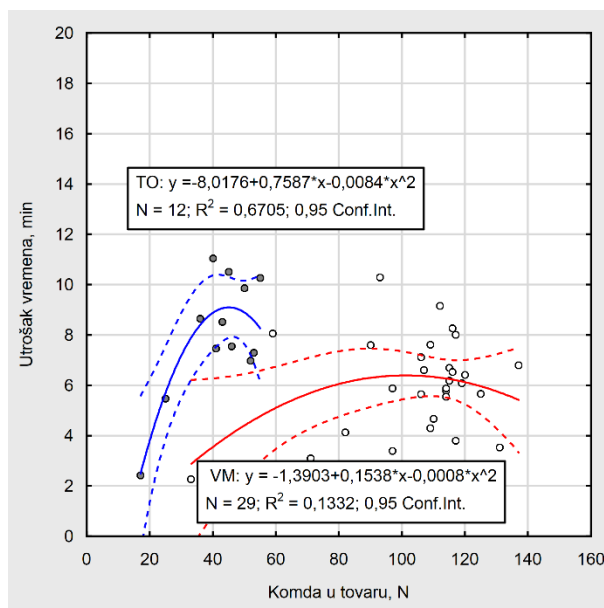
Prosječna udaljenost pomicanja po sječini iznosila je 18 m, uz prosječni utrošak vremena od 19,16 minuta po turnusu.

Završetkom kretanja opterećenog vozila po sječini i pomoćnom stovarištu forvarder započinje s istovarom, slaganjem i razvrstavanjem izvezenog oblog drva (Štimac 2017). Istovar drvnih sortimenata se odvijao na pomoćnom stovarištu koje se je nalazilo s obje strane šumske ceste. Kao što je već navedeno u opisu pomoćnog stovarišta tehnička oblovina je bila »razvučena« s jedne strane pomoćnog stovarišta, dok je višemetarsko prostorno drvo bilo uhrpano sa suprotne strane.

Prosječno vrijeme istovara tehničke oblovinu trajalo je 8,01 minutu, a prosječan broj komada u tovaru je iznosio 42 ± 11 .

Za istovar višemetarskog prostornog drva čiji je tovar prosječno brojio 105 ± 22 komada, prosječno je trebalo 6,04 minute.

Kada se usporedi prosječno vrijeme utovara s prijašnjim istraživanjima (Stankić 2010) istog tipa forvardera, ali prilikom izvažanja drvnih sortimenata u glavnom prihodu (dovršnom sijeku) gdje se vrijeme utovara na više sječina kretalo u rasponu od 9,64 minute po turnusu do 14,43 minute po turnusu, može se zaključiti da je manji utrošak vremena utovara drvnih sortimenata u sječinama glavnom prihoda rezultat većih obujma sortimenata koji se izrađuju prilikom sječa glavnog prihoda te je na taj način moguće brže utovariti puni tovar forvardera. S druge strane utrošci vremena istovara prilikom izvoženja oblovinu u glavnom prihodu kreću se u rasponu od 6,00 minuta po turnusu do 7,93 minute po turnusu što nije bitno različito od utrošaka vremena istovara dobivenih ovim istraživanjem.



Slika 36. Ovisnost utroška vremena istovara o broju komada u tovaru

Ovisnost utroška vremena istovara o broju komada u tovaru, na temelju provedene regresijske analize moguće je objasniti 67,05 % varijabilnosti kod istovara tehničke oblovine, dok kod istovara višemetarskog prostornog drva regresijska analiza objašnjava svega 13,32 % varijabilnosti (slika 23).

Manji utrošak vremena istovara višemetarskog prostornog drva u odnosu na tehničku oblovinu rezultat je mogućnosti da se hidrauličkim hvatalom forvardera zahvati veći broj komada, te se samim tima istovar ubrzava. Također višemetarsko prostorno drvo je bilo uhrpavano na jedan složaj, pa nije bilo potrebno često pomicati forvarder prilikom istovara, a često je cijeli tovar istovaren samo s jednim pomicanjem.

S druge strane sortimenti tehničke oblovine su većih dimenzija i prilikom njihova istovara bilo je potrebno razvući ih po pomoćnom stovarištu kako bi ih poslovođa mogao primiti. Shodno tome prilikom istovara tehničke oblovine forvarder je morao obaviti nekoliko pomicanje kako bi istovarilo cijeli tovar.

Prosječni utrošak vremena pomicanja forvardera po pomoćnom stovarištu iznosio je 0,31 minutu po turnusu, dok je prosječna udaljenost pomicanja iznosila 6 m.

5.2.2.4 Tovari

Tijekom istraživanja forvarder je napravio 41 turnus, od toga je u 12 turnusa izvožena tehnička oblovina, dok je u ostalih 29 turnusa izvoženo višemetarsko prostorno drvo. Prosječni broj komada u tovaru je bio 87 ± 35 komada. Za svaki odsjek izmjeren je po jedan tovar tehničke oblovine i višemetarskog prostornog drva. Obujam tovar višemetarskog prostornog drva iznosio je $12,83 \text{ m}^3$ po turnusu, dok je obujam tovar tehničke oblovine iznosio $14,16 \text{ m}^3$ po turnusu.

Prosječni tovar dobiven je na način da je izračunat ponderirani prosjek s obzirom na strukturu planskog neto obujma u dva istraživana odsjeka i iznosio je $13,28 \text{ m}^3$.

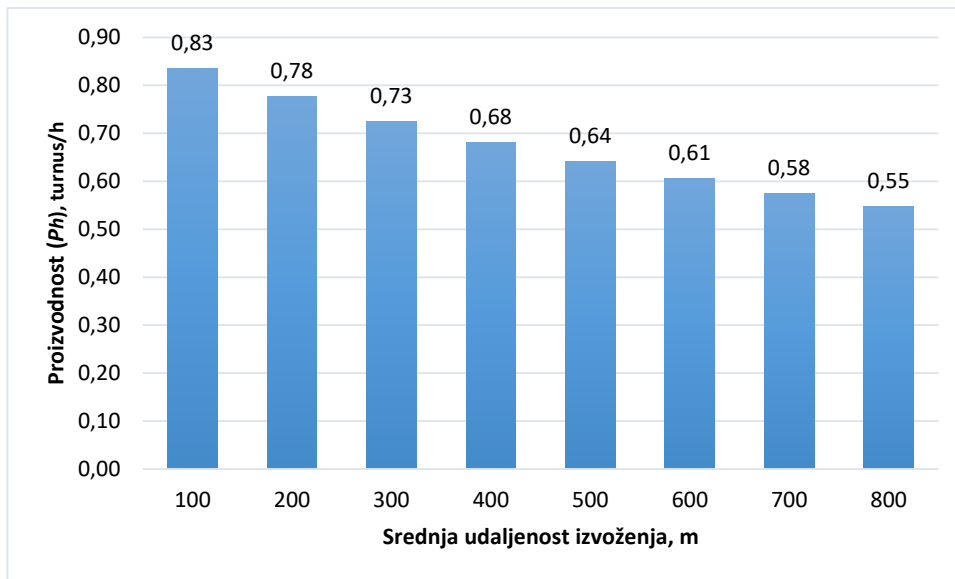
5.2.2.5 Proizvodnost forvardera pri izvoženju drvnih sortimenata

Izračun proizvodnosti forvardera obavljen je na temelju matematičke jednadžbe (3). U jednadžbu je uvršten faktor dodatnog vremena (f_d): utrošak fiksnog efektivnog vremena (t_F) obuhvaćao je utroške vremena za vožnju neopterećenog forvardera po pomoćnom stovarištu ($t_{VPS_N} = 1,80$ minuta/turnus), vožnje opterećenog forvardera po pomoćnom stovarištu ($t_{VPS_O} = 1,02$ minuta/turnus), utovara ($t_U = 22,90$ minuta/turnus), istovara ($t_I = 6,61$ minuta/turnusu), pomicanja po sječini ($t_{P_S} = 19,16$ minuta/turnus), uhrpavanja/razvrstavanja ($t_{UH} = 0,26$ minuta/turnus) i utrošak vremena pomicanja po pomoćnom stovarištu ($t_{P_PS} = 0,31$ minuta/turnus). Utrošak varijabilnih vremena (t_V) vožnje neopterećenog i opterećenog forvardera po sječini je utvrđen pripadajućim regresijskim jednadžbama (slika 33 i 34).

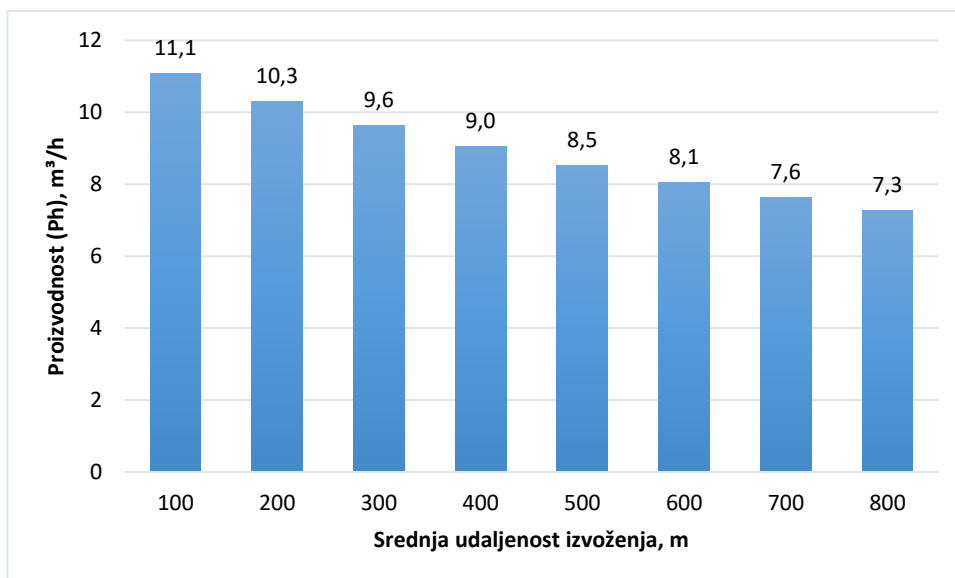
Na temelju dobivenog matematičkog modela može se izračunati proizvodnost izvoženja forvarderom (P_h) (4) iskazna brojem mogućih turnusa izvoženja u radnom satu za različite srednje udaljenosti izvoženja (slika 37). Množenje broja mogućih turnusa s prosječnim obujmom tovara ($13,28 \text{ m}^3$) proizvodnost se može iskazati neto obujmom (slika 38).

$$P_h = \frac{60}{f_d(t_F + t_V)} \left[\frac{\text{turnus}}{h} \right] \dots (3)$$

$$P_h = \frac{60}{f_{dx}(t_{VPS_N} + t_{VPS_O} + t_U + t_I + t_{P_S} + t_{UH} + t_{P_PS} + t_{VS_N} + t_{VS_O})} \left[\frac{\text{turnus}}{h} \right] \dots (4)$$



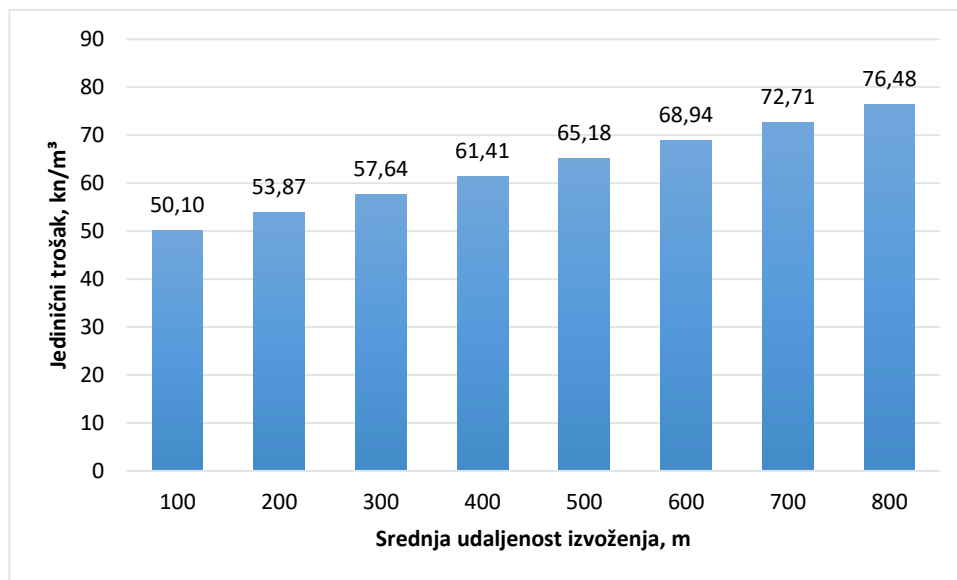
Slika 37. Proizvodnost forvardera iskazana brojem turnusa po satu



Slika 38. Proizvodnost forvardera iskazana obujmom izvezenih sortimenata po satu

Povećanjem udaljenosti izvoženja drvnih sortimenata iz sječine do pomoćnog stovarišta dolazi do smanjenja proizvodnosti. Smanjenje proizvodnosti se očituje u smanjenju broja turnusa po satu koji za srednju udaljenost od 100 metara iznosi 0,83 turnusa, dok za srednju udaljenost od 800 m iznosi svega 0,55 turnusa. Usporedno sa smanjenjem broja turnusa dolazi i do smanjenja količine izvezenog drva koja za srednju udaljenost od 100 m iznosi 11,1 m³ po satu, dok za srednju udaljenost od 800 m iznosi 7,3 m³ po satu (slika 38).

Za izračun jediničnih troškova izvoženja drvnih sortimenata korišten je kalkulativni trošak u iznosu od 555,55 kn/h utvrđen u prijašnjim istraživanjima proizvodnosti forvardera (Vusić 2013). Povećanjem proizvodnosti forvardera dolazi do smanjenja troškova i obrnuto. Jedinični trošak za izvoženje drvnih sortimenata pri srednjoj udaljenosti 100 iznosi 50,10 kn/m³, dok za srednju udaljenost od 800 m jedinični trošak iznosi 76,48 kn/m³ (slika 39).



Slika 39. Jedinični troškovi izvoženja drvnih sortimenata u ovisnosti o srednjoj udaljenosti izvoženja

6. USPOREDBA SKUPNOG RADA HARVESTERA I FORVARDERA S KLASIČNIM NAČINOM PRIDOBIVANJA DRVA

6.1 Usporedba ručno strojne i strojne sječe i izrade

Usporedba je izvršena za svaki odsjek zasebno i to na temelju podataka iz plana sječa za oba odsjeka. Proizvodnosti su izračunate na temelju srednjeg promjera doznačenog stabla, za odsjek 14 b on iznosi 21,7 cm, dok srednji promjer doznačenog stabla za odsjek 14 c iznosi 26,4 cm. Proizvodnost harvestera izračunata je na temelju matematičkog modela (2), dok je proizvodnost ručno – strojne sječe očitana iz »Normativa Faze I i Faze II za plan sječa 2017. godine«. Za izračun jediničnih troškova korišteni su kalkulatívni troškovi za ručno – strojnu i strojnu sječú utvrđeni prijašnjim istraživanjima (Vusić 2013).

Tablica 7. Usporedba proizvodnosti i jediničnih troškova ručno - strojne i strojne sječe i izrade za odsjek 14 b

| Sredstvo rad | Motorna pila | Harvester | | |
|-------------------------------------|--------------|-----------|--------|--------|
| | | 1125 | 2000 | 3000 |
| Radni sati godišnje, h/god | 1544 | 1125 | 2000 | 3000 |
| Trošak strojnog rada, kn/h | 86,61 | 905,85 | 614,41 | 489,52 |
| Proizvodnost, m ³ /h | 1,27 | 8,01 | 8,01 | 8,01 |
| Jedinični trošak, kn/m ³ | 68,20 | 113,09 | 76,71 | 61,11 |

Tablica 8. Usporedba proizvodnosti i jediničnih troškova ručno - strojne i strojne sječe i izrade za odsjek 14 c

| Sredstvo rad | Motorna pila | Harvester | | |
|-------------------------------------|--------------|-----------|--------|--------|
| | | 1125 | 2000 | 3000 |
| Radni sati godišnje, h/god | 1544 | 1125 | 2000 | 3000 |
| Trošak strojnog rada, kn/h | 86,61 | 905,85 | 614,41 | 489,52 |
| Proizvodnost, m ³ /h | 1,88 | 10,84 | 10,84 | 10,84 |
| Jedinični trošak, kn/m ³ | 46,07 | 83,57 | 56,68 | 45,16 |

Unatoč znatno većoj proizvodnosti (m³/h) harvester zbog visokog troška strojnog rada u odnosu na ručno – strojnu sječú i izradu postaje povoljniji tek pri godišnjem iskorištenju od oko 3000 sati (tablica 7 i 8).

6.2 Usporedba privlačenje drvnih sortimenata skiderom i izvoženja drva forvarderom

Usporedba proizvodnosti i jediničnih troškova za oba sredstva rada izvršena je za svaki odsjek zasebno. Podaci o srednjim planskim udaljenostima privlačenje i podaci o proizvodnosti skidera Ecotrac 55V očitani su iz »Normativa Faze I i Faze II za plan sječa 2017. godine«. Srednja planska udaljenost privlačenja za odsjek 14 b iznosi 250 + 100 m, dok je planirani dnevni učinak privlačenja drvnih sortimenata skiderom bez kopčaća 19,82 m³. Planirani dnevni učinak privlačenja drvnih sortimenata u odsjeku 14 c korištenjem skidera bez kopčaća je 18,95 m³, dok je srednja planska udaljenost privlačenja 550 + 100 m. Proizvodnost forvardera izračunata je na temelju matematičkog modela (4), planskih udaljenosti primarnog transporta po sječini i istraživanjem utvrđenih udaljenosti transporta po pomoćnom stovarištu. Za izračun jediničnih troškova korišteni su kalkulatívni troškovi za privlačenje drva skiderom bez kopčaća i izvoženje drva forvarderom utvrđeni prijašnjim istraživanjima (Vusić 2013).

Tablica 9. Usporedba proizvodnosti i jediničnih troškova privlačenja drva skiderom i izvoženja drva forvarderom za odsjek 14 b

| Sredstvo rad | Skider Ecotrac 55V | Forvarder Timberjack 1710D |
|-------------------------------------|--------------------|----------------------------|
| Radni sati godišnje, h/god | 1400 | 1480 |
| Trošak strojnog rada, kn/h | 166,67 | 555,50 |
| Proizvodnost, m ³ /h | 2,48 | 9,63 |
| Jedinični trošak, kn/m ³ | 67,21 | 57,68 |

Temeljem usporedbe jediničnih troškova (tablica 9) može se zaključiti da je u odsjeku 14 b povoljnije izvoziti drvo forvarderom nego privlačiti ga skiderom.

Tablica 10. Usporedba proizvodnosti i jediničnih troškova privlačenja drva skiderom i izvoženja drva forvarderom za odsjek 14 c

| Sredstvo rad | Skider Ecotrac 55V | Forvarder Timberjack 1710D |
|-------------------------------------|--------------------|----------------------------|
| Radni sati godišnje, h/god | 1400 | 1480 |
| Trošak strojnog rada, kn/h | 166,67 | 555,50 |
| Proizvodnost, m ³ /h | 2,37 | 8,05 |
| Jedinični trošak, kn/m ³ | 70,32 | 69,01 |

U odsjeku 14 c, također je povoljnije izvoziti drvo forvarderom, iako razlika jediničnih troškova naspram privlačenja drva skiderom nije velika (tablica 10).

Na temelju podataka iz plana sječa za 2017. godinu za oba odsjeka izračunat je optimalan broj sredstava rada za postizanje maksimalnog učinka. Uspoređene su norme harvesteri i forvardera za oba odsjeka (tablice 7, 8, 9, 10). U odsjeku 14 b na jedan harvester trebalo bi angažirati 0,8 forvardera, dok bi u odsjeku 14 c na jedan harvester trebalo angažirati 1,3 forvardera. Iz navedenog se može zaključiti da sustav na razini odsjeka nije optimalno usklađen. U odsjeku 14 b unatoč sortimentima manjih obujma u odnosu na odsjek 14 c, moguće je obaviti više turnusa iz razloga što je odsjek 14 b bliži pomoćnom stovarištu, odnosno srednja udaljenost izvoženja je manja.

7. ZAKLJUČAK

- ❖ Rad istraživanog sustava pridobivanja drva omogućen je provedbom pripremnih radova koji su obuhvatili modificiranu doznaku stabala i obilježavanje »harvesterskih pruga«.
- ❖ Primjena istraživanog sustava pridobivanja drva u proredi listača je djelomično troškovno pogodna. Strojna sječa i izrada bi bila povoljnija od ručno – strojne sječe tek pri iskorištenju harvestera od oko 3000 h godišnje. Rezultat toga je jednim dijelom visoka cijena strojnog rada harvestera i njegova proizvodnost u istraživanim sastojinama koja nije optimalna zbog relativno visokog faktora dodatnog vremena i utroška vremena za izradu krošnje. Proizvodnost harvestera se kretala o rasponu od 3,9 m³/h za prsni promjer 12,5 cm do 16,8 m³/h za prsni promjer 42,5 cm, uz jedinične troškove od 235,07 kn/m³ za prsni promjer 12,5 cm do 54,08 kn/m³ za prsni promjer 42,5 cm. S druge strane izvoženje drva forvarderom je, u promatranim uvjetima troškovno pogodnije od privlačenja drva skiderom Ecotrac 55V koji se inače koristi prilikom privlačenja drva iz prorednih sastojina u UŠP Bjelovar.
- ❖ Kako bi se postigao optimalni učinak istraživanog sustava pridobivanja drva u odsjeku 14 b na jedan harvester trebalo bi angažirati 0,8 forvardera, dok bi u odsjeku 14 c na jedan harvester trebalo angažirati 1,3 forvardera. Iz navedenog se može zaključiti da sustav na razini odsjeka nije optimalno usklađen.
- ❖ Kao posljedica uhrpavanja drvnih sortimenata višemetarskog prostornog drva prilikom sječe i izrade moguće je znatno brže utovariti isti broj komada višemetarskog prostornog drva u odnosu na tehničku oblovinu. Također zbog istovara višemetarskog prostornog drva na jedan složaj na pomoćnom stovarištu dolazi do znatno manjeg vremena utroška istovara za višemetarsko prostorno drvo u odnosu na tehničku oblovinu koja je bila »razvučena« na pomoćnom stovarištu kako bi se omogućilo preuzimanje.

8. LITERATURA

1. Bensch, P., Urbaniak, W., 2001: Timberjack today and for ever. Sammelbuch »Stand und Entwicklung der Forstlichen Verfahrenstechnik an der Wende des Jahrhunderts«, 34. Internationales Symposium »Mechanisierung Der Waldarbeit« Forstliche Fakultat Warschau, Polen, 10–13 Juli 2000, 15–21.
2. Bojanin, S., 1987: Proučavanje rada. Skripta, Šumarski fakultet, Zagreb, 1–110.
3. Bojanin, S., Krpan, A. P. B., 1997: Mogućnost tzv. visokog i potpunog mehaniziranja sječe i izrade te mehaniziranja privlačenja drva u šumama Hrvatske. Šumarski list 121 (7/8), 371–381.
4. Bručić, G., 1997: Morfloška prosudba nekih značajki harvesterskih glava. Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–31.
5. Danilović, M., Tomašević, I., Gačić, D., 2014: Efficiency of John Deere 1470D ECOIII Harvester in Poplar Plantations. Croatian Journal of Forest Engineering. 32(2): 533–548.
6. Drushka, K., Konttinen, H., 1997: Tracks in the forest; Timberjack Group Oy; Helsinki.
7. Forbrig, A., B. G. Encke, 1996: Tagungsführer zur 12 KWF-Tagung 1996. Oberhof-Thüringen, KWF, Gross-Umstadt, 1–136.
8. Forbrig, A., B. G. Encke, 2004: Prozessorientierung in der Forstwirtschaft neue Technik, neue Partner neues Denken. Tagungsführer zur 14. KWFTagung 2004, Groß-Umstadt / Hessen, Deutschland, 1–142.
9. Granić, L., 2013: Morfološka raščlamba harvestera. Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–24.
10. Hoss, C., 2001: Harvester simulators as effective tools in education. Proceedings of International conference »Thinnings: A valuable forest management tool«, September 9-14, 2001, IUFRO Unit 3.09.00 & FERIC & Natural Resources Canada & Canadian Forest Service, CD.
11. Kellog, L. D., Bettinger, P., Studier, D., 1993: Terminology of Ground-Based Mechanized Logging in the Pacific Northwest. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, Research Contribution 1, 1–12.

12. Krpan, A. P. B., 1992: Iskorišćivanje šuma (Forest exploitation). Monografija »Šume u Hrvatskoj«, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i »Hrvatske šume« p.o. Zagreb, 153–170.
13. Krpan, A. P. B., 2000: Mogućnosti primjene vrhunskih tehnologija pri iskorištavanju šuma u Hrvatskoj (Possibilities of implementation of high technologies in forest harvesting in Croatia. Znanstveni skup »Vrhunske tehnologije u uporabi šuma«, Zagreb, 11. travnja 2000., HAZU, Znanstveno vijeće za poljoprivredu i šumarstvo, 45–63.
14. Krpan, A. P. B., Poršinsky, T., 2001: Harvester Timberjack 1070 u Hrvatskoj. Šumarski list 125(11–12): 619–624.
15. Krpan, A. P. B., Poršinsky, T., 2002: Proizvodnost harvestera Timberjack 1070 pri proredi kulture običnoga bora. Šumarski list 126(11–12): 551–561.
16. Krpan, A. P. B., Poršinsky, T., 2004: Djelotvornost strojne sječe i izrade u sastojinama tvrdih i mekih listača – 2. dio: Djelotvornost harvestera u kulturi mekih listača. Šumarski list 128 (5-6): 233–244.
17. Krpan, A. P. B., Poršinsky, T., Stankić, I., 2004: Djelotvornost strojne sječe i izrade u sastojinama tvrdih i mekih listača – 3. dio: Djelotvornost harvestera u prirodnoj prorednoj sastojini tvrdih listača. Šumarski list 128 (9-10): 495–508.
18. Matić, S., 2011: Međunarodna godina šuma u svjetlo 50 – godišnje uske suradnje hrvatske šumarske znanosti i struke. Uvodnik, Croatian Journal of Forest Engineering. 32(1): 1–6.
19. Mudri, I., 2012: Proizvodnost skidera Ecotrac 120V pri privlačenju drvnih sortimenata poludeblovnom metodom na području Šumarije Ivanec. Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–27.
20. Pandur, Z., 2013: Primjena komercijalnog sustava za praćenje rada strojeva u istraživanju izvoženja drva forvarderom. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–312.
21. Pandur, Z., Poršinsky, T., Šušnjar, M., Zorić, M., Vusić, D., 2014: Gaženje tla pri izvoženju drva forvarderom u sječinama hrasta lužnjaka. Nova mehanizacija šumarstva 35: 23–34.
22. Poršinsky, T., Krpan, A., P., B., Stankić, I., 2004: Djelotvornost strojne sječe i izrade u sastojinama tvrdih i mekih listača – 4. dio: Okolišna pogodnost strojne sječe u prirodnim sastojinama. Šumarski list 128 (11-12): 655–669.

23. Poršinsky, T., 2005: Djelotvornost i ekološka pogodnost forvardera Timberjack 1710 pri izvoženju oblovine iz nizinskih šuma Hrvatske. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. 1–170.
24. Poršinsky, T., Stankić, I., Bosner, A., 2011: Djelotvorno i okolišno prihvatljivo izvoženje drva forvarderom temeljem analize nominalnog tlaka na podlogu. Croatian journal of forest engineering 32(1): 345–356.
25. Sambo, S. M., 1999: Reduction of trail density in a partial cut with a cut-to-length system. For. Eng. Res. Inst. Can. (FERIC), Pointe-Claire, Que. Tech. Note TN-293. 1–12.
26. Sever, N., 2013: Proizvodnost skidera Ecotrac 55V pri privlačenju oblog drva u dovršnom sijeku hrasta lužnjaka na području Šumarije Vrbovec. Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–30.
27. Sionneau, J., Cuchet, E., 2001: Mechanisation of Thinnings in Hardwood, The Franch Experiiece, Proccedings of International conference »Thinnings: A valuable forest management tool«. September 2001, 9–14
28. Slabak, M., 1983: Forvarderi u svijetu i kod nas. Zbornik radova »Mehanizacija šumarstva u teoriji i praksi«, Opatija, 351–361.
29. Slugen, J., Peniaško, P., Messingerova, V., Jankovsky, M., 2014: Productivity of John Deere harvester unit in deciduous stand. Acta Universtatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 62(1): 231–238.
30. Stankić, I., 2010: Višekriterijsko planiranje izvoženja drva forvarderima iz nizinskih šuma Hrvatske. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–123.
31. Štimac, Z., 2017: Proizvodnost mehaniziranog sustava pridobivanja drva u šumskoj kulturi obične smreke (*Picea abies* L./ Karsten) na području Gorskog kotara. Završni specijalistički rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–89.
32. Šušnjar, M., 2005: Istraživanje međusobne ovisnosti značajke tla traktorske vlake i vučne značajke skidera. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–146.
33. Taboršak, D., 1987: Studij rada. Str. 1-214, Zagreb, Tehnička knjiga.
34. Tomašić, Ž., 2012: Razvoj tehnologije i tehničkih sredstava u pridobivanju drva s obzirom na posebnosti šuma i šumarstva u Republici Hrvatskoj. Nova mehanizacija šumarstva 33: 53–67.

35. Vincenc, G., 2017: Tko će u budućnosti raditi u šumi?. Hrvatske Šume 245 (svibanj 2017.): 4–5.
36. Vusić, D., Zečić, Ž., Turk, Z., 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.
37. Vusić, D., 2013: Pogodnost sustava pridobivanja drvene biomase u smrekovoj šumskoj kulturi. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–174.