

Analiza gaženja tla prilikom strojne sječe, izrade i izvoženja drva u prorednoj sastojini listača

Ostović, Katarina

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:979263>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-14**



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

KATARINA OSTOVIĆ

**ANALIZA GAŽENJA TLA PRILIKOM STROJNE SJEČE, IZRADE
I IZVOŽENJA DRVA U PROREDNOJ SASTOJINI LISTAČA**

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, RUJAN, 2018.

ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

ŠUMARSKI ODSJEK

**ANALIZA GAŽENJA TLA PRILIKOM STROJNE SJEČE, IZRADE I
IZVOŽENJA DRVA U PROREDNOJ SASTOJINI LISTAČA**

DIPLOMSKI RAD

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

Predmet: Okolišno prihvatljive tehnologije

Ispitno povjerenstvo: 1. doc. dr. sc. Zdravko Pandur

2. prof. dr. sc. Marijan Šušnjar

3. Marin Bačić, mag. ing. silv.

Student: Katarina Ostović

JMBAG: 0068214856

Broj indeksa: 755/16

Datum odobrenja teme: 20.04.2018.

Datum predaje rada: 17.07.2018.

Datum obrane rada: 07.09.2018.

Zagreb, rujan, 2018.

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

vlastoručni potpis

Katarina Ostović

U Zagrebu, 17.07.2018.

DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Naslov	Analiza gaženja tla prilikom strojne sječe, izrade i izvoženja drva u prorednoj sastojini listača
Title	Soil disturbance analysis during timber harvesting and forwarding in deciduous thinning stand
Autor	Katarina Ostović
Adresa autora	Ulica Pavla Šubića 16, 10 000 Zagreb
Mjesto izrade	Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	doc. dr. sc. Zdravko Pandur
Izradu rada pomogao	doc. dr. sc. Zdravko Pandur
Godina objave	2018.
Obujam	34 stranice, 10 slika, 1 tablica i 54 navoda literaure
Ključne riječi	harvester, forwarder, proredna sastojina, sastojina listača, gaženje tla, FMS, GPS
Key words	harvester, forwarder, thinning stand, deciduous stand, soil disturbance, FMS, GPS
Sažetak	U radu će se napraviti analiza gaženja tla tijekom strojne sječe i izrade drva harvesterom te naknadnog izvoženja drva forwarderom u prorednim sastojinama listača. Oba stroja su bila opremljena sustavom za daljinsko praćenje rada (FMS-om) koji je između ostalog snimao i koordinate njihovog kretanja prilikom izvođenja radova. Dobivene koordinate će se obraditi u ArcGIS programskom paketu. U radu će se prikazati udio gažene površine sastojine te dati smjernice za smanjenje iste.

SADRŽAJ:

DOKUMENTACIJSKA KARTICA	I
SADRŽAJ:	II
POPIS SLIKA:.....	III
POPIS TABLICA:.....	IV
PREDGOVOR:	V
1. UVOD.....	1
2. PROBLEMATIKA I CILJ ISTRAŽIVANJA	4
2.1. CILJ ISTRAŽIVANJA	10
3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA	11
3.1. MJESTO ISTRAŽIVANJA.....	11
3.2. OBJEKTI ISTRAŽIVANJA	14
3.3. METODE ISTRAŽIVANJA.....	20
3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA	24
4. ZAKLJUČAK	29
5. LITERATURA	30

POPIS SLIKA:

- Slika 1. GJ »Bjelovarska Bilogora«, odsjeci 14 b i 14 c na karti Republike Hrvatske
- Slika 2. Odsjeci 14 b i 14 c, GJ »Bjelovarska Bilogora«
- Slika 3. Harvester TimberJack 1470D
- Slika 4. Forvarder TimberJack 1710D
- Slika 5. Osnovne komponente sustava za daljinsko praćenje vozila (FMS-a)
- Slika 6. Mobilisis WiGo
- Slika 7. Prostorni razmještaj izvoznih puteva i sječnih linija unutar istraživanih odjela 14b i 14c
- Slika 8. Karta gaženja tla nakon obavljene strojne sječe i izrade harvesterom
- Slika 9. Karta gaženja tla nakon izvoženja drva forvarderom
- Slika 10. Karta gaženja tla nakon obavljene sječe i izrade te nakon izvoženja drva

POPIS TABLICA:

Tablica 1. Model procjene razine oštećenja staništa kod kretanja forvardera pri izvoženju drva

Predgovor:

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

Zahvaljujem se svom mentoru doc. dr. sc. Zdravku Panduru na predloženoj temi za izradu ovog diplomskog rada, jer sam proučavanjem i pisanjem o ovoj tematici dobila novi pogled na budućnost u šumarstvu.

Također posebnu zahvalnost i na mnogim savjetima te 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.

Katarina Ostović

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 gospodarenju 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 mehanizirane 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 transporta drva u Hrvatskoj započinje u spačvanskim šumama u 19. stoljeću, kada se intenzivira sječa u svrhu proizvodnje hrastovih dužica za izradu bačava u Francuskoj i Njemačkoj. U ono vrijeme transport drva karakterizira privlačenje volovskim i konjskim spregama, prijevoz zaprežnim kolima tzv. parizerima, plavljenje i splavarenje vodom, korištenje gravitacije na razne druge načine te iznošenje drva ljudskom snagom. Koncem 19. i početkom 20. stoljeća uvodi se mehanički transport, u kojemu glavnu ulogu odigravaju šumske željeznice (Krpan 1992).

U današnje vrijeme vozila koja se primjenjuju za primarni transport drvnih sortimenata u nizinskim šumama (nema vuče drva po tlu već se drvo izvozi na kotačima) su uglavnom specijalna šumska vozila – forvarderi i traktorske ekipaže. Forvarderi se primjenjuju kao radno sredstvo za izvoženje drvnih sortimenata kod oplodnih sječa, ali i kod proreda u sastojinama koje su već pri kraju ophodnje, dok se traktorske ekipaže primjenjuju uglavnom kod proreda te rijetko i kod oplodnih sječa. Upotreba takvih vozila uvjetuje sortimentnu metodu izradbe stabala. (Pandur, Z.)

Slabak (1983) navodi da je privlačenje drva najskuplji i najteži posao u pridobivanju drva i zato kao ključnu dilemu navodi da li drvo vući po tlu ili izvoziti na kotačima. Isti autor navodi da je izvoženje drva već u to vrijeme uobičajeni način

privlačenja drva za tadašnje SŠGO »Slavonske šume«.

Sever (1980) navodi da se uvođenjem specijalnih šumskih vozila omogućilo i uvođenje novih tehnoloških procesa u fazi privlačenja. Prvi forvarderi u Hrvatskoj primjenjuju se od 1971. g. i to dva 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.

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).

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 harvesteru 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 odlučuju 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).

Mehanizacija koja se koristi u postupcima primarnog transporta drva nije sama sebi svrha već je njezina uloga, osim zamjene ljudskoga rada strojnim, povećanje mogućnosti da se dosegne optimalno funkcioniranje šume (Horvat 1993). Isti autor navodi da primjena mehanizacije ima i negativne posljedice pogotovo ako postoji nesuglasje u biološki zamišljenim radnjama i realnim mogućnostima strojeva. Te posljedice se opažaju kao štete na šumskoj sastojini i staništu, što povećava osjetljivost šumskog ekosustava na bolesti, zagađenje okoliša te uvjetuje smanjenje proizvodnosti šume.

U svrhu što boljeg nadzora rada strojeva u novije se vrijeme takva vozila opremaju sustavom koji omogućava daljinsko praćenje njihovog rada – FMS-om (engl. *Fleet Management System*). Prva primjena FMS-a je bila u voznim parkovima kod cestovnih vozila, a kasnije se radi brojnih koristi počinje primjenjivati i na vozilima koja se kreću izvan puteva (Pandur 2013).

Dobrom organizacijom rada smanjuje se štetan utjecaj kretnog sustava vozila na tlo ograničavanjem kretanja vozila na unaprijed određene traktorske vlake. Samim time smanjuje se površina izgaženoga tla koja prvenstveno ovisi o primijenjenoj tehnologiji i metodi rada koja u ovom slučaju uključuje sječu i izradu drvnih

sortimenata harvesterom i izvoženje drva forvarderom, te organizaciji i pripremi rada što se uglavnom odnosi na usmjereno rušenje stabala (Horvat 1993).

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

Strojevi koji se koriste u procesima pridobivanja drva, posebno oni koji za obavljanje rada koriste tlo kao nosivu podlogu voznog postroja (kotačnog ili gusjeničnog) mogu uzrokovati oštećenja šumišta. Ta oštećenja najviše se odnose na šumsko tlo što se posljedično odražava i na vegetaciju kojoj tlo sa svojim karakteristikama predstavlja jedan od preduvjeta za opstanak i razvoj. Direktne štete koje se javljaju na šumskim tlima izazvane su zbijanjem čestica tla prolaskom vozila, njegovim premještanjem te prodorima kotača u tlo posebno kod njegove ograničene nosivosti. (Pandur 2014).

Šumska tla imaju kompleksnu slojevitú strukturu u kojoj se nalaze primjese kao što su korijenje i/ili kamenje i kao takva su uvijek prekrivena organskim materijalom (Robek i Matthies 1996).

Problem sabijanja šumskoga tla se povećava ubrzaním razvojem mehaniziranih sredstava i rasta njihove primjene pri izvođenju šumskih radova. Šumska vozila postaju sve većih masa, a razlozi su u zahtjevima za povećanjem proizvodnosti, primjenjivosti i trajnosti vozila (Rieppo i dr. 2002). Mogućnost opremanja vozila s više šumarske opreme (dizalica, vitlo...) te mjera opreza od preopterećenja vozila također djeluju na povećanje mase.

Sabijanje čestica tla uzrokovano je okomitim djelovanjem opterećenog kotača na tlo te obodnom silom koja se javlja na pogonskom kotaču zbog koje dolazi do pojave klizanja. Zbog opterećenja kotačima dolazi do pojave naprezanja u tlu što dovodi do smanjenja poroziteta tla, povećanja gustoće tla te smanjenja međuagregatnih prostora. Zbog svega toga pogoršava se toplotni i zračni režim tla, smanjuje se propusnost tla za vodu te dolazi do otežanog razvoja korijenovog sustava stabala. Povećanje gustoće tla utječe na asimilaciju korjenovog sustava uslijed smanjenja pora i udjela vlage u tlu što dovodi do nedostupnosti hraniva koje je

glavni uzrok smanjenja rasta biljaka (Quesnel i Curran 2000, Han 2006, Reisinger i dr. 1992, Grigal 2000).

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

U oštećenja tla koja nastaju prolaskom vozila po šumskom tlu ubraja se i gaženje tla koje se definira kao dio površine po kojoj se kreću vozila u odnosu na ukupnu površinu sječne jedinice (odjel/odsjek) na kojoj se izvode radovi (Horvat 1994). Površina gaženja predstavlja značajan parametar oštećenja šumskog tla pri izvoženju drva forvarderima (Poršinsky 2005) koji se kreću po čitavoj površini sastojine utovarujući izrađene drvene sortimente.

Kod CTL (engl. Cut-to-length) ili sortimentne metode pridobivanja drva posljedica je manje oštećivanje tla iz razloga što se kod navedene metode općenito smatra da se drvo izvozi na kotačima (forvarderom) pri čemu se tlo oštećuje samo voznim sustavom vozila, dok u odnosu na privlačenje drva skiderima tlo se oštećuje i voznim sustavom i vučenim drvom (Rummer 2002). Seixas i dr. (1995) uspoređujući pet različitih sustava pridobivanja drva izrađenog CTL metodom zaključuju da je najmanje oštećenje prouzročeno kombinacijom feller-buncher → ručno strojna izrada (motorna pila) → forvarder pri čemu je gaženje sastojine svedeno na 26 %. Kod sustava sa kombinacijom harvester – forvarder kod kojega harvester prilazi svakom stablu (drive-to-tree system) gaženje tla je iznosilo 39 %, dok kod upotrebe konjskih sprega gaženje je iznosilo 42 %. Ovi rezultati su upitni iz razloga što se prema općeprihvaćenoj organizaciji rada harvester treba kretati (nakon njega i forvarder) po unaprijed definiranim sekundarnim šumskim prometnicama pri čemu se gaženje tla smanjuje na najmanju mjeru.

U gotovo svim navedenim slučajevima osnova za dobivanje podataka o gaženju tla je GIS analiza koordinata dobivenih pomoću GPS sustava, odnosno GPS prijemnika ugrađenog na praćeno vozilo. Pa tako Han i dr. (2009) koriste GPS uređaj za snimanje putanja kretanja skidera i forvardera kod dva različita načina privlačenja drva. Snimanje koordinata je bilo namješteno na svakih 15 m kretanja vozila, a

dobiveni rezultati su služili za izračun površine gaženja tla sastojine uz pomoć programskog paketa ArcGIS 9.1.

Han (2006) navodi da je prikupljanje, odnosno obrada dobivenih podataka u ovisnosti o broju prolaza vozila na takav način teška, ali u konačnici omogućuje jasan vizualan prikaz jako opterećenih područja. Takav način ujedno omogućuje i stvaranje baze podataka kretanja strojeva po sječini (Bettinger i dr. 1994) koja se može koristiti za buduće planiranje izvođenja radova, odnosno biranja najpogodnijeg sustava pridobivanja drva sa pripadajućom mehanizacijom.

Veliki broj istraživanja ukazuje na to da se najveći negativan utjecaj na tlo događa upravo nakon prvog prolaza vozila (Lacey i Ryan, 2000, Startsev i McNabb 2000, Nugent i dr. 2003). Ta tvrdnja ide u korist činjenici da se vozilo treba isključivo kretati po unaprijed definiranim sekundarnim šumskim prometnicama. Kako neoštećeno šumsko tlo predstavlja osnovni preduvjet za nesmetan razvoj vegetacije i mikro-organizama u tlu njegovo sabijanje treba spriječiti što je više moguće (Amporter i dr. 2009.)

Gaženje prvenstveno ovisi o primijenjenoj tehnologiji i metodi rada, organiziranosti i pripremi rada, upotrijebljenim sredstvima rada i sl., dok sabijanje tla, u prvom redu ovisi o vozilu, stanju i svojstvima tla te masi tereta koji se privlači (Šušnjar 2005, Šušnjar i dr. 2006).

Skandinavski model za procjenu razine oštećenja staništa kod kretanja forvardera pri izvoženju drva iznosi Wästerlund (2002) (tablica 1). Taj model procjenjuje razinu oštećenja tla na osnovu izgažene površine sječne jedinice i dubine kolotraga.

Tablica 1. Model procjene razine oštećenja staništa kod kretanja forvardera pri izvoženju drva.

Dubina kolotraga, cm	Izgažena površina, % od površine sječne jedinice			
	< 10 %	10 – 20 %	20 – 30 %	> 30 %
< 5 cm	Nema	Nema	Malo	Veliko
5 – 9,9 cm	Nema	Malo	Veliko	Vrlo veliko
10 – 14,9 cm	Malo	Veliko	Vrlo veliko	Vrlo veliko
15 – 19,9 cm	Veliko	Vrlo veliko	Vrlo veliko	Neprihvatljivo
> 20 cm	Neprihvatljivo			

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. Vlaka 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 harvestera kombinira s ručno-strojnom sječom ili se pri radu harvester kreće po površini između vlaka (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 harvesteri 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 harvesteri 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 harvesteri 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 harvesteri 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 harvesteri koji je neadekvatno održavan. Isti autori navode kako je proizvodnost harvesteri 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 složajeve 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, 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.

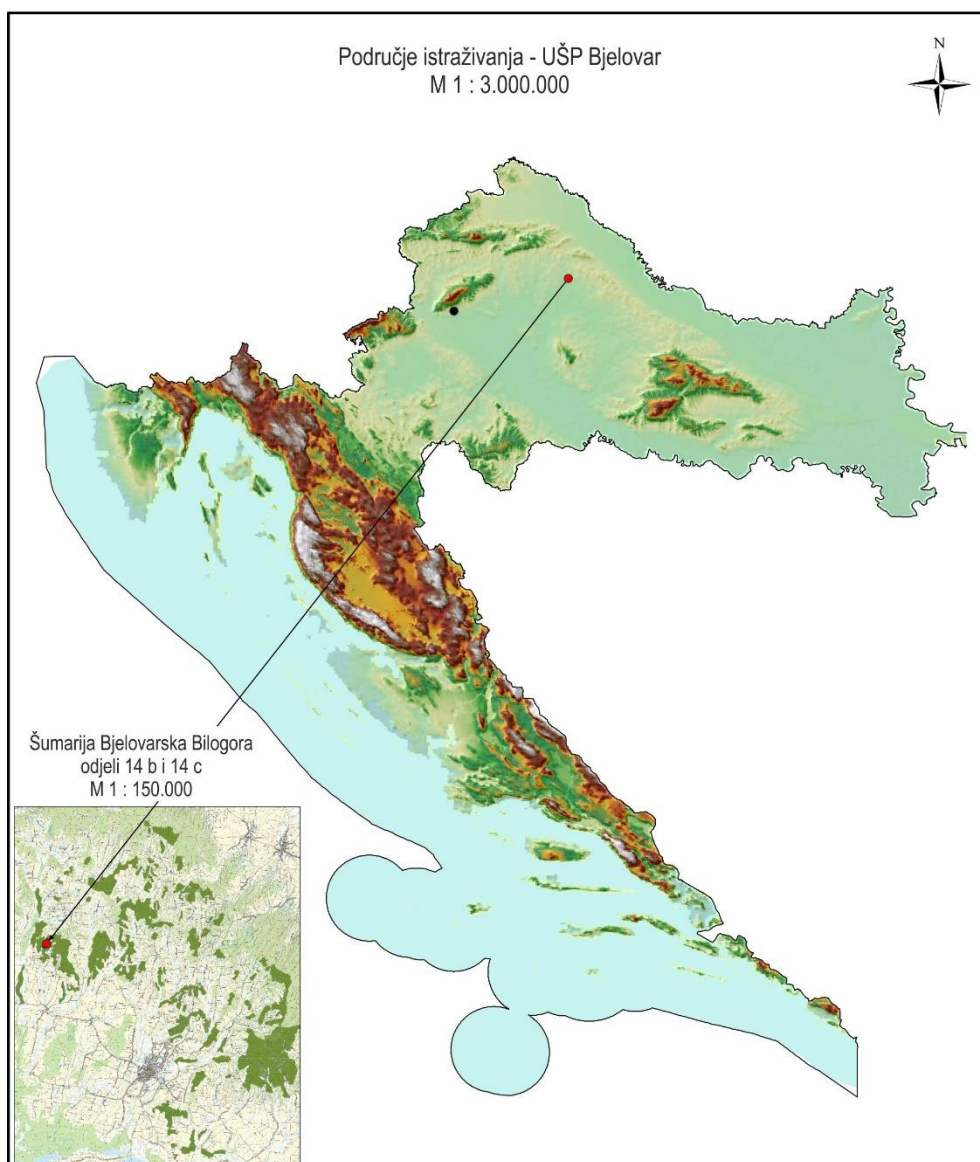
2.1. Cilj istraživanja

Cilj ovog istraživanja je utvrditi gaženje tla korištenjem GPS uređaja koji je sastavni dio mobilne jedinice, odnosno FMS-a kod sječe i izrade drvnih sortimenata harvesterom i naknadnog izvoženja drva forvarderom (trupaca i višemetarskog ogrijevnog drva) iz prorednih sastojina običnog graba i obične bukve po prethodno obilježenim sječnim linijama i izvoznim putevima.

3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

3.1. Mjesto istraživanja

Istraživanje primjene sustava harvester-forwarder za prorede listača provedeno je na području UŠP Bjelovar, Šumarije Bjelovar u gospodarskoj jedinici »Bjelovarska Bilogora« u sklopu projekta "Optimizacija sustava pridobivanja drva i šumske prometne infrastrukture na strateško-taktičkoj razini planiranja" financiranog sredstvima naknade općekorisnih funkcija šuma.



Slika 1. GJ »Bjelovarska Bilogora«, odsjeci 14 b i 14 c na karti Republike Hrvatske

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.

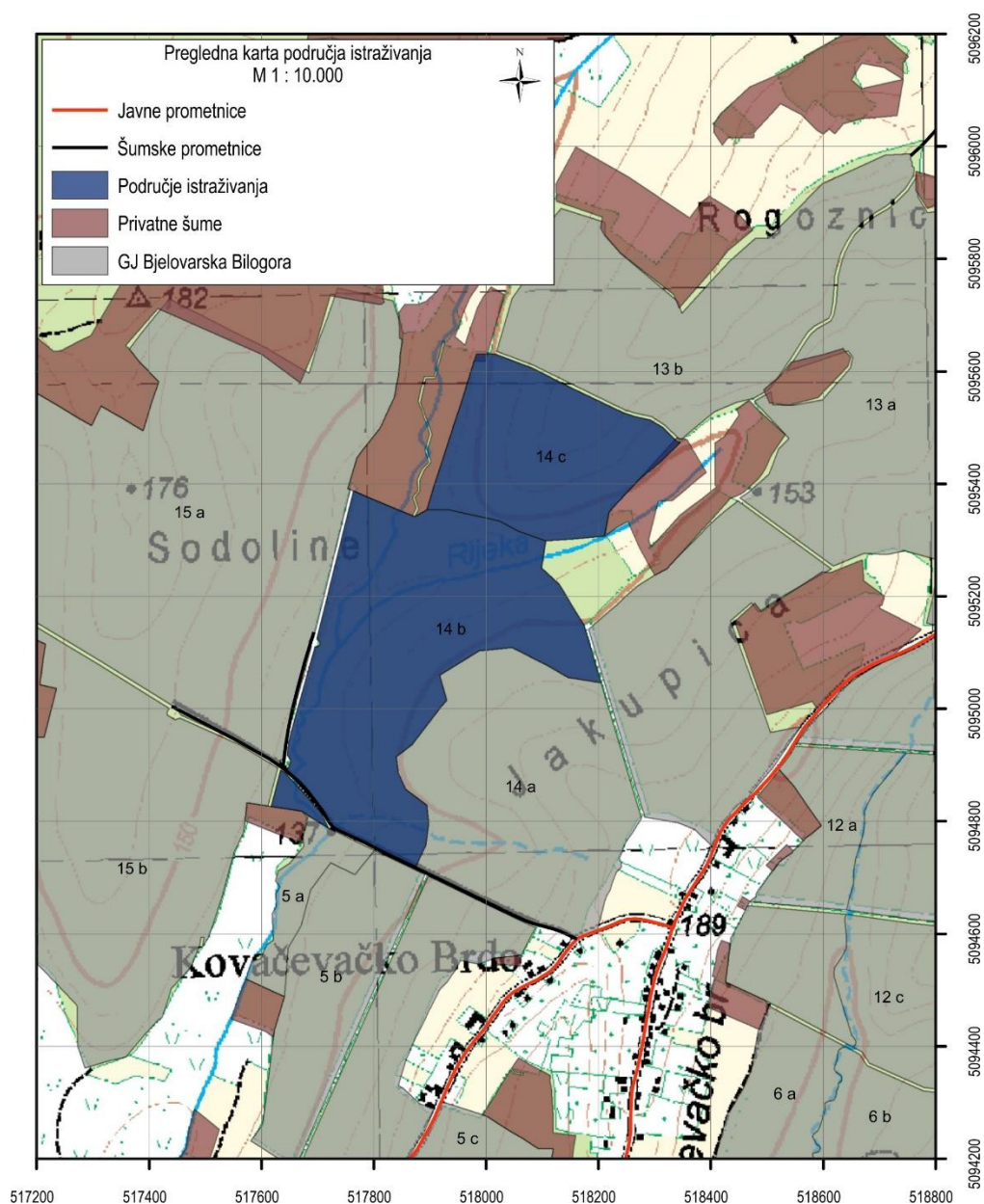
Propisana je sječa samo običnog graba u intenzitetu 32 m³/ha i obične bukve 2,02 m³/ha.

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.



Slika 2. Odsjeci 14 b i 14 c, GJ »Bjelovarska Bilogora«

3.2. Objekti istraživanja

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).

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).

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.

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.



Slika 3. Harvester TimberJack 1470D.

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 dimezija) te pohranjivanje podataka o izrađenoj oblovini 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. Vodilica lančane pile je dugačka 75 cm, a brzina kretanja lanca iznosi 40 m/s.

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).

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.



Slika 4. Forvarder TimberJack 1710D.

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.

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.

Način rada harvestera

Operater harvestera 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 harvestera operater je zagrijao stroj u trajanju od nekoliko minuta. Do sječe harvester se kretao traktorskim vlakama. Sječa stabala se izvodila na način da se harvesterskom glavom obuhvatilo deblo dubjećeg 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.

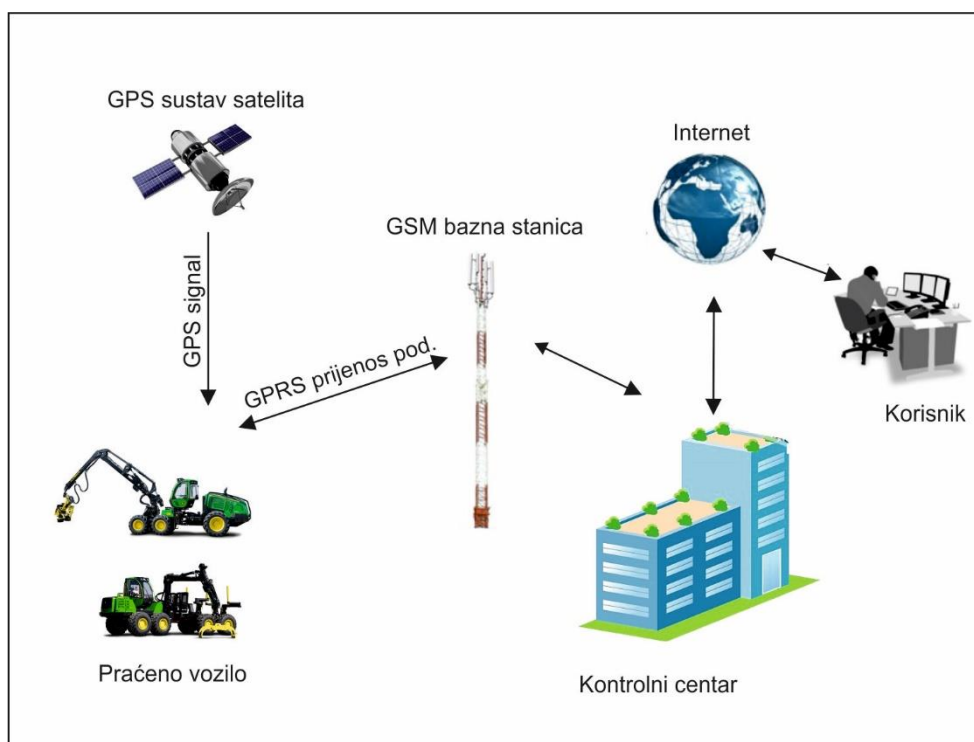
Višemetarsko prostorno drvo je izrađivano na standardne duljine od 4 m. Izrađene drvene sortimente harvester je slagao pored harvesterske pruge sa koje je obavljao sječu i izradu, dok je ostatak neizrađene krošnje (sitnu granjevinu) odlagao pod kotače.

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 »harvesterskim prugama«. Izvoženje drvnih sortimenata je obavljano na način da su tehnička oblovina i višemetarsko prostorno drvo izvažani zasebno.

3.3. Metode istraživanja

Za snimanje položaja i putanja kretanja, te na temelju snimljenih koordinata izračuna duljine puta kretanja forvardera, odnosno gaženja, korišten je GPS uređaj ugrađen u mobilnu jedinicu MOBILISIS WiGo, koja je sastavni dio Fleet Management Sustava (FMS-a). FMS se sastoji od hardverskih i softverskih komponenti koje omogućuju dvosmjernu komunikaciju između vozača i korisničkog (logističkog) centra. Osnovne komponente FMS-a prikazane su na slici 5. Na osnovu podataka koje prikuplja mobilna jedinica te koji se spremaju na server, korisnik (vlasnik vozila) može donositi odluke o izboru optimalne rute za prijevoz drva, može kontinuirano pratiti rad vozila, izdavati digitalne radne naloge. Osnovna komponenta svakog FMS sustava je mobilna jedinica koja, osim za određivanje položaja vozila, ima mogućnost preko različitih senzora prikupljati i slati krajnjem korisniku različite podatke o radu vozila. Mobilna jedinica koja je korištena u istraživanju prikazana je na slici 6.



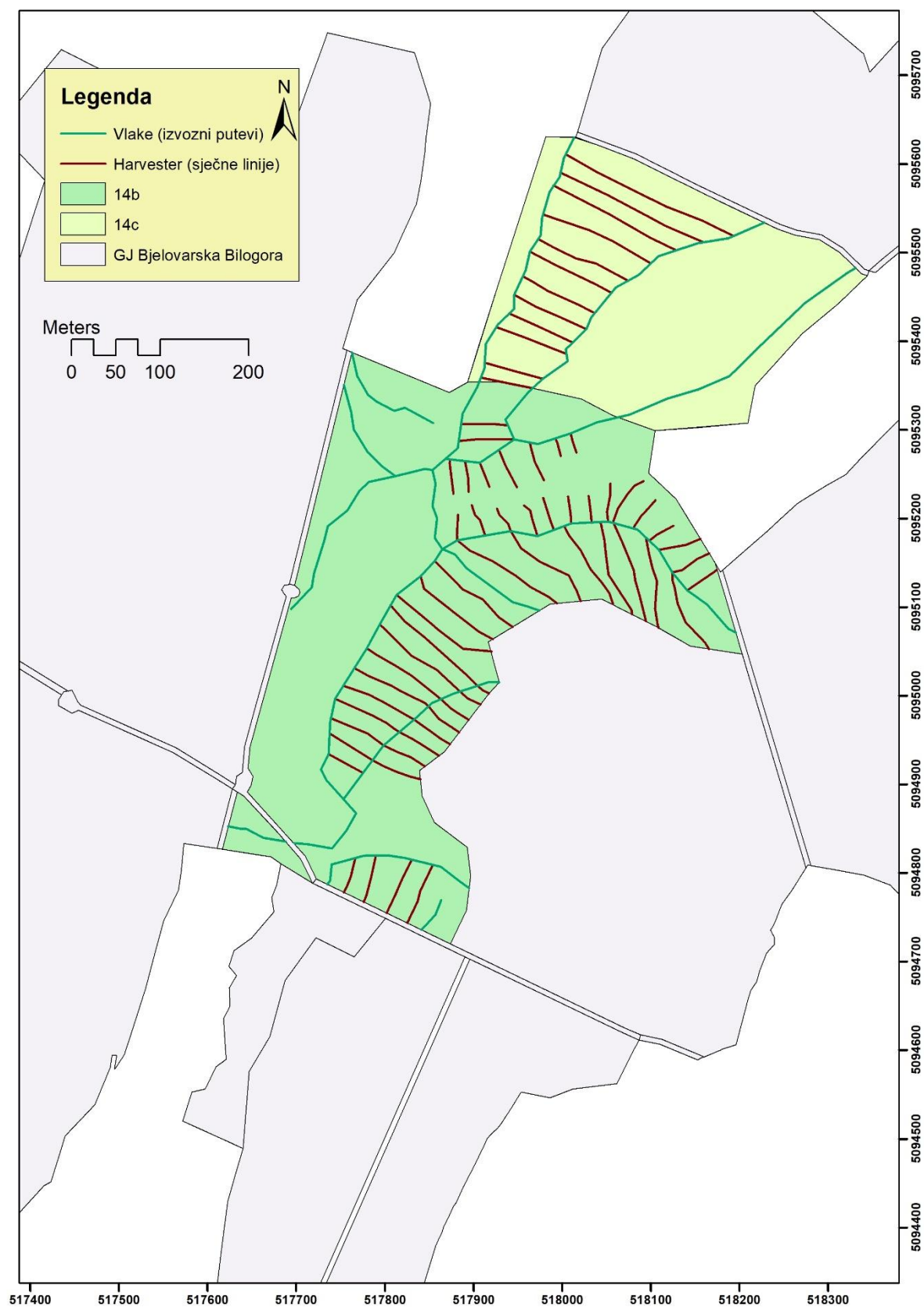
Slika 5. Osnovne komponente sustava za daljinsko praćenje vozila (FMS-a)



Slika 6. Mobilisis WiGo

Svi podaci koji se prikupljaju pomoću mobilne jedinice i dodatnih senzora putem GSM (GPRS) prijenosa podataka se šalju na internet, te spremaju na server. Na osnovu prikupljenih podataka formiraju se izvještaji do kojih korisnik dolazi preko računalnog sučelja. Za računalno sučelje nije potrebna instalacija već su svi podaci vidljivi na web stranici s koje je omogućen pristup standardnim izvještajima o praćenju vozila, administracija lokacija / vozača / korisnika, izvještaji potrošnje goriva, izvještaji putanja kretanja, putni računi, greške itd. Svi podaci su zaštićeni lozinkom. Izvještaji krajnjem korisniku služe kao osnova za analizu učinaka, potrošnje goriva te kretanja vozila. Ukoliko se, vozilo koje se prati ne nalazi u području GSM signala podaci se spremaju u internu memoriju mobilne jedinice, te se prilikom ulaska vozila u područje GSM signala šalju na server. Korištenjem FMS sustava korisnik ima mogućnost praćenja vozila u realnom vremenu.

Prije početka izvođenja radova sa strojevima, napravljena je doznaka stabala od strane djelatnika šumarije Bjelovar te su na stablima obilježene sječne linije za harvester. Obilježene sječne linije i postojeći izvozni putevi nakon toga su snimljeni sa ručnim GPS uređajem Garmin GPSMAP 60CSx. Položaj i raspored navedenih sječnih linija i izvoznih puteva prikazani su na karti na slici 7.



Slika 7. Prostorni razmještaj izvoznih puteva i sječnih linija unutar istraživanih odjela 14b i 14c.

Snimljene koordinate položaja harvestera i forvardera, ali i prethodno obilježenih sječnih i izvoznih puteva obrađene su u računalnoj aplikaciji ESRI ArcGIS 10.1. Snimanje kretanja vozila je bilo namješteno na vremenski interval od 30 sekundi.

Kao sredstvo rada odabrani su 6-kotačni harvester TimberJack 1470D i 8-kotačni forvarder TimberJack 1710D. Prilikom rada oba stroja nisu bile korištene polugusjenice iz razloga što je nosivost tla bila i više nego zadovoljavajuća ($CI_{15} > 1,91$ MPa). Harvester je bio opremljen gumama dimenzija 650/60-26,5 (prednje) i 700/55-34 (stražnje), dok je forvarder bio opremljen gumama dimenzije 750/55-26,5. Ukupna širina gaženja tla voznim sustavom harvestera u ovom slučaju iznosi 1,4 m (zbog dvostruke širine stražnjih guma koje su šire), dok kod forvardera ukupna širina gaženja iznosi 1,5 m. Navedene širine guma korištene su kod izračuna površine gaženja tla zajedno sa prijeđenom udaljenosti dobivenom obradom snimljenih koordinata uz pomoć mobilne jedinice FMS-a.

Obradom snimljenih koordinata u računalnoj aplikaciji ESRI ArcGIS 10.1 za svaki turnus posebno (forvarder), dobivena je duljina puta gaženja tla sastojine. Pod tom duljinom podrazumijeva se gaženje prethodno negaženog tla u periodu sječe/izvoženja (izuzevši duljinu puta već prethodno gažene površine). Množenjem ukupne širine gazne površine kotača (1,4 m za harvester i 1,5 m za forvarder) sa duljinom gaženja tla dobivena je površina gaženja tla.

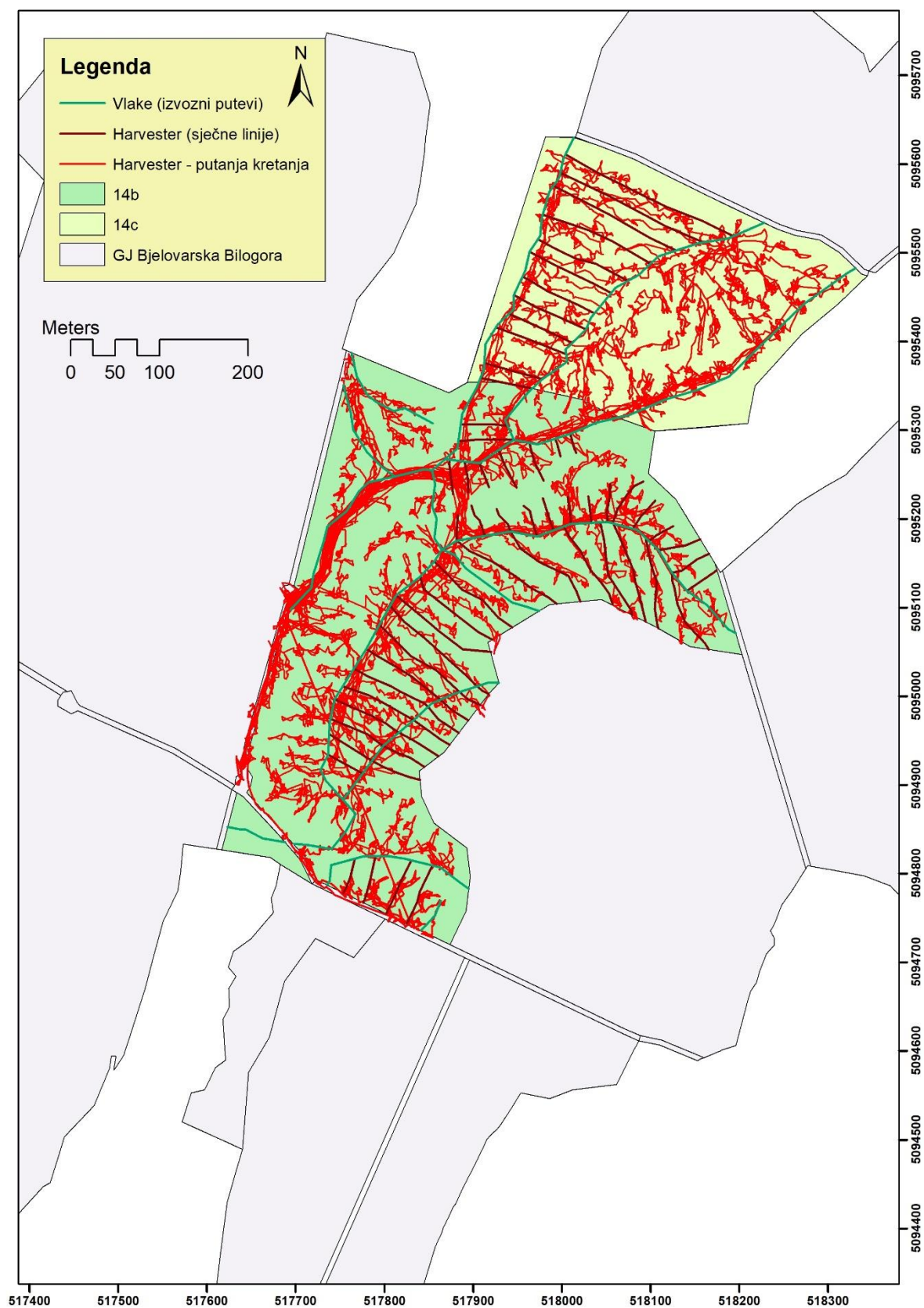
3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Tijekom istraživanja harvestera ukupno je posječeno 795 stabala. Rad se obavljao u razdoblju od 5. do 19. srpnja 2017. godine (ukupno 12 radnih dana). Vremenski uvjeti u tom razdoblju su bili bez oborina dok je temperatura bila uobičajena za to doba godine, oko 30 °C.

Snimanje forvardera odvijalo se u periodu od 5. do 24. srpnja 2017. godine (ukupno 15 radnih dana). 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 ($C_{15} = 1,91$ MPa) i samim time nije dolazilo do pojave šteta na tlu, a i nosivost tla nije negativno utjecala na proizvodnost forvardera. Istraživanje je provedeno na uzorku od 41 turnusa, od čega je u 12 turnusa izvožena tehnička oblovina, a u 29 turnusa višemetarsko prostorno drvo.

Karta na slici 8 prikazuje putanju kretanja harvestera prilikom obavljanja sječe izrade stabala u odsjecima 14b i 14c tokom 12 radnih dana. Na karti je vidljivo kretanje harvestera po postojećim traktorskim vlakama, prethodno obilježenim sječnim (harvesterskim) linijama, ali i po djelovima odsjeka gdje sječne linije nisu bile obilježene (snimljene). Na tim dijelovima odsjeka vidljivo je da je vozač harvestera pazio da se ne kreće nekontrolirano po sastojini, odnosno da pokuša posjeći što više stabala koja su u dohvat hidrauličke dizalice harvestera (doseg dizalice je 10 m).

Obradom snimljenih podataka (koordinata kretanja) dobiveno je da je harvester po obilježenim vlakama i sječnim linijama ukupno prošao 3086 m (duljina puta u odsjecima sa više od jednog prolaska harvestera). Množenjem te duljine puta sa 1,4 m (ukupna širina širih guma harvestera) udio gažene površine iznosi 4 320 m². Ukupna duljina puta koji je harvester prošao po bespuću (izvan obilježenih izvoznih puteva i sječnih linija sa samo jednim prolaskom po negaženom tlu) iznosi 9 336 m. Iznos gažene površine u ovom slučaju iznosi 13 070 m². Ukupan iznos gažene površine nakon rada harvestera u oba odsjeka iznosi 17 390 m². Stavljanjem u odnos navedenu ukupnu površinu gažene površine harvesterom sa ukupnom površinom oba odsjeka (273 500 m²) dobije se udio gažene površine u iznosu od 6,36 % što je zadovoljavajući iznos.

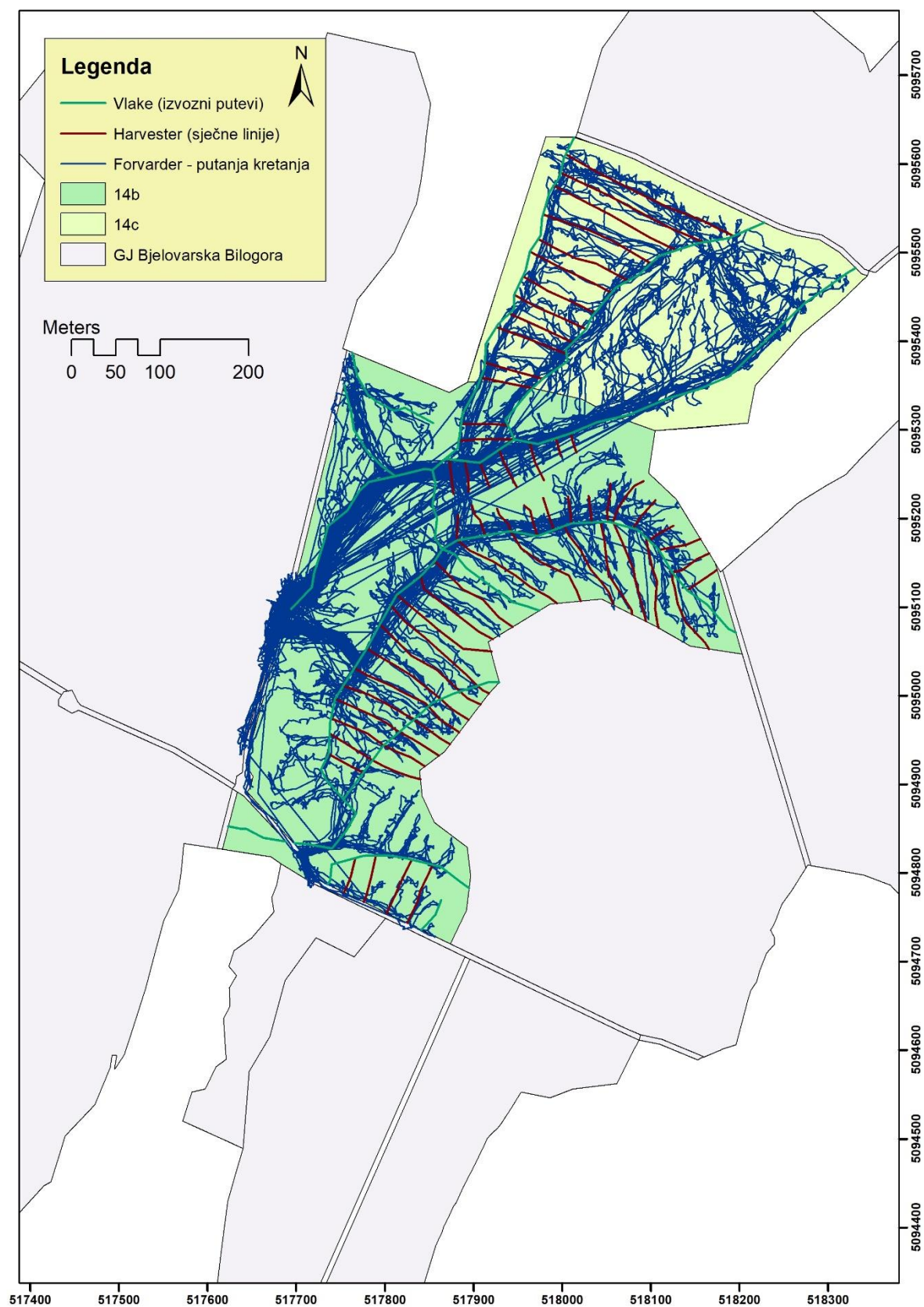


Slika 8. Karta gaženja tla nakon obavljene strojne sječe i izrade harvesterom.

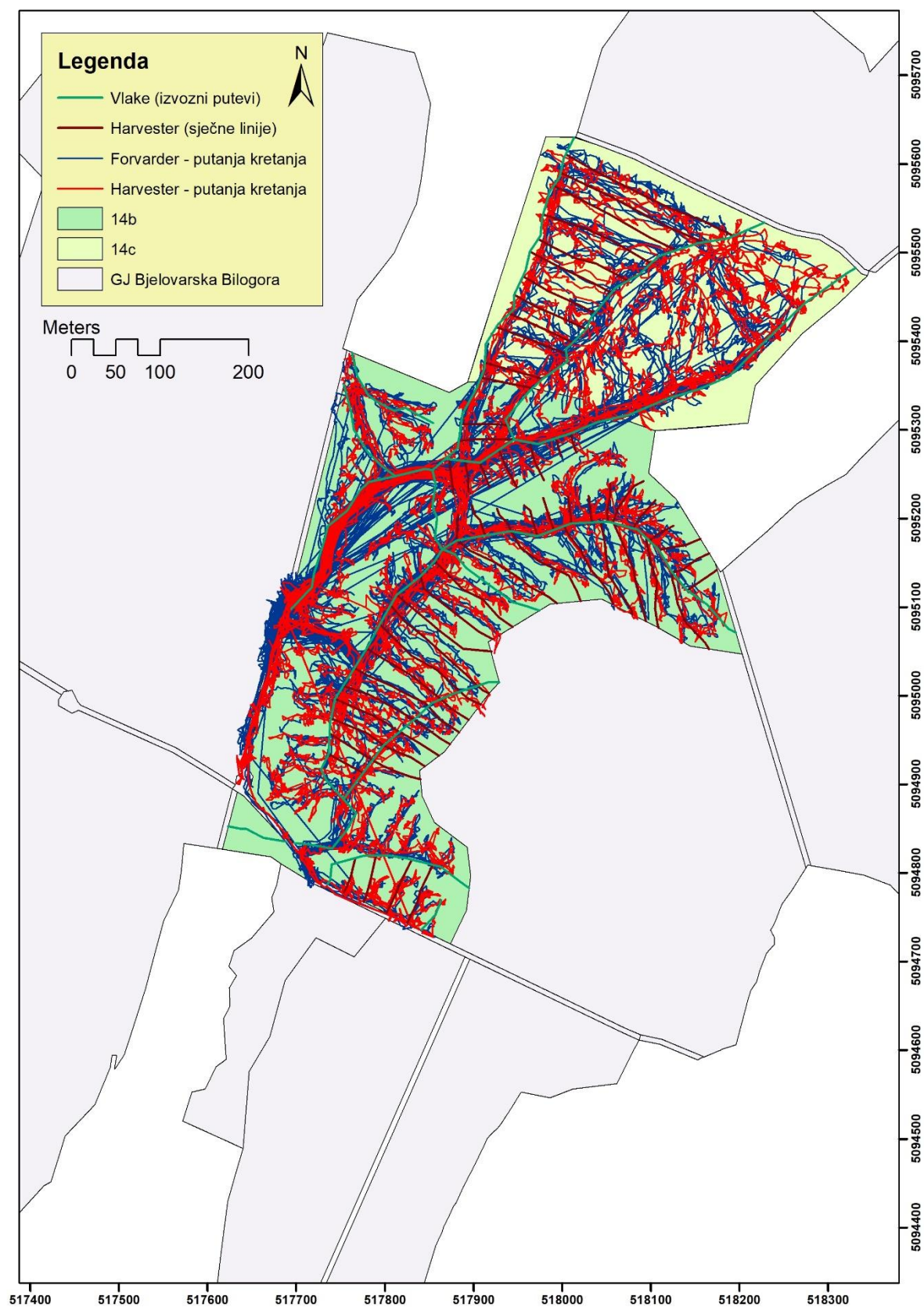
Karta na slici 9 prikazuje putanje kretanja forvardera prilikom izvoženja drva tokom 15 radnih dana. Istraživani forvarder po vlakama (višestruki prolasci) je prošao ukupno 3103 m. Dvostruka širina guma kod forvardera iznosi 1,5 m i pomnožena sa prijeđenom udaljenosti daje površinu u iznosu od 4 655 m². Po bespuću (izvan vlaka sa samo jednim prolaskom po negaženom tlu) forvarder je ukupno prošao 9126 m što množeno sa širinom guma od 1,5 m daje površinu gaženja tla u iznosu od 13 689 m². Ukupan iznos gažene površine sa forvarderom (po vlakama i po bespuću) iznosi 18 344 m². Stavljanjem u odnos ukupne gažene površine šumskog tla sa forvarderom sa ukupnom površinom istraživanih odsjeka (273 500 m²) dobije se udio gažene površine u iznosu od 6,71 %.

Karta na slici 10 prikazuje putanje kretanja oba istraživana stroja tokom izvođenja radova u istraživanim odsjecima. Ukupan iznos gažene površine i sa harvesterom i sa forvarderom iznosi 31 414 m², dok ukupni udio gažene površine iznosi 11,5%.

Prema modelu procjene razine oštećenja staništa kod kretanja forvardera pri izvoženju drva koji je prikazan u tablici 1, oštećenja u ovom slučaju nema budući da udio gažene površine nakon izvođenja radova iznosi svega 11,5 % te zbog jako dobre nosivosti tla u trenutku izvođenja radova pri čemu je dubina kolotraga iznosila manje od 5 cm.



Slika 9. Karta gaženja tla nakon izvoženja drva forvarderom.



Slika 10. Karta gaženja tla nakon obavljene sječe i izrade te nakon izvoženja drva.

4. ZAKLJUČAK

Većina autora koja se bavi problematikom okolišne pogodnosti strojeva prilikom izvođenja šumskih radova u svojim istraživanjima je dokazala da se upravo dobrim organizacijskim mjerama gaženje tla može svesti na najmanju mjeru što je i ovim istraživanjem potvrđeno.

Iako se ovdje radi o sastojini gdje je obavljena proreda, ukupni udio gažene površine je izrazito nizak (svega 11,5 %). Kada bi se obavljao dovršni sijek za očekivati je da bi taj iznos bio nešto veći.

Zbog dobre organizacije udio višekratno gažene površine iznosi približno 4 500 m² ili 1,65 % (za oba stroja) od ukupne površine istraživanih odsjeka, dok se preostalih približno 10 % površine odnosi na bespuće, odnosno na površinu gdje je uočen samo jedan prolazak istraživanih strojeva po negaženom tlu.

Kada bi tlo bilo slabije nosivosti, na dijelovima gdje imamo višestruke prolaskе vozila došlo bi do pojave kolotruga, pri čemu bi u tom slučaju i stupanj oštećenja šumskog tla bio veći (prema skandinavskom modelu oštećenja tla prikazanom u tablici 1).

Utjecaj dobro organiziranog radilišta, osim na manje gaženje tla zasigurno je i na proizvodnost korištenih strojeva. Pri tome se misli na povećanje učinkovitosti zbog smanjenja vremena kretanja strojeva po sastojini pa je za očekivati i povećanje njihove energijske učinkovitosti.

5. LITERATURA

1. Ampoorter, E., Verheyen, K., Hermy, M., 2009: Soil damage after mechanized harvesting: results of a meta-analysis. 2009 Council on Forest Engineering (COFE) Conference Proceedings: "Environmentally Sound Forest Operations." Lake Tahoe, June 15-18, 2009, 1-12.
2. Andersson, B., 1994: Cut-to-length and tree-length harvesting systems in central Alberta: a comparison. For. Eng. Res. Inst. Can. (FERIC), PointeClaire, Que. Tech. Rep. TR-108. 1-32.
3. 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 Fakultät Warschau, Polen, 10–13 Juli 2000, 15–21.
4. Bettinger, P., Armlovich, D., Kellogg, L.D., 1994: Evaluating area in logging trails with a Geographic Information System. Am. Soc. Agri. Eng. 37(4):1327-1330.
5. 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.
6. Bručić, G., 1997: Morfolška prosudba nekih značajki harvesterskih glava. Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–31.
7. 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.
8. Drushka, K., Konttinen, H., 1997: Tracks in the forest; Timberjack Group Oy; Helsinki.
9. Forbrig, A., B. G. Encke, 1996: Tagungsführer zur 12 KWF-Tagung 1996. Oberhof-Thüringen, KWF, Gross-Umstadt, 1–136.
10. 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.
11. Grigal, D.F. 2000: Effects of extensive forest management on soil productivity. For. Ecol. Manag. 138:169 –187.
12. Han, S.-K., 2006: Impacts on soils from cut-to-length and whole treeharvesting.

Master thesis, College of Natural Resources, University of Idaho, 1-36.

13. Han, S.-K., Han, H.-S., Page-Dumroese, D., Johnson, L.R., 2009: Soil Compaction associated with cut-to-length and whole-tree harvesting of coniferous forest. *Can. J. For. Res.* 39, 976-989.
14. Horvat, D., 1993: Prilog proučavanju prohodnosti vozila na šumskom tlu. Disertacija, Fakultet Strojarsstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 1-234.
15. 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.
16. Kellogg, 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.
17. Krpan, A. P. B., 1984: Istraživanja upotrebljivosti traktora IMT – 558 na privlačenju oblovine u uvjetima nizinskih šuma šumarije Lipovljani. Magistarski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–136.
18. 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.
19. Krpan, A. P. B. and Ivanović, Ž., 1995: Iznošenje trupaca hrasta lužnjaka žičarom STEYR KSK 16 (Yarding pedunculate oak logs with the STEYR KSK 16 cable crane). *Šumarski list*, vol. CXIX, no. 3, p. 75-90.
20. 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.
21. Krpan, A. P. B., Poršinsky, T., 2001: Harvester Timberjack 1070 u Hrvatskoj. *Šumarski list* 125(11–12): 619–624.
22. Krpan, A. P. B., Poršinsky, T., 2002: Produktivnost harvestera Timberjack 1070 pri proredi kulture običnoga bora. *Šumarski list* 126(11–12): 551–561.
23. 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.

24. Lacey, S.T., Ryan, P.J., 2000: Cumulative management impacts on soil physical properties and early growth of *Pinus radiata*. *Forest Ecology and Management* 138, 321-333.
25. Matic, 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.
26. Nugent, C., Kanali, C., Owende, P.M.O., Nieuwenhuis, M., Ward, S., 2003: Characteristic site disturbance due to harvesting and extraction machinery traffic on sensitive forest sites with peatsoils. *Forest Ecology and Management* 180, 85-98.
27. Pandur, Z., 2013: Primjena komercijalnog sustava za praćenje rada strojeva u istraživanju izvoženja drva forvarderom. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–312.
28. 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.
29. Peltola, A., Papunen K., 2001: The mechanisation of thinning in the Nordic countries. 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.
30. Poršinsky, T., 2000: Čimbenici učinkovitosti forvardera Timberjack 1210 pri izvoženju oblog drva glavnog prihoda nizinskih šuma Hrvatske (Efficiency 23 factors of Timberjack 1210 at forwarding the main felling roundwood in Croatian lowland forests). Magistarski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1-140.
31. 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.
32. 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.
33. 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.

34. Quesnel, H., Curran, M., 2000: Shelterwood harvesting in root disease infected forests in southeastern British Columbia: post-harvest soil compaction. EP-1186. Extension Note EN-048. Forest Sciences Section, Nelson Forest Region, BCMOF. Nelson, BC.
35. Reisinger, T.W., Pope, P.E., Hammond, S.C., 1992: Natural recovery of compacted soils in an upland hardwood forest in Indiana. North. J. Appl. For. 9:138 –141.
36. Richardson, R., Makkonen, I., 1994: The performance of cut-to-length system in eastern Canada. Forest Engineering Research Institute of Canada, Pointe - Claire, Quebec, Canada, Technical Report TR-109, pp 16.
37. Rieppo, K., Kariniemi, A., Haarlaa, R., 2002: Possibilities to develop machinery for logging operations on sensitive forest sites. Department of forest resource management, University of Helsinki, Finland, Publications 29, 1-30.
38. Robek, R., Matthies, D., 1996: Soil and tree disturbances due to forest operations – an unresolved, interdisciplinary issue. Phyton Horn 36(3): 181-186.
39. Rummer, B., 2002: Chapter 15: Forest Operations Technology (341-353). In: Wear, David N.; Greis, John G., eds. 2002. Southern forest resource assessment. Gen. Tech. Rep. SRS-53. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 635 p.
40. 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.
41. Seixas, F., Stokes, B., Rummer, B., McDonald, T., 1995: Harvesting soil impacts for selected silvicultural prescriptions. In: The way ahead with harvesting and transportation technology: Proceedings of the IUFRO P3.07 meeting. Vienna, Austria: International Union of Forestry Research Organizations, 230–238.
42. Sever, S., 1980: Istraživanje nekih eksploatacijskih parametara traktora kod privlačenja drva. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1-301.
43. Sionneau, J., Cuchet, E., 2001: Mechanisation of Thinnings in Hardwood, The French Experience, Proceedings of International conference »Thinnings: A valuable forest management tool«. September 2001, 9–14.
44. Slabak, M., 1983: Forvarderi u svijetu i kod nas. Zbornik radova »Mehanizacija šumarstva u teoriji i praksi«, Opatija, 351–361.

45. Slugen, J., Peniaško, P., Messingerova, V., Jankovsky, M., 2014: Productivity of John Deere harvester unit in deciduous stand. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 62(1): 231–238.
46. Stankić, I., 2010: Višekriterijsko planiranje izvoženja drva forvarderima iz nizinskih šuma Hrvatske. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–123.
47. Startsev, A.D., McNabb, D.H., 2000: Effects of skidding on forest soil infiltration in west-central Alberta. *Canadian Journal of Soil Science* 80, 617-624.
48. 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.
49. Šušnjar, M., 2005: Istraživanje međusobne ovisnosti značajke tla traktorske vlake i vučne značajke skidera. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1– 146.
50. Šušnjar, M., Horvat, D., Šešelj, J., 2006: Soil compaction in timber skidding in winter conditions. *Croatian Journal of Forest Engineering* 27(1), 3-15.
51. 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.
52. Vincenc, G., 2017: Tko će u budućnosti raditi u šumi? *Hrvatske Šume* 245 (svibanj 2017.): 4–5.
53. 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.
54. Wästerlund, I., 2002: Soil disturbance in forestry: Problems and perspectives. *Proceedings of the International Seminar on New Roles of Plantation Forestry Requiring Appropriate Tending and Harvesting Operations*, September 29 – October 5, 2002, Tokyo, Japan, The Japan Forest Engineering Society & IUFRO WG 3.04/3.06/3.07, 312-315.