

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

Zdravko Pandur, Andreja Đuka, Marijan Šušnjar, Marin Bačić, Katarina Ostović, Kruno Lepoglavec

Nacrtak – Abstract

Gaženje tla nastaje kao neizbježna posljedica kretanja strojeva po tlu prilikom čega se zbija tlo, a, ovisno o nosivosti tla, oštećuje se korijenski sustav biljaka. U ovom je radu analizirano gaženje tla nakon obavljene strojne sječe i izrade drva harvesterom te naknadnim izvoženjem drva forvarderom u prorednim sastojinama listača. Prije početka izvođenja radova u istraživanim sastojinama obavljena je doznaka stabala i obilježene su sječne linije za harvester, odnosno izvozni putovi za forvarder. Oba su istraživana stroja bila opremljena sustavom za daljinsko praćenje rada – FMS-om (Fleet Management System) pomoću kojega su dobivene koordinate kretanja strojeva po sastojini. Analizom dobivenih koordinata u programskom paketu ArcGIS 10.1 dobivene su duljine kretanja obaju istraživanih strojeva, posebno po vlakama i sječnim putovima, odnosno po bespuću. Dobiveni rezultati pokazuju da ukupno gaženje tla s oba stroja iznosi 13,19 %, a zbog dobre nosivosti tla te izostanka pojave kolotruga oštećenja na tlu nema. Ovim je istraživanjem potvrđena teza da se dobrim organizacijskim mjerama gaženje tla može svesti na najmanju mjeru.

Ključne riječi: gaženje tla, harvester, forvarder, FMS, GPS

1. Uvod – Introduction

Razvoj tehničke sastavnice hrvatskoga 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 korištene prve motorne pile kojima su rukovala dvojica radnika i čija primjena nije zaživjela zbog nepraktičnoga rukovanja njima. Tek desetljeće poslije (1960–1961) nastupio je drugi pokušaj mehaniziranja sječe i izrade motornim pilama (kojima radi jedan radnik), s tim da je ovaj put uspješno proveden te traje sve do današnjih dana, samo se u proizvodnji uvode poboljšane i suvremenije inačice tih strojeva (Tomašić 2012). Značajniji početak transporta drva u Hrvatskoj započinje u spačvanskim šumama u 19. stoljeću, kada se povećava sječa radi proizvodnje hrastovih

dužica za izradu bačava u Francuskoj i Njemačkoj. U ono se vrijeme drvo privlačilo volovskim i konjskim spregama, prevozilo zaprežnim kolima, tzv. parizerima, transportiralo plavljenjem i splavarenjem vodom, korištenjem gravitacije na razne druge načine ili se iznosilo ljudskom snagom. Koncem 19. i početkom 20. stoljeća uvodi se mehanički transport, u kojem glavnu ulogu imaju šumske željeznice (Krpan 1992).

U današnje vrijeme sječa i izrada stabala u hrvatskom šumarstvu još se izvodi ručno-strojnim načinom, tj. motornim pilama, dok se samo jedan mali dio posiječe i izradi strojno, harvesterima. U praksi se često može čuti da je glavni razlog tomu prirodno podrijetlo naših šuma, vrsta drveća i dimenzije stabala, makroreljef i mikroreljef te metode uzgajanja i uređivanja šuma u kojima je učinkovitost rada harvestera mala. 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 kultu-

rama četinjača i bjelogoričnih plantaža (meke listače) na blagim nagibima i na tlu s dobrim mehaničkim svojstvima.

Prva primjena harvesteru (probna) u Hrvatskoj zbilja se 2001. godine u sastojini četinjača, a godinu poslije i u prorednoj sastojini listača. Sve do danas primjena je harvesteru u Hrvatskoj sporadična, a posebno u sastojinama listača, iako strojna sječa i izradba drva harvesterom zamjenjuje teški ljudski i za život opasan ručno-strojni rad motornom pilom.

Ciljevi mehaniziranja ove sastavnice pridobivanja drva su: podizanje proizvodnosti, sniženje troškova proizvodnje, ergonomski povoljniji rad te izbjegavanje krize ponude radne snage za rad u poslovima pridobivanja drva (Krpan 2000).

Strojevi koji se primjenjuju za primarni transport drva u hrvatskom šumarstvu su skideri, forvarderi i traktorske ekipaže. Skideri se uglavnom primjenjuju na nagnutim terenima, a forvarderi i traktorske ekipaže u nizinskim i blago brežuljkastim područjima. Prednost primarnoga transporta drva forvarderima i traktorskim ekipažama jest ta da nema vuče drva po tlu, već se drvo izvozi na kotačima. Glavni je nedostatak što takva vozila moraju prići do drvnoga sortimenta u dohvat hidraulične dizalice kako bi se obavio utovar posljedica čega je veće gaženje tla, posebno u slučaju izostanka organizacijskih mjera u vezi s kontroliranim kretanjem strojeva po sastojini po izvoznim putovima. Forvarderi se primjenjuju kao radno sredstvo za izvoženje drvnih sortimenata u oplodnim sječama, ali i u proredama u sastojinama koje su već pri kraju ophodnje, dok se traktorske ekipaže primjenjuju uglavnom u proredama te rijetko i u oplodnim sječama.

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

Mehanizacija koja se koristi u postupcima primarnoga 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). Horvat navodi da primjena mehanizacije ima i negativne posljedice pogotovo ako postoji nesuglasje u biološki zamišljenim radnjama i realnim mogućnostima strojeva. Te se posljedice opažaju kao štete na šumskoj sastojini i

staništu, što povećava osjetljivost šumskoga ekosustava na bolesti, zagađenje okoliša te uvjetuje smanjenje proizvodnosti šume.

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

Dobrom organizacijom rada smanjuje se štetan utjecaj kretnoga sustava vozila na tlo ograničavanjem kretanja vozila na unaprijed određene traktorske vlake. Samim time smanjuje se površina izgaženoga tla koja u prvom redu ovisi o primijenjenoj tehnologiji i metodi rada, koja u ovom slučaju uključuje sječu i izradu drvnih sortimenata harvesterom i izvoženje drva forvarderom, te o organizaciji i pripremi rada, što se uglavnom odnosi na usmjereno rušenje stabala (Horvat 1993). Krpan i Poršinsky (2004) citiraju Anderssona (1994), Richardsona i Makkonena (1994) i navode kako se u odnosu na ručno-strojnu sječu i izradbu stabala te privlačenje drva zglobnim traktorima vučom drva po tlu skupni rad harvesterom i forvarderom ubraja u okolišno prihvatljivije tehnologije proizvodnje obloga drva.

2. Problematika istraživanja *Research subject*

Strojevi koji se koriste u procesima pridobivanja drva, posebno oni koji se za obavljanje rada služe tlom kao nosivom podlogom voznoga sustava (kotačnoga ili gusjeničnoga), mogu uzrokovati oštećenja šumskoga tla. Ta se oštećenja najviše odnose na šumsko tlo, što se posljedično odražava i na vegetaciju kojoj je tlo sa svojim svojstvima jedan od preduvjeta za opstanak i razvoj. Izravne su štete na šumskim tlima izazvane zbijanjem čestica tla prolaskom vozila, njegovim premještanjem te prodorima kotača u tlo posebno kod njegove ograničene nosivosti (Pandur 2014). Šumska tla imaju složenu slojevitost 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 zbijanja šumskoga tla povećava se ubrzanom razvojem mehaniziranih sredstava i rasta njihove primjene pri izvođenju šumskih radova. Šumska vozila postaju sve veće mase, 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.

Zbijanje čestica tla uzrokovano je okomitim djelovanjem opterećenoga kotača na tlo te obodnom silom koja se javlja na pogonskom kotaču zbog koje dolazi do pojave klizanja. Zbog opterećenja kotačima nastaje naprezanje u tlu pa se smanjuje poroznost tla, povećava se gustoće tla te smanjuje međugregatni prostor. Zbog svega toga pogoršava se toplotni i zračni režim tla, smanjuje se propusnost tla za vodu te se otežano razvija korijenski sustava stabala. Povećanje gustoće tla utječe na asimilaciju korijenskoga sustava zbog smanjenja pora i udjela vlage u tlu pa hranivo postaje nedostupno, što je glavni uzrok smanjenja rasta biljaka (Quesnel i Curran 2000, Han 2006, Reisinger i dr. 1992, Grigal 2000).

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 1993). Površina je gaženja značajan parametar oštećenja šumskoga tla pri izvoženju drva forvarderima (Poršinsky 2005) koji se kreću po čitavoj površini sastojine utovarujući izrađene drvene sortimente.

Kod sortimentne metode pridobivanja drva ili CTL-a (engl. *Cut-to-length*) posljedica je manje oštećivanje tla zbog toga što se primjenom te metode općenito smatra da se drvo izvozi na kotačima (forvarderom), pri čemu se tlo oštećuje samo voznim sustavom, dok u odnosu na privlačenje drva skiderima tlo se oštećuje i voznim sustavom i vučenim drvom (Rummer 2002). Uspoređujući pet različitih sustava pridobivanja drva izrađenoga metodom CTL, Seixas i dr. (1995) zaključuju da je najmanje oštećenje prouzročeno kombinacijom feler-bančer → ručno-strojna izrada (motorna pila) → forvarder, pri čemu je gaženje sastojine svedeno na 26 %. Kod sustava s kombi-

nacijom harvester – forvarder, kod kojega harvester prilazi svakomu stablu (*drive-to-tree system*), gaženje je tla iznosilo 39 %, dok je kod upotrebe konjskih sprega gaženje iznosilo 42 %. Ti su rezultati upitni zato 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 jest analiza u GIS-u koordinata dobivenih pomoću GPS-ova sustava, odnosno GPS-ova prijarnika ugrađena na praćeno vozilo. Pa tako Han i dr. (2009) koriste GPS-ov uređaj za snimanje putanja kretanja skidera i forvardera pri dvama različitim načinima privlačenja drva. Snimanje je koordinata bilo namješteno na svakih 15 m kretanja vozila, a dobiveni su rezultati služili za izračun površine gaženja tla sastojine uz pomoć programskoga 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 najpogodnijega sustava pridobivanja drva s pripadajućom mehanizacijom.

Velik broj istraživanja upućuje na to da se najveći negativan utjecaj na tlo događa upravo nakon prvoga 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 je neoštećeno šumsko tlo osnovni preduvjet za nesmetan razvoj vegetacije i mikroorganizama u tlu, njegovo zbijanje treba spriječiti što je više moguće (Ampoorter i dr. 2009.)

Tablica 1. Model procjene razine oštećenja staništa kod kretanja forvardera pri izvoženju drva
Table 1 Estimation of stand damage during timber forwarding

Dubina kolotraga, cm <i>Rut depth, cm</i>	Izgažena površina, % od površine sječne jedinice – <i>Disturbed area, % of cut-block area</i>			
	< 10 %	10 – 20 %	20 – 30 %	> 30 %
< 5 cm	Nema – <i>No</i>	Nema – <i>No</i>	Malo – <i>Some</i>	Veliko – <i>Great</i>
5 – 9,9 cm	Nema – <i>No</i>	Malo – <i>No</i>	Veliko – <i>Great</i>	Vrlo veliko – <i>Serious</i>
10 – 14,9 cm	Malo – <i>Some</i>	Veliko – <i>Great</i>	Vrlo veliko – <i>Serious</i>	Vrlo veliko – <i>Serious</i>
15 – 19,9 cm	Veliko – <i>Great</i>	Vrlo veliko – <i>Serious</i>	Vrlo veliko – <i>Serious</i>	Neprihvatljivo – <i>Unacceptable</i>
> 20 cm	Neprihvatljivo – <i>Unacceptable</i>			

Gaženje ovisi ponajprije o primijenjenoj tehnologiji i metodi rada, organiziranosti i pripremi rada, upotrijebljenim sredstvima rada i sl., dok zbijanje tla uglavnom 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 osnovi izgažene površine sječne jedinice i dubine kolotruga.

Pri sječi stabala harvesterom provodi se kontrolirano obaranje stabla, što smanjuje oštećivanje ostalih stabala u sastojini u odnosu na ručno-strojnu sječu i izradu (Poršinsky i dr. 2004). Kod čistih sječa (i dovršnoga 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. Pri takvu načinu rada harvester okresane grane odlaže ispred kotača vozila i tako poboljšava uvjete nosivosti podloge, odnosno smanjuje oštećenje tla na vlakama. Ako je razmak vlaka veći, tada se rad harvestera kombinira s ručno-strojnou sječom ili se pri radu harvester kreće po površini između vlaka (Krgan i Poršinsky 2004).

Cilj je ovoga istraživanja utvrditi gaženje tla pomoću GPS-ova uređaja koji je sastavni dio mobilne jedinice, odnosno FMS-a pri sječi i izradi drvnih sortimenata harvesterom i naknadnoga izvoženja drva forvarderom (trupaca i višemeterskoga ogrjevnoga drva) iz prorednih sastojina običnoga graba i obične bukve po prethodno obilježenim sječnim linijama i izvoznim putovima.

3. Mjesto, objekt i metode istraživanja *Study area and research methods*

Istraživanje primjene sustava harvester – forvarder za prorede listača provedeno je na području UŠP Bjelovar, Šumarije Bjelovar u gospodarskoj jedinici »Bjelovarska Bilogora« u odsjecima 14b i 14c.

Prema podacima gospodarske osnove površina odsjeka 14b iznosi 18,28 ha uređajnoga razreda običnoga graba u dobi od 79 godina. 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 hektaru, dok temeljnica iznosi 28,88 m²/ha. Srednje plošno stablo

ima promjer 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 običnoga graba 32 m³/ha i obične bukve 2,02 m³/ha.

Odsjek 14c proteže se na 9,07 ha uređajnoga razreda bukve u dobi 79 godina na I. bonitetu. Prema smjesi najzastupljenija je obična bukva s 50 %, obični grab 44 %, hrast kitnjak 4 % i hrast lužnjak 2 %. Broj stabala je 540 po hektaru, a temeljnica iznosi 30,98 m². Srednje plošno stablo ima promjer 30,98 cm, dok je godišnji tečajni prirast 9,70 m³/ha odnosno 88 m³ u odsjeku.

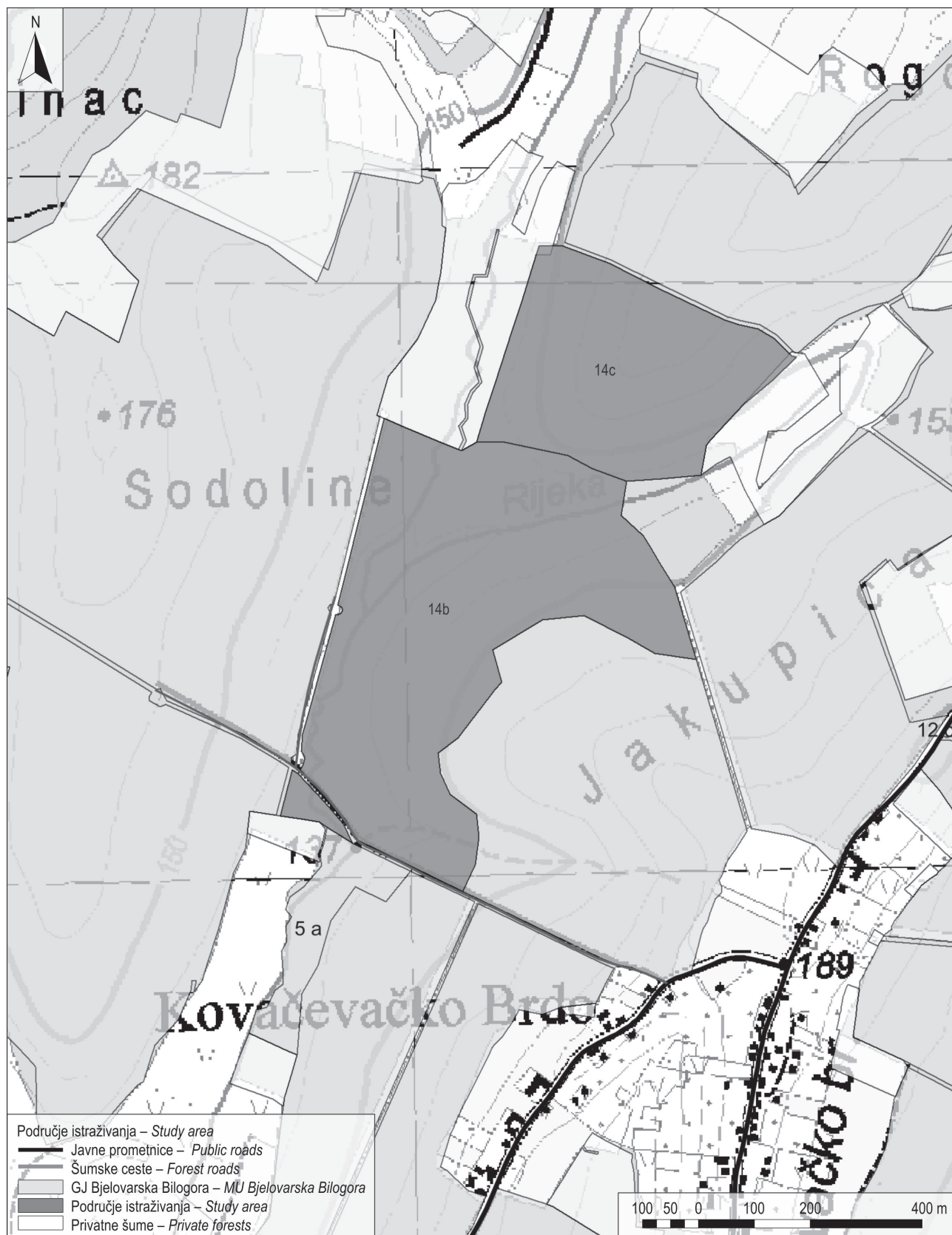
Prema propisu osnove gospodarenja za prvo polurazdoblje treba obaviti proredu intenziteta 11,08 %, odnosno 44,98 m³/ha, od toga obične bukve 19,96 m³/ha i običnoga graba 25,03 m³/ha.

Za snimanje položaja i putanje kretanja te na temelju snimljenih koordinata izračuna duljine puta kretanja harvestera i forvardera, odnosno gaženja, korišten je GPS-ov uređaj ugrađen u mobilnu jedinicu MOBILISIS WiGo, koja je sastavni dio sustava *Fleet Management* (FMS).

Prije početka izvođenja radova sa strojevima djelatnici Šumarije Bjelovar napravili su doznaku stabala te su na stablima obilježili sječne linije za harvester. Obilježene sječne linije i postojeći izvozni putovi nakon toga su snimljeni ručnim GPS-ovim uređajem Garmin GPSMAP 60CSx.

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

Kao sredstvo rada odabrani su 6-kotačni harvester TimberJack 1470D i 8-kotačni forvarder TimberJack 1710D. Prilikom rada obaju strojeva nisu bile korištene polugusjenice zato što je nosivost tla bila i više nego zadovoljavajuća ($CI_{15} > 1,91$ MPa). Harvester je bio opremljen gumama dimenzije 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. Navedena širina guma korištena je pri izračunu površine gaženja tla zajedno s prijednom udaljenosti dobivenom obradom snimljenih koordinata uz pomoć mobilne jedinice FMS-a.



Slika 1. Odsjeci 14b i 14c, GJ »Bjelovarska Bilogora«

Fig. 1 Sub-compartments 14b and 14c of Management Unit »Bjelovarska Bilogora«

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 razumijeva se gaženje prethodno negaženoga tla u razdoblju 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) s duljinom gaženja tla dobivena je površina gaženja tla gdje je evidentiran samo jedan prolazak vozila po bespuću. Gaženje tla gdje je evidentiran višekratni prolazak vozila po istom mjestu (vlake, dijelovi sječnih linija) dobiveno je množenjem duljine puta ukupnom širinom strojeva koja približno iznosi 3 m.

4. Rezultati istraživanja – Results

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

Snimanje forvardera odvijalo se od 5. do 24. srpnja 2017. godine (ukupno 15 radnih dana). Vrijeme je tada bilo bez oborine, temperatura očekivana za to doba godine s vrijednostima i do 35 °C. Upravo su vremenski uvjeti bez oborine pridonijeli tomu da nosivost tla bude odlična ($CI_{15} = 1,91$ MPa) i samim time nije nastala 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 oblovinina, a u 29 turnusa višemetarsko prostorno drvo.

Karta na slici 2 prikazuje putanju kretanja harvestera prilikom sječe i 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 dijelovima 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 pokušava posjeći što više stabala koja su u dohvatu hidraulične dizalice harvestera (doseg je dizalice 10 m).

Obradom snimljenih podataka (koordinata kretanja) dobiveno je da je harvester po obilježenim vlakama i sječnim linijama ukupno prošao 3086 m. Zbog višekratnih prolazaka po vlakama i sječnim linijama smatra se da ukupna širina koju harvester gazi približno odgovara širini harvestera, odnosno

da je 3 m. Množenjem ukupne prijeđene duljine puta po vlakama i sječnim linijama širinom gaženja od 3 m udio gažene površine iznosi 9258 m². Ukupna duljina puta koji je harvester prošao po bespuću (izvan obilježenih izvoznih putova i sječnih linija sa samo jednim prolaskom po negaženu tlu) iznosi 9336 m. U ovom slučaju radi izračuna površine gaženja ukupna širina gažene površine odgovara dvostrukoj širini guma harvestera, odnosno 1,4 m, a iznos gažene površine iznosi 13 070 m². Ukupan iznos gažene površine nakon rada harvestera u oba odsjeka iznosi 22 328 m². Stavljanjem u odnos navedene ukupne gažene površine harvesterom s ukupnom površinom oba odsjeka (273 500 m²) dobije se udio gažene površine u iznosu od 8,16 %, što je zadovoljavajući iznos.

Putanje kretanja forvardera prilikom izvoženja drva tokom 15 radnih dana prikazane su na karti na slici 3. Istraživani forvarder po vlakama (višestruki prolasci) prošao je ukupno 3103 m. Isto kao i kod harvestera, zbog višekratnih prolazaka po vlakama za izračun površine gaženja uzeta je širina gaženja u iznosu od 3 m. U konačnici iznos gažene površine forvardera po vlakama iznosi 9309 m². Po bespuću (izvan vlaka sa samo jednim prolaskom po negaženu tlu) forvarder je ukupno prošao 9126 m, što množeno širinom guma, koja kod forvardera iznosi 1,5 m, daje površinu gaženja tla u iznosu od 13 689 m². Ukupan iznos gažene površine forvarderom (po vlakama i po bespuću) iznosi 22 998 m². Stavljanjem u odnos ukupne gažene površine šumskoga tla forvarderom i ukupne površine istraživanih odsjeka (273 500 m²) dobije se udio gažene površine u iznosu od 8,41 %.

Karta na slici 4 prikazuje putanje kretanja obaju istraživanih strojeva tokom izvođenja radova u istraživanim odsjecima. Ukupan iznos gažene površine i harvesterom i forvarderom iznosi 36 068 m², dok ukupan udio gažene površine iznosi 13,19 %. U navedeni iznos gažene površine uključena je površina gaženja po vlakama samo forvardera (9309 m²) zato što se on kretao po istim vlakama po kojima je prethodno već prošao harvester te gažena površina po bespuću i harvestera (13 070 m²) i forvardera (13 689 m²).

Prema modelu procjene razine oštećenja staništa pri kretanju obaju istraživanih strojeva, koji je prikazan u tablici 1, oštećenja u ovom slučaju nema jer udio gažene površine nakon izvođenja radova iznosi samo 13,19 % te zbog jako dobre nosivosti tla u trenutku izvođenja radova, pri čemu je dubina kolo-traga iznosila manje od 5 cm.



Slika 2. Karta gaženja tla nakon obavljene strojne sječe i izrade harvesterom
Fig. 2 Soil disturbance after harvester felling and cutting



Slika 3. Karta gaženja tla nakon izvoženja drva forvarderom
 Fig. 3 Soil disturbance after timber forwarding



Slika 4. Karta gaženja tla nakon obavljene sječe i izrade te nakon izvoženja drva
Fig. 4 Soil disturbance after machine felling and timber forwarding

5. Rasprava sa zaključcima *Discussion with conclusions*

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

Budući da je ovdje riječ o sastojini gdje je obavljena proreda, ukupan je udio gažene površine nizak (samo 13,19 %). Kada bi se obavljao dovršni sijek, očekivalo bi se da taj iznos bude veći, a glavni su razlozi veća sječna gustoća i stabla većega sječnoga promjera. U takvoj situaciji harvester bi prilazio većemu broju stabala, a zbog većega promjera (u tom slučaju i mase stabala) morao bi stablima prilaziti bliže.

Zbog dobre organizacije udio višekratno gažene površine iznosi oko 9300 m² ili 3,38 % (za oba stroja) od ukupne površine istraživanih odsjeka, dok se ostalih 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 su višestruki prolasci vozila nastali bi kolotrazi, pri čemu bi u tom slučaju i stupanj oštećenja šumskoga tla bio veći (prema skandinavskom modelu oštećenja tla prikazanom u tablici 1).

Utjecaj dobro organiziranoga 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 se može očekivati i povećanje njihove energijske učinkovitosti.

6. Literatura – References

Ampoorter, E., K. Verheyen, M. Hermy, 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, 1–12.

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.

Bettinger, P., D. Armlovich, L. D. Kellogg, 1994: Evaluating area in logging trails with a Geographic Information System. Am. Soc. Agri. Eng., 37(4): 1327–1330.

Bojanin, S., A. P. B. Krpan, 1997: Mogućnost tzv. visokog i potpunog mehaniziranja sječe i izrade te mehaniziranja privlačenja drva u šumama Hrvatske. Šumarski list, 121 (7–8): 371–381.

Grigal, D. F., 2000: Effects of extensive forest management on soil productivity. For. Ecol. Manag., 138(1–3): 169–187.

Han, S. K., 2006: Impacts on soils from cut-to-length and whole tree harvesting. Master thesis, College of Natural Resources, University of Idaho, 1–36.

Han, S. K., H. S. Han, D. Page-Dumroese, L. R. Johnson, 2009: Soil Compaction associated with cut-to-length and whole-tree harvesting of coniferous forest. Can. J. For. Res., 39(5): 976–989.

Horvat, D., 1993: Prilog proučavanju prohodnosti vozila na šumskom tlu. Disertacija, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1–234.

Krpan, A. P. B., 1992: Iskorišćivanje šuma. U: Šume u Hrvatskoj, Đ. Rauš (ur.), Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i »Hrvatske šume« p.o., Zagreb, 153–170.

Krpan, A. P. B., 2000: Mogućnosti primjene vrhunskih tehnologija pri iskorištavanju šuma u Hrvatskoj. U: Zbornik, Znanstveni skup »Vrhunske tehnologije u uporabi šuma« održan 11. travnja 2000. u Zagrebu, M. Figurić (ur.), HAZU, Znanstveno vijeće za poljoprivredu i šumarstvo, Zagreb, 45–63.

Krpan, A. P. B., T. Poršinsky, 2001: Harvester Timberjack 1070 u Hrvatskoj. Šumarski list, 125(11–12): 619–624.

Krpan, A. P. B., T. Poršinsky, 2002: Proizvodnost harvestera Timberjack 1070 pri preredi kulture običnoga bora. Šumarski list, 126(11–12): 551–561.

Krpan, A. P. B., T. Poršinsky, 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.

Lacey, S. T., P. J. Ryan, 2000: Cumulative management impacts on soil physical properties and early growth of Pinus radiata. Forest Ecology and Management, 138(1–3): 321–333.

Matić, S., 2011: Međunarodna godina šuma u svjetlu 50-godišnje uske suradnje hrvatske šumarske znanosti i struke. Croatian Journal of Forest Engineering, 32(1): 1–6.

Nugent, C., C. Kanali, P. M. O. Owende, M. Nieuwenhuis, S. Ward, 2003: Characteristic site disturbance due to harvesting and extraction machinery traffic on sensitive forest sites with peatsoils. Forest Ecology and Management, 180(1–3): 85–98.

Pandur, Z., 2013: Primjena komercijalnog sustava za praćenje rada strojeva u istraživanju izvoženja drva forvarderom. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1–312.

Pandur, Z., T. Poršinsky, M. Šušnjar, M. Zorić, D. Vusić, 2014: Gaženje tla pri izvoženju drva forvarderom u sječinama hrasta lužnjaka. Nova mehanizacija šumarstva, 35(1): 23–34.

Poršinsky, T., 2005: Djelotvornost i ekološka pogodnost forvardera Timberjack 1710 pri izvoženju oblovine iz ni-

zinskih šuma Hrvatske. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1–170.

Quesnel, H., M. Curran, 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.

Reisinger, T. W., P. E. Pope, S. C. Hammond, 1992: Natural recovery of compacted soils in an upland hardwood forest in Indiana. North. J. Appl. For., 9(4):138–141.

Richardson, R., I. Makkonen, 1994: The performance of cut-to-length system in eastern Canada. Forrest Engineering Research Institute of Canada, Pointe - Claire, Quebec, Canada, Technical Report TR-109, 16 p.

Rieppo, K., A. Kariniemi, R. Haarlaa, 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.

Robek, R., D. Matthies, 1996: Soil and tree disturbances due to forest operations – an unresolved, interdisciplinary issue. Phytion Horn 36(3): 181–186.

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.

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.

Seixas, F., B. Stokes, B. Rummer, T. McDonald, 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.

Startsev, A. D., D. H. McNabb, 2000: Effects of skidding on forest soil infiltration in west-central Alberta. Canadian Journal of Soil Science, 80(4): 617–624.

Šušnjar, M., 2005: Istraživanje međusobne ovisnosti značajke tla traktorske vlake i vučne značajke skidera. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1–146.

Šušnjar, M., D. Horvat, J. Šešelj, 2006: Soil compaction in timber skidding in winter conditions. Croatian Journal of Forest Engineering, 27(1): 3–15.

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(1): 53–67.

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, Tokyo, Japan, The Japan Forest Engineering Society & IUFRO WG 3.04/3.06/3.07, 312-315.1

Abstract

Soil Disturbance during Machine Felling and Forwarding of Thinning Cut in Broadleaved Stand

Soil disturbance is often an inevitable consequence of machine movements in the forest stand during which soil compression occurs and, depending on the soil bearing capacity, root system is prone to damage. In this paper, the analysis of soil disturbance was performed after harvester felling and cutting, and subsequent timber forwarding in thinning operations in a broadleaved stand. First, the trees for cutting were marked together with appropriate ghost trails as well as forwarding routes for timber extraction. Both harvester and forwarder were equipped with a Fleet Management System (FMS), which provided the spatial position and coordinates in the stand. By analysing the obtained coordinates in the ArcGIS 10.1 program package, movement and routes of both machines were obtained. The obtained results showed that the total amount of soil disturbance in the stand for both machines was 13.19%, and due to the good soil bearing capacity and the lack of rutting, there was no soil damage in the stand. This research has confirmed the thesis that proper organisational measures can reduce soil damage to the minimum extent.

Keywords: soil disturbance, harvester, forwarder, FMS, GPS

Adresa autorâ – *Authors' addresses:*

Doc. dr. sc. Zdravko Pandur*
e-pošta: zpandur@sumfak.hr
Dr. sc. Andreja Đuka
e-pošta: aduka@sumfak.hr
Prof. dr. sc. Marijan Šušnjar
e-pošta: msusnjar@sumfak.hr
Marin Bačić, mag. ing. silv.
e-pošta: mbacic1@sumfak.hr
Doc. dr. sc. Krno Lepoglavec
e-pošta: klepoglavec@sumfak.hr
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Svetošimunska 25
10000 Zagreb
HRVATSKA

Katarina Ostović, mag. ing. silv.
e-pošta: ostovickatarina5@gmail.com
Ulica Pavla Šubića 16
10000 Zagreb
HRVATSKA

Primljeno (*Received*): 10. 10. 2018.
Prihvaćeno (*Accepted*): 14. 11. 2018.

*Glavni autor – *Corresponding author*