

Gaženje tla pri izvoženju drva forvarderom u sječinama hrasta lužnjaka

Zdravko Pandur, Tomislav Poršinsky, Marijan Šušnjar, Marko Zorić, Dinko Vusić

Nacrtak – Abstract

Gaženje tla kao posljedica kretanja šumskih vozila utječe na rast i prirast sastojine te ga je potrebno svesti na najmanju moguću razinu. Neke su od mjera smanjenja gaženja tla odabir prikladnoga sustava pridobivanja drva, ali i oblika sekundarne mreže šumskih prometnica (uz nadzor kretanja vozila po njima) te obavezno usmjereno rušenje stabala.

U radu je prikazano gaženje tla forvarderom na dvama susjednim radilištima pri izvoženju drva nakon provedenoga dovršnoga sijeka hrasta lužnjaka. Istraživani je forvarder bio opremljen sustavom Fleet Management (FMS) pomoću kojega je omogućeno daljinsko praćenje njegova rada, odnosno njegova položaja pri kretanju po istraživanim sječinama.

Dobiveni rezultati pokazuju da je gaženje tla istraživanih sječinih jedinica preveliko (> 30 % površine) te da se boljom organizacijom rada ono može smanjiti na prihvatljivu mjeru.

Ključne riječi: gaženje tla, forvarder, nizinske šume, organizacija rada, sekundarno otvaranje

1. Uvod – Introduction

Početak transporta drva u spačvanskim šumama pada u 19. stoljeće, kada započinju intenzivnije sječe radi 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 te iznošenje drva ljudskom snagom. Koncem 19. i početkom 20. stoljeća započinje mehaniziranje transporta drva, u kojem glavnu ulogu ima uvođenje šumskih željeznica (Krgan 1992).

U današnje vrijeme vozila koja se primjenjuju za primarni transport drva u nizinskim šumama (drvo se ne vuče po tlu, već se kotura – izvozi na kotačima) uglavnom su specijalna šumska vozila – forvarderi i traktorske ekipaže. Forvarderi se primjenjuju kao radno sredstvo za izvoženje drva u sječinama glavnoga prihoda drva (oplodne sječe), dok se u sječinama prethodnoga prihoda (prorede) koriste traktorski skupovi (ekipaže). Uporaba tih vozila uvjetuje sortimentnu metodu izradbe drva zbog ograničene duljine njihova utovarnoga prostora.

Slabak (1983) navodi da je privlačenje drva najznačajnija i najskuplja sastavnica pridobivanja drva te kao ključnu dvojbu smatra pitanje da li drvo vući po tlu ili izvoziti na kotačima. Isti autor navodi da je izvoženje drva tradicionalno uobičajen način privlačenja drva na području tadašnjega SŠGO-a »Slavonske šume«.

Sever (1980) spominje da se uvođenjem specijalnih šumskih vozila omogućilo i uvođenje novih tehnoloških procesa u polufazi privlačenja drva. Prvi forvarderi u Hrvatskoj primjenjuju se od 1971. godine, i to dva tipa Kockums 836B (Slabak 1983). Krgan (2000) navodi da su u to vrijeme u hrvatskim šumama radila 32 forvardera, dok Poršinsky (2005) daje podatak da se krajem 2004. u vlasništvu trgovačkoga društva »Hrvatske šume« d.o.o. nalazi 25 forvardera te procjenjuje da privatni poduzetnici imaju još 40 forvardera.

Mehanizacija koja služi u primarnom transportu 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 naglašava 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 omogućuje daljinsko praćenje njihova rada FMS-om (engl. *Fleet Management System*). Prva je primjena FMS-a bila u voznim parkovima 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 po unaprijed određenoj i obilježenoj (traktorske vlake) ili izgrađenoj (traktorski putovi) mreži sekundarnih šumskih prometnica. Samim time smanjuje se površina izgaženoga tla koja u prvom redu ovisi o primijenjenom sustavu pridobivanja drva, koji u ovom slučaju uključuje izvoženje sortimentnom metodom izrađenoga drva forvarderom te organizaciji i pripremi rada, što se ponajprije odnosi na usmjereni rušenje stabala (Horvat 1993, Poršinsky 2005).

2. Problematika i cilj istraživanja – *Scope and objectives*

Strojevi koji služe za pridobivanje drva, posebno oni koji za obavljanje rada koriste tlo kao nosivu podlogu kretnoga postroja (kotačnoga ili gusjeničnoga) vozila mogu uzrokovati oštećenja šumišta. Ta se oštećenja najviše odnose na šumsko tlo, što se posljedično odražava i na vegetaciju kojoj je tlo jedan od osnovnih preduvjeta za opstanak i razvoj. Izravne 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.

Šumska tla imaju složenu slojevitou 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 ubrzanim 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 te njihove primjenjivosti i trajnosti (Rieppo i dr. 2002). Mogućnost opremanja vozila s dodatnom opremom (dizalica, vitlo ...) te mjera opreza od preopterećenja vozila također djeluju na povećanje njihove mase.

Zbijanje čestica tla uzrokovano je okomitim djelovanjem opterećenoga kotača na tlo te obodnom silom

koja se javlja na pogonskom kotaču zbog koje nastaje klizanje. Zbog opterećenja kotača na tlo javlja se naprezanje u tlu, što uzrokuje smanjenje poroznosti tla, povećanje gustoće tla te smanjenje međugregatnoga prostora. Time se pogoršava toplotni i zračni režim u tlu, smanjuje se propusnost tla za vodu te se otežano razvija korijenski sustav stabala. Povećanje gustoće tla utječe na asimilaciju korijenskoga sustava zbog smanjenja pora i udjela vlage u tlu, a to je uzrok nedostupnosti hraniva, što je pak glavni uzrok smanjenja rasta i prirasta biljaka (Quesnel i Curran 2000, Han 2006, Reisinger i dr. 1992, Grigal 2000).

Vossbrink i Horn (2004) napominju da teški šumski strojevi imaju ozbiljan utjecaj na fizičke značajke tla poput poroznosti, provodljivosti topline, kapaciteta tla za vodu te na rast korijenja biljaka. Da bi tlo zadržali u prirodnom stanju, nužne su promjene u planiranju, ali i izvođenju postupaka pridobivanja drva, što se može postići ograničavanjem kretanja vozila po pogodnim oblicima mreže sekundarnih šumskih prometnica. Zbog navedenih negativnih posljedica upotrebe teških vozila autori postavljaju nekoliko pitanja:

- ⇒ Koliki je utjecaj vozila na šumsko tlo i koliko se naprezanje javlja na različitim dubinama u podtlu ispod kotača vozila?
- ⇒ Kako se mijenjaju nosivost i čvrstoća tla te raspored pora u tlu nakon opterećenja?
- ⇒ Kakav je utjecaj kretanja vozila na propusnost tla za zrak i vodu te na postojanost pora?
- ⇒ Postoji li bojazan od utjecaja na rast i prirast drveća?
- ⇒ Koje su moguće smjernice za pridobivanje drva u budućnosti?

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

Kod metode CTL (engl. *Cut-to-length*) ili sortimentne metode izradbe 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 u odnosu na privlačenje drva skiderima gdje se tlo oštećuje i voznim sustavom, ali i vučenim drvom (Rummer 2002). Uspoređujući pet različitih sustava pridobivanja drva izrađenoga metodom CTL, Seixas i dr. (1995) zaključuju da je najmanje oštećenje prouzro-

čeno kombinacijom feler bančer → ručno-strojna izradba drva motornom pilom → forvarder pri čemu je gaženje tla svedeno na 26 %. Kod sustava harvester – forvarder, pri kojem harvester prilazi svakom stablu (eng. *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 određenim sekundarnim šumskim prometnicama pri čemu se gaženje tla smanjuje na najmanju moguću mjeru.

Provodeći istraživanja u devet različitih sastojina u francuskim šumama, Bigot i Cacot (2002) zaključuju da se kod ručno-strojne sječe i izradbe te privlačenja drva skiderom odnosno forvarderom udio gaženoga tla kretao od 38 % u prorednim sječinama, dok je kod dovršnoga sijeka taj udio iznosio do 54 % površine sječne jedinice. Smatraju da je tako velik iznos gaženja tla posljedica loše organizacije privlačenja drva, što znači da bi vozači prije početka rada trebali odvojiti vrijeme da pregledaju radilište, pogotovo osjetljiva područja na njemu, raspored srušenih stabala te površinske prepreke mada bi sve te aktivnosti trebalo provesti prije sječe, tj. prvo odrediti sekundarne šumske prometnice prema kojima se određuje smjer rušenja stabala. Isti autori navode da bi privlačenje drva trebalo biti racionalizirano podjednako iz ekonomskih i okolišnih razloga. Radi smanjenja oštećenja staništa iznose nekoliko jednostavnih savjeta:

- ⇒ nužna je dobra organizacija svih sastavnica izvođenja radova uz koordinaciju među njima,
- ⇒ posebnu pažnju posvetiti okolišno prihvatljivom načinu privlačenja drva (kretanje vozila isključivo po predodređenim sekundarnim šumskim prometnicama kako bi se smanjilo gaženje tla),
- ⇒ na osjetljivim šumskim staništima preporučuje se pokrivanje traktorskih vlaka šumskim ostatkom radi smanjenja dubine kolotruga i zbijanja tla,
- ⇒ upotreba je lanaca i polugusjenica nužna samo ako to uvjeti na terenu zahtijevaju.

Lanford i Stokes (1995) zaključuju da privlačenje skiderima primjenom stablovne metode izradbe uzrokuje veći udio gažene površine te veće zbijanje tla u odnosu na izvoženje sortimentnom metodom izrađenoga drva forvarderima. McNeel i Ballard (1992) smatraju da kod sustava harvester – forvarder sekundarne prometnice zauzimaju manje od 20 % ukupne površine sastojine. Bettinger i dr. (1994) dolaze do sličnih zaključaka gdje ukupan udio sekundarnih prometnica zauzima 23 % površine sječne pri istom sustavu pridobivanja drva.

Istražujući gaženje tla kod čiste sječe topole feler bančerom te privlačenja cijelih stabala skiderom s klje-

štima, Zenner i dr. (2007) zaključuju da ukupan udio površine traktorskih vlaka u odnosu na površinu sječne iznosi 31 %.

Han je (2006) uspoređivao dva radilišta sličnih značajki pri čistoj sječi duglazije i zaključio da pri sortimentnoj metodi upotrebom harvestera i forvardera gaženje tla iznosi 20 %, a kod stablovne metode izradbe upotrebom feler bančera, procesora i skidera s klještima i hvatalom gaženje tla iznosi 25 % površine sječne jedinice.

McMahon i dr. (1999) istražuju gaženje tla pri sječi kalifornijskoga bora bagerom opremljenim sječnom glavom te privlačenje stabala skiderom s klještima. Njihovi rezultati pokazuju da je čak 66 % površine sječne izgaženo, pri čemu je 20 % izgažene površine bilo opterećeno s više od 20 prolazaka vozila, što autori smatraju prevelikim oštećenjem tla.

U gotovo svim navedenim slučajevima osnova je za prikupljanje podataka o gaženju tla vozilom analiza koordinata dobivenih u GIS-u pomoću GPS-ova sustava, odnosno GPS-ova prijavnika ugrađenoga na praćeno vozilo. Na taj se način Han i dr. (2009) služe GPS-ovim uređajem za snimanje putanja kretanja skidera i forvardera pri privlačenju drva izrađenoga različitim metodama. 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) spominje da je prikupljanje, odnosno obrada dobivenih podataka u ovisnosti o broju prolaza vozila na opisani način složena, ali u konačnici omogućuje jasan vizualan prikaz jako opterećenih šumskih površina. 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 odabira najpogodnijega sustava pridobivanja drva.

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, Poršinsky 2005, Poršinsky i Stankić 2006). Ta tvrdnja ide u korist činjenici da se vozilo treba kretati isključivo po unaprijed predodređenim sekundarnim šumskim prometnicama. Budući da je neoštećeno šumsko tlo osnovni preduvjet za nesmetan razvoj vegetacije i mikroorganizama u tlu, njegovo se zbijanje treba spriječiti što je više moguće (Amporter i dr. 2009.).

Gaženje ovisi u prvom redu o primijenjenoj tehnologiji i metodi rada, organiziranosti i pripremi rada, upotrijebljenim sredstvima rada i sl., dok zbijanje tla ovisi uglavnom o vozilu, stanju i svojstvima tla te masi

Tablica 1. Model procjene oštećenja staništa (Wästerlund 2002)**Table 1** Model for site disturbance assesment (Wästerlund 2002)

Dubina kolotruga, 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>Some</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>			

tereta koji se privlači (Šušnjar 2005, Šušnjar i dr. 2006, Poršinsky i dr. 2011, 2012).

Skandinavski model za procjenu razine oštećenja staništa pri izvoženju drva forvarderima (tablica 1) prikazuje Wästerlund (2002). Navedeni model procjenjuje razinu oštećenja tla na osnovi izgažene površine sječne jedinice i dubine kolotruga.

Poršinsky (2005) na temelju vlastitih rezultata te na temelju rezultata više istraživanja navedenih autora zaključuje da se na gaženje tla uz pojedine značajke vozila najviše može utjecati pripremom rada i drugim organizacijskim mjerama.

Cilj je ovoga istraživanja utvrditi gaženje tla pomoću GPS-ova uređaja koji je sastavni dio mobilne jedinice, odnosno FMS-a pri izvoženja drva (trupaca, energijskoga drva i šumskoga ostatka) forvarderom iz sastojina hrasta lužnjaka u kojima je proveden dovršni sijek.

3. Mjesto, objekt i metode istraživanja *Place, object and methods of research*

Istraživanje je gaženja tla pri izvoženju drva provedeno u nizinskim lužnjakovim šumama donje Posavine u odsjeku 64f, gospodarske jedinice Debrinja, Šumarije Strošinci, Uprave šuma podružnice Vinkovci. Odsjek 64f je zrela (dob 121 godina), mješovita, dvoetažna sastojina hrasta lužnjaka s običnim grabom (*Carpino betuli-Quercetum roboris* Horvat 1938) s primiješanim poljskim jasenom, klenom, vezom i topolom, vrlo dobre kakvoće, stablimične strukture i potpunoga sklopa, nastala iz sjemena. Sastojina se razvila na ravnom terenu nadmorske visine 80 m, koji čini prijelaz nize ka gredi. Pripada uređajnomu razredu hrasta lužnjaka (gospodarenje uz ophodnju od 140 godina), odnosno ekološko-gospodarskomu tipu II-G-10. Ploštine je 8,12 ha, sa srednjom udaljenosti privlačenja od 200 m.

Sukladno smjernicama gospodarenja, u odsjeku je 2012. proveden dovršni sijek radi obnove sastojine, pri

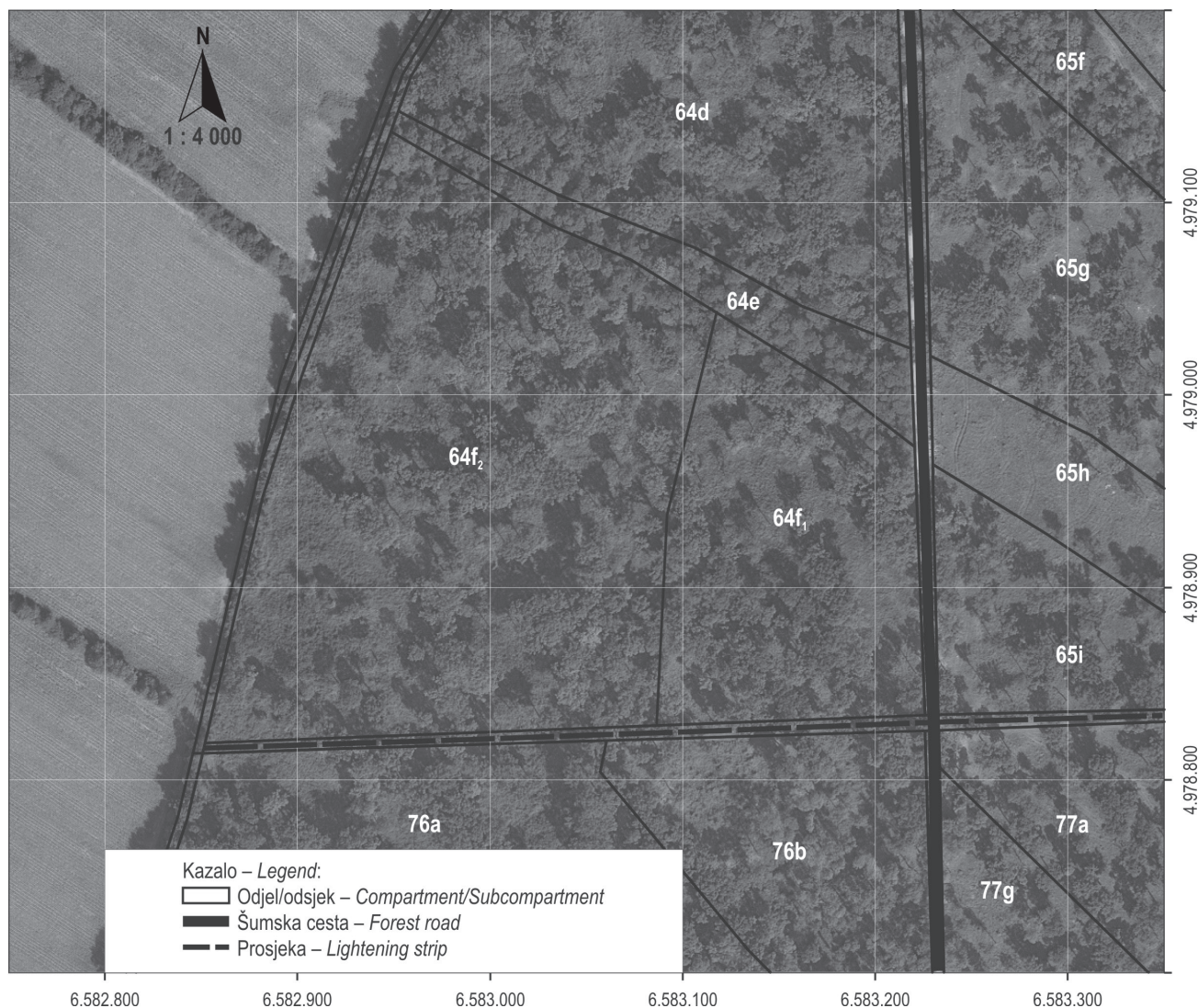
čemu je doznačeno 1 818 m³ hrasta lužnjaka i 288 m³ poljskoga jasena. Na osnovi podataka iz obračuna doznačne knjižice i plana sječa bruto je sječna gustoća 259,4 m³/ha (~ 42 stabla po hektaru), a neto sječna gustoća 211,1 m³/ha. Sječna je gustoća tehničke oblovine 156 m³/ha, a prostornoga (ogrjevnoga) drva 55 m³/ha. Obujam srednjega sječnoga stabla iznosi 6,17 m³.

Tijekom pridobivanja drva u odsjeku 64f privlačenje je bilo vremenski odvojeno od sječe i izradbe drva. Sječu su stabala uz sortimentnu metodu izradbe tehničke oblovine izveli šumarijski radnici nakon čega je započelo izvoženje drva. Za potrebe istraživanja gaženja tla tijekom izvoženja drva odsjek je bio podijeljen na dva dijela, odnosno na sječine 64f₁ i 64f₂ (slika 1).

U sječini 64f₁ površine 2,44 ha prvo je forvarder izvezio izrađene trupce i višemetarsko ogrjevno drvo, nakon čega je u sklopu samoizradbe lokalno stanovništvo izvezilo jednodometarsko ogrjevno drvo poljoprivrednim traktorima s (polu)prikolicama te je naposljetku naknadno forvarder izvezio uhrpani šumski ostatak (drvo < 7 cm promjera s korom).

U sječini 64f₂ površine 5,7 ha prvo je forvarder izvezio izrađene trupce, a zatim energijsko drvo kod kojega su krošnje stabala trupljene s nekoliko rezova isključivo radi mogućnosti utovara dizalicom, odnosno poboljšanja iskoristivosti utovarnoga prostora forvardera. Nakon istovara energijsko je drvo ostavljeno da »odleži« na pomoćnom stovarištu radi isušivanja, a zatim je usitnjeno u drvenu sječku iveračima. Takvim izvoženjem energijskoga drva racionalizira se izradba ogrjevnoga drva, smanjuje količina neizrađenoga krupnoga drva stabla, odnosno povećava količina privučenoga drva na pomoćno stovarište za iznos šumskoga ostatka u jednom tehnološkom zahvatu.

U istraživanim sječinama u trenutku izvoženja drva nije postojala mreža obilježenih sekundarnih



Slika 1. Položaj istraživanih sječina 64f1 i 64f2, GJ Debrinja, Šumarija Strošinci

Fig. 1 Position of researched cut-blocks 64f1 and 64f2, Management Unit Debrinja, Forest Office Strošinci

šumskih prometnica – traktorskih vlaka, niti su vozači forvardera dobili smjernice za izvoženje drva.

Za snimanje koordinata položaja, odnosno duljine putanja kretanja forvardera tijekom izvoženja drva radi izračuna gaženja tla, korišten je GPS-ov uređaj ugrađen u mobilnu jedinicu (FM 4200) FMS-a. Ovdje se radilo o *uBlox NEO-5M*, 50-kanalnom prijatelju osjetljivosti -160 dBm. Snimanje je kretanja vozila bilo namješteno na interval od 30 sekundi.

Prije početka izvoženja drva, a nakon završene sječe i izradbe stabala, snimljen je njihov položaj na tlu, odnosno položaj panja, deblovine i krošnje svakoga pojedinoga stabla. Snimanje je obavljeno s DGPS-ovim sustavom RTK *Magellan ProMark 500* (u daljnjem tek-

stu RTK). RTK pokazuje učinkovitost i brz napredak u današnjem razvoju tehnologija, i to najviše zbog mogućnosti pribavljanja koordinata trenutačno i na razini centimetarske točnosti (Pirti i dr. 2010).

Snimljene koordinate položaja kretanja forvardera, ali i položaja srušenih stabala obrađene su u računalnoj aplikaciji ESRI ArcGIS 9.3.

Tijekom istraživanja drvo je izvezio 8-kotačni forvarder Valmet 860.4 čija deklarirana masa iznosi 16 060 kg, odnosno izmjerena vaganjem 18 750 kg. Nazivna nosivost ovoga forvardera iznosi 14 000 kg. Prilikom rada forvarder nije imao polugusjenice zato što je nosivost tla bila zadovoljavajuća ($CI_{15} > 1,2$ MPa), a bio je opremljen gumama dimenzije 600/55 × 26,5. Ukupna

Izvoženje drva – odsjek 64f₁
Timber Forwarding – subcompartment 64f₁

Izvoženje trupaca i višemetarskog ogrjevnog drva forvarderom
Extraction of logs and long fuelwood by forwarder



Izvoženje drva – odsjek 64f₂
Timber Forwarding – subcompartment 64f₂

Izvoženje trupaca forvarderom
Extraction of logs by forwarder



Izvoženje jednog metarskog ogrjevnog drva traktorom s poluprikolicom
Extraction of 1-m long fuelwood by farm tractor with semitrailer



Izvoženje energijskog drva forvarderom
Extraction of energy wood by forwarder



Izvoženje šumskog ostatka forvarderom
Extraction of forest residues by forwarder



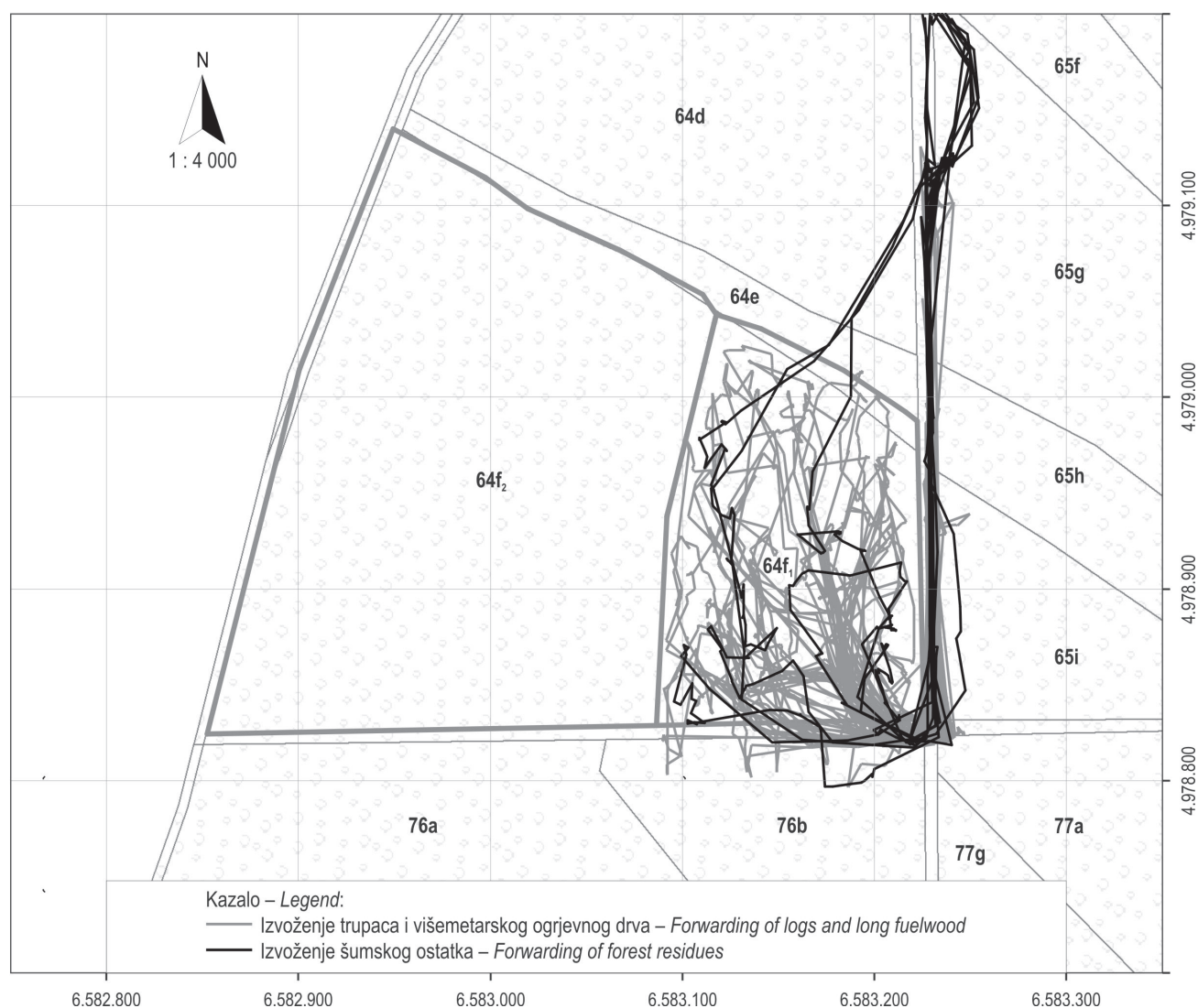
Slika 2. Shema izvoženja drva tijekom istraživanja
Fig. 2 Working scheme of timber forwarding during research

širina gaženja tla voznim sustavom forvardera u ovom slučaju iznosi 1,2 m. Navedena širina guma korištena je u izračunu površine gaženja tla zajedno s prijednom udaljenosti dobivenom obradom snimljenih koordinata kretanja forvardera.

Obradom snimljenih koordinata u računalnoj aplikaciji ESRI ArcGIS 9.3 za svaki turnus posebno dobivena je duljina puta gaženja tla sječne. Pod tom duljinom razumijeva se gaženje prethodno negaženoga tla u razdoblju izvoženja (izuzevši duljinu puta već prethodno gažene površine). Množenjem ukupne širine dodirne površine kotača (1,2 m) duljinom gaženja tla dobivena je površina gaženja tla.

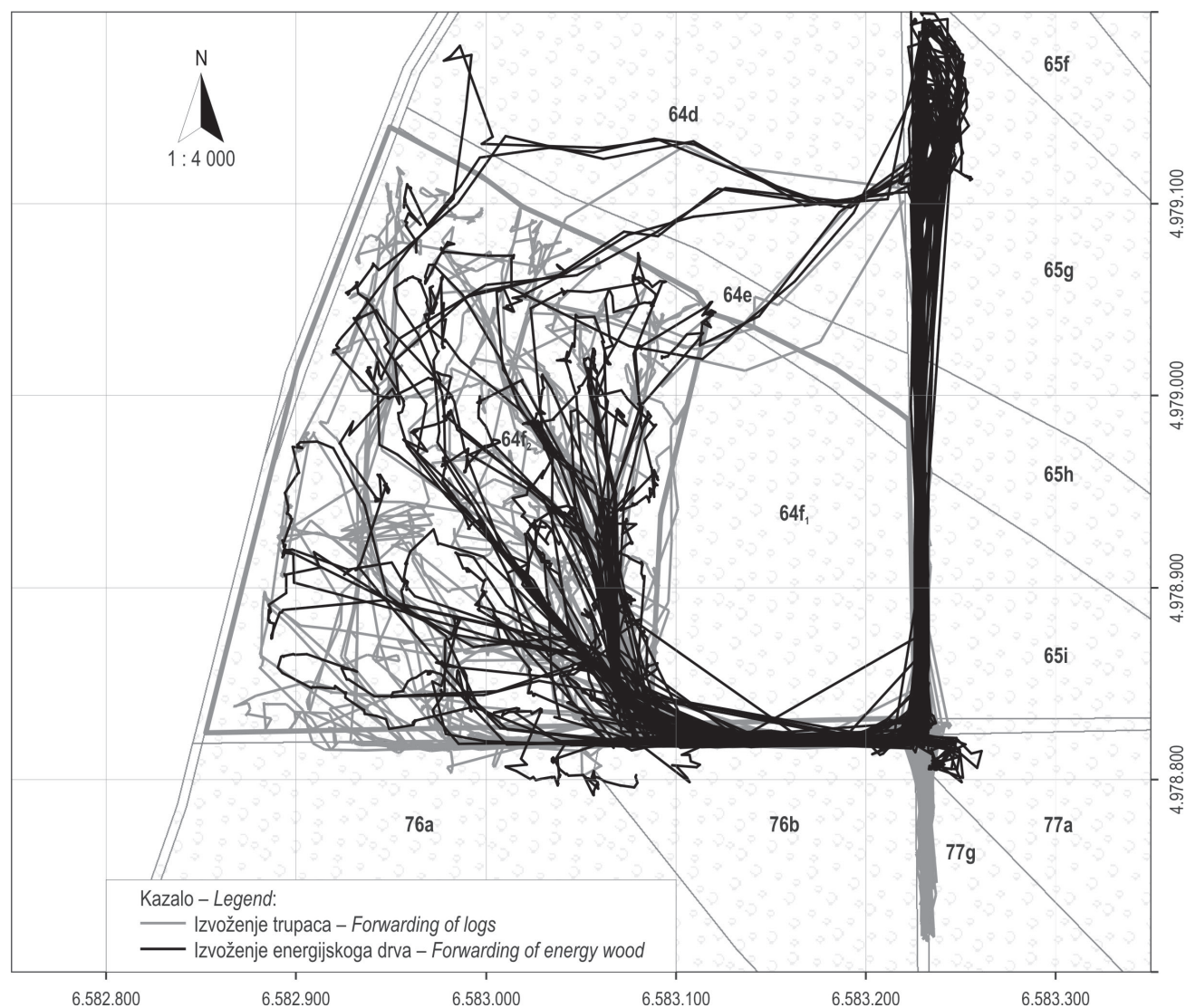
4. Rezultati – Results

Obradom podataka kretanja forvardera utvrđeno je da u odsjeku 64f₁ nakon izvoženja 41-oga tovara trupaca i višemetarskoga ogrjevnoga drva udio gažene površine iznosi 26,94 %, a naknadnim ulaskom forvardera radi izvoženja šest tovara šumskoga ostatka udio se gažene površine povećao za 5,01 %, što ukupno iznosi 31,95 % gaženja tla sječne jedinice (slika 3). Gaženje tla pri izvoženju jednogmetarskoga ogrjevnoga drva poljoprivrednim traktorima s (polu)prikolicama nije prikazano na slici 3 jer su se putanje kretanja vozila poklapale s putanjama kretanja forvardera tijekom



Slika 3. Karta gaženja tla u sječini 64f₁ nakon izvoženja trupaca i višemetarskoga ogrjevnoga drva te naknadnoga izvoženja šumskoga ostatka

Fig. 3 Map of soil disturbance in cut-block 64f₁ after logs and forest residue extraction



Slika 4. Karta gaženja tla u sječini 64f₂ nakon izvoženja trupaca te naknadnoga izvoženja energijskoga drva

Fig. 4 Map of soil disturbance in cut-block 64f₂ after extracting logs and energy wood

izvoženja trupaca i višemetarskoga ogrjevnoga drva, odnosno šumskoga ostatka.

Nakon izvoženja trupaca iz odsjeka 64f₂ udio gažene površine iznosio je 21,05 % površine sječne jedinice, a naknadnim izvoženjem energijskoga drva udio se gažene površine povećao za dodatnih 12,26 % (slika 4). Ukupni udio izgažene površine tla u odsjeku 64f₂ po završetku izvoženja iznosio je 33,31 %.

Najveće je ukupno gaženje tla utvrđeno pri izvoženju trupaca i energijskoga drva iz odsjeka 64f₂ (33,31 %), iako je najveća količina drva po jedinici površine izvezena iz odsjeka 64f₁ (242,98 t/ha). Analizirajući gaženje tla forvarderom pri izvoženju klasično izrađene oblovine, najveće je gaženje ostvareno pri skupnom

izvoženju trupaca i višemetarskoga ogrjevnoga drva (26,94 %) iz odsjeka 64f₁. Glavni je razlog tomu velika količina drva po jedinici površine (236,23 t/ha). U odsjeku 64f₂ količina izvezenih trupaca iznosila je 146,89 t/ha, što je 90 t/ha ili 38 % manje u odnosu na odsjek 64f₁. Zbog toga je dobiveno i manje gaženje (21,05 %), što je za 5,89 % ili u relativnom odnosu 22 % manje u odnosu na gaženje u odsjeku 64f₁.

Prema kartama prikazanim na slikama 3 i 4 može se jasno uočiti lepezast način kretanja forvardera na objema istraživanim sječinama. Kako su istraživane sječine 64f₁ i 64f₂ gotovo pravilnih dimenzija bez značajnijih površinskih prepreka, udio gažene površine kretanjem forvardera isključivo po predodređenoj i obilježenoj

Tablica 2. Gaženje tla i količina izvezenoga drva

Table 2 Site disturbance and quantity of forwarded wood

	Sječina – Cutblock 64f ₁ (2,44 ha)				Sječina – Cutblock 64f ₂ (5,70 ha)			
	Gaženje tla Site disturbance		Izvezeno drvo Forwarded wood		Gaženje tla Site disturbance		Izvezeno drvo Forwarded wood	
	m ²	%	t/ha	m ³ /ha	m ²	%	t/ha	m ³ /ha
Trupci (i) višemetarsko ogrjevno drvo <i>Logs (and) long fuelwood</i>	6.572	26,94	236,23	236,73	11.997	21,05	146,89	149,76
Šumski ostatak / energijsko drvo <i>Forest residues/ Energy wood</i>	1.223	5,01	6,75	–	6.990	12,26	67,33	–
Ukupno – Total	7.795	31,95	242,98	–	18.987	33,31	214,22	–



Slika 5. Karta istraživanih sječina (64f1 i 64f2) s prijedlogom sekundarnoga otvaranja

Fig. 5 Felling area 64f1 and 64f2 map with ideal skid trail network

mreži sekundarnih šumskih prometnica – traktorskih vlaka (slika 5) može se uvelike smanjiti.

Karta na slici 5 prikazuje prijedlog sekundarnoga otvaranja istraživanih sječina 64f₁ i 64f₂. Traktorske su vlake raspoređene okomito na prosjeku koja prolazi južnom stranicom odjela 64 i koja je isto tako u funkciji sekundarnoga otvaranja šuma. Međusobna udaljenost usporedne mreže traktorskih vlaka iznosi od 20 do 25 m, što omogućuje utovar drva dizalicom dohvata 10 m uz usmjereno rušenje stabala. Takvim rasporedom u odsjeku 64f₁ ukupno je postavljeno 6 traktorskih vlaka prosječne duljine 200 m. Širina gaženja tla istraživanim forvarderom iznosi 3 m, što približno odgovara širini forvardera, ali i širini šljukare (traktorske vlake). Na temelju iznesenih podataka ukupna gažena površina iznosi 3 600 m², što je u konačnici udio gaženoga tla od 15 % površine sječine. Prema vrijednostima u tablici 2 izmjereno gaženje tla za istraživanu sječinu (64f₁) iznosi 26,94 % (31,95 %) površine, što je dvostruko veći iznos u odnosu na gaženje tla kada bi se forvarder kretao po predloženoj usporednoj mreži traktorskih vlaka.

Ukupna površina idealno postavljenih traktorskih vlaka u odsjeku 64f₂ iznosi 7 080 m², a dobivena je na temelju njihova međusobnoga rasporeda u iznosu od 20 do 25 m, širine gaženja tla u iznosu 3 m i prosječne duljine traktorskih vlaka od 270 m. Pri tome udio površine pod sekundarnim šumskim prometnicama (gaženoga tla) iznosi samo 12,5 %, što je u odnosu na podatke iznesene u tablici 2 gotovo upola manje u odnosu na izmjerene vrijednosti gaženja tla pri izvoženju trupaca (21,05 %), odnosno 2,5 puta manje nakon izvoženja trupaca i energijskoga drva (33,31 %).

5. Rasprava – Discussion

Iz prikazanih rezultata istraživanja uočljivo je da veća količina drva po jedinici površine ne znači i jednak postotak povećanja gaženja tla pri izvoženju drva forvarderom.

U sječinama 64f₁ i 64f₂ izmjerene su dubine kolotruga od 12 cm i 11 cm, a ukupno gaženje tla prelazi 30 % površine sječina (31,95 % i 33,31 %), što je prema skandinavskom modelu procjene razine oštećenja staništa nakon izvoženja drva forvarderom (Wästerlund 2002) vrlo veliko oštećenje (tablica 1).

Snimanje koordinata položaja forvardera Valmet 860.4 bilo je namješteno na interval od 30 sekundi. Takav je vremenski interval ipak previše dugotrajan da bi se s velikom preciznošću mogla utvrditi stvarna duljina puta kretanja forvardera, odnosno točno izračunati udio gaženja tla sječine.

Kako se forvarder po istraživanim sječinama kretao bez ikakvih smjernica, kao dokaz da se pravilnim planiranjem sekundarne mreže šumskih prometnica može u znatnoj mjeri smanjiti udio gažene površine, izračunat je udio gažene površine za sječine 64f₁ i 64f₂ kod usporedne mreže traktorskih vlaka međusobnoga razmaka 20 – 25 m. Pri tome udio gaženoga tla iznosi samo 12,5 %, što je u odnosu na izmjerene vrijednosti gotovo upola manje pri izvoženju trupaca (21,05 %), odnosno 2,5 puta manje nakon izvoženja trupaca i energijskoga drva (33,31 %).

6. Zaključci – Conclusions

Brojni su autori u svojim istraživanjima dokazali da se dobrim organizacijskim mjerama gaženje tla može svesti na najmanju mjeru.

Rezultati ovoga istraživanja pokazuju da se u pridobivanju drva, počevši od same sječe, odnosno usmjerenoga rušenja stabala pa do pravilno planirane mreže sekundarnih šumskih prometnica gaženje tla pri izvoženju drva forvarderom može smanjiti za čak 2,5 puta.

Sadašnje stanje izvođenja radova, odnosno dobiveni rezultati govore da bi na poboljšanju organizacije radova svakako trebalo poraditi jer je gaženje tla previeliko, odnosno prema skandinavskom modelu oštećenje se tla kreće od velikoga do neprihvatljivoga, ovisno o nastaloj dubini kolotruga.

Kao posljedica dobro organiziranoga radilišta, osim manjega gaženja tla, zasigurno bi bilo i utjecaja na proizvodnost izvođenja radova. Pri tome se misli na povećanje učinkovitosti zbog smanjenja vremena kretanja po sastojini pa se može očekivati i smanjenje energijske potrošnje.

7. 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, 2009, 1–12.
- 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.
- Bigot, M., E. Cacot, 2002: Why and how should French foresters face the question of site disturbances in logging operations? Council on Forest Engineering (COFE) Conference Proceedings: »A Global Perspective« Auburn, June 16–20, 2002, 1–6.

- Grigal, D. F., 2000: Effects of extensive forest management on soil productivity. *For. Ecol. Manag.* 138 (1–3): 167–185.
- 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.
- 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, 1–234.
- Horvat, D., 1994: Penetrometar – mjerilo za procjenu sabijenosti šumskoga tla (Penetrometer – measuring device for estimation of forest soil compaction). *Mehanizacija šumarstva* 19(3): 161–171.
- Krpan, A. P. B., 1992: Iskorišćivanje šuma. U: Šume u Hrvatskoj, Đ. Rauš (ur.), Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 153–170.
- 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). 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.
- 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): 321–333.
- Lanford, B. L., B. J. Stokes, 1995: Compaction of two thinning systems: Part 1. Stand and site impacts. *For. Pro. J.* 45(5): 74–79.
- McMahon, S., R. Simcock, J. Dando, C. Ross, 1999: A fresh look at operational soil compaction. *New Zealand Journal of Forestry* 44(3): 33–37.
- McNeel, J. F., T. M. Ballard, 1992: Analysis of site stand impacts from thinning with a harvester-forwarder system. *J. For. Eng.* 4(1): 23–29.
- 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: 85–98.
- 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, BC-MOF. Nelson, BC.
- Pandur, Z., 2013: Primjena komercijalnog sustava za praćenje rada strojeva u istraživanju izvoženja drva forvarderom. Disertacija, Šumarski fakultet sveučilišta u Zagrebu, 1–312.
- Pirti, A., K. Gümüş, H. Erkaya, R. G. Hoşbaş, 2010: Evaluating Repeatability of RTK GPS/GLONASS Near/Under Forest Environment. *Croatian Journal of Forest Engineering* 31(1): 23–33.
- Poršinsky, T., 2005: Djelotvornost i ekološka pogodnost forvardera Timberjack 1710B pri izvoženju oblovine iz nizinskih šuma Hrvatske. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–170.
- Poršinsky, T., I. Stankić, 2006: Okolišna pogodnost forvardera Timberjack 1710B pri izvoženju oblovine iz nizinskih šuma Hrvatske (Environmental Evaluation of Timberjack 1710B Forwarder on Roundwood Extraction from Croatian Lowland Forests). *Glasnik za šumske pokuse, posebno izdanje* 5: 589–600.
- Poršinsky, T., I. Stankić, A. Bosner, 2011: Djelotvorno i okolišno prihvatljivo izvoženje drva forvarderom temeljem analize nominalnoga tlaka na podlogu. *Croatian Journal of Forest Engineering* 31(1): 345–356.
- Poršinsky, T., T. Pentek, A. Bosner, I. Stankić, 2012: Ecoefficient Timber Forwarding on Lowland Soft Soils. In: *Global Perspectives on Sustainable Forest Management* (ed: C. A. Okia), In Tech, 275–288.
- 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: 138–141.
- 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. *Phyton Horn* 36(3): 181–186.
- Rummer, B., 2002: Chapter 15: Forest Operations Technology. U: N. David Wear, John G. Greis (ur.), Southern forest resource assessment. Gen. Tech. Rep. SRS-53. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station, 341–353.
- Seixas, F., B. Stokes, B. Rummer, T. McDonald, 1995: Harvesting soil impacts for selected silvicultural prescriptions. U: The way ahead with harvesting and transportation technology: Proceedings of the IUFRO P3.07 meeting. International Union of Forestry Research Organizations, Beč, 230–238.
- Sever, S., 1980: Istraživanje nekih eksploatacijskih parametara traktora kod privlačenja drva. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–301.
- Slabak, M., 1983: Forvarderi u svijetu i kod nas. Zbornik radova »Mehanizacija šumarstva u teoriji i praksi«, Opatija, 351–361.
- Startsev, A. D., D. H. McNabb, 2000: Effects of skidding on forest soil infiltration in west-central Alberta. *Canadian Journal of Soil Science* 80: 617–624.
- Šušnjar, M., 2005: Istraživanje međusobne ovisnosti značajki tla traktorske vlake i vučne značajke skidera. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 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.

Vossbrink, J., R. Horn, 2004: Modern forestry vehicles and their impact on soil physical properties. *Eur. J. Forest Res.* 123: 259–267.

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.

Zenner, E. K., J. T. Fauskee, A. L. Berger, K. J. Puettman, 2007: Impacts of skidding traffic intensity on soil disturbance, soil recovery, and aspen regeneration in North Central Minnesota. *North. J. Appl. For.* 24(3): 177–183.

Abstract

Soil Disturbance during Timber Forwarding in Cut-Blocks of Common Oak

Soil disturbance, as a result of the movement of forest vehicles, has a negative effect on the growth and increment of forest trees and hence should be kept at a minimum. Some of the measures for reducing soil disturbance are: selecting a suitable harvesting system, setting a skid trail network (with traffic surveillance) and oriented felling as a must.

This paper presents the soil disturbance in timber forwarding on two adjacent felling sites after the final felling of common oak. The investigated forwarder was equipped with Fleet Management System (FMS connection) that enables remote control of its work or its position while moving in the researched felling sites.

The results indicate that the site disturbance of the researched felling sites is too high (>30 % of cut block areas) and that by better work organization, soil disturbance can be reduced to an acceptable level.

Keywords: soil disturbance, forwarder, lowland forests, work organization, secondary opening

Adresa autorâ – Authors' addresses:

Dr. Sc. Zdravko Pandur*

e-pošta: pandur@sumfak.hr

Prof. dr. sc. Tomislav Poršinsky

e-pošta: porsinsky@sumfak.hr

Izv. prof. dr. sc. Marijan Šušnjar

e-pošta: susnjar@sumfak.hr

Marko Zorić, mag. ing. silv.

e-pošta: mzoric@sumfak.hr

Dr. sc. Dinko Vusić

e-pošta: vusic@sumfak.hr

Zavod za šumarske tehnike i tehnologije

Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Svetošimunska 25

10 000 Zagreb

HRVATSKA

*Glavni autor – Corresponding author

Primljeno (Received): 10. 1. 2014.

Prihvaćeno (Accepted): 18. 3. 2014.