Ocjena okolišne pogodnosti forvardera opremljenoga različitim gumama i polugusjenicom

Mioč, Mirko

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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:108:939212

Rights / Prava: Attribution 4.0 International/Imenovanje 4.0 međunarodna

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
ŠUMARSKI FAKULTET
ŠUMARSKI ODSJEK

PREDIPLOMSKI STUDIJ
ŠUMARSTVO

MIRKO MIOČ

OCJENA OKOLIŠNE POGODNOSTI FORVARDERA OPREMLJENOGA RAZLIČITIM GUMAMA I POLUGUSJENICOM

ZAVRŠNI RAD

ZAGREB, RUJAN 2020.

Podaci o završnom radu

Zavod:	Zavod za šumarske tehnike i tehnologije
Predmet:	Pridobivanje drva I
Mentor:	prof. dr. sc. Tomislav Poršinsky
Asistent:	
Student:	Mirko Mioč
JMBAG:	0068225963
Akad. godina:	2019/2020
Mjesto, datum obrane:	Zagreb, 25. rujna 2020.
Sadržaj rada:	Slika: 16 Tablica: 2 Navoda literature: 16
Sažetak:	Završni rad bavi se ocjenom opremljenosti forvardera pneumaticima (gumama) različite širine i polugusjenicama u cilju dosezanja okolišne pogodnosti iskazane dubinom kolotraga pri višekratnom kretanju opterećenoga vozila. Zasnovan je na srednje teškom (nosivosti 11 tona) osmokotačnom forvarderu HSM 208F, čiji je vozni sustav opremljen u tri inačice: 1) standarnim – užim (710/45-26.5 Trelleborg 422) gumama, 2) opcijskim – širim (54x37-25 Firestone) gumama te 3) užim gumama (710/45-26.5) koje su dodatno opremljene polugusjenicama Olofsfors Eco-Trac. Ocjena okolišne pogodnosti obuhvatila je: 1) raspodjelu opterećenja po osovinama forvardera HSM 208F ovisno o količini utovarenoga drva prema metodi – Poršinsky i Horvat (2005), 2) dodirnu površina forvardera i tla te raspodjelu nominalnog tlaka na podlogu ovisno o količini utovarenoga drva (Melgren 1980). Dobiveni rezultati uspoređeni su sa rezultatima dubine kolotraga pri izvoženju drva prethodno objavljenog istraživanja (Haas i dr. 2016). Temeljem provedene analize nominalnog tlaka na podlogu, najbolju ocjenu okolišne pogodnosti dobio je vozni sustav forvardera HSM 208F s gumama 710/45-26.5 Trelleborg 422 koje su dodatno opremljene polugusjenicama Olofsfors Eco-Trac, a zatim redom slijede vozni sustav sa širim gumama 54x37-25 Firestone te vozni sustav s užim gumama 710/45-26.5 Trelleborg 422. S strane, analiza dubine kolotraga ovisno o višekratnome prolasku opterećenoga forvardera HSM 208F (Haas i dr. 2016), najbolju ocjenu okolišne pogodnosti dobio je vozni sustav sa širim gumama 54x37-25 Firestone, a zatim redom slijede vozni sustav s gumama 710/45-26.5 Trelleborg 422 koje su dodatno opremljene polugusjenicama Olofsfors Eco-Trac, te vozni sustav sa užim gumama (710/45-26.5 Trelleborg 422) bez polugusjenica. Raskorak između ova dva pokazatelja ocjenjivanja okolišne pogodnosti svakako je precjenjivanje dodirne površine voznog sustava forvardera opremljenog polugusjenicom i tla u izrazu za nominalni tlak na podlogu (Melgren 1980).

Izjava o izvornosti rada

»Izjavljujem da je moj završni rad izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni«.

U Zagrebu, 25. rujna 2020.

Mirko Mioč

Sadržaj

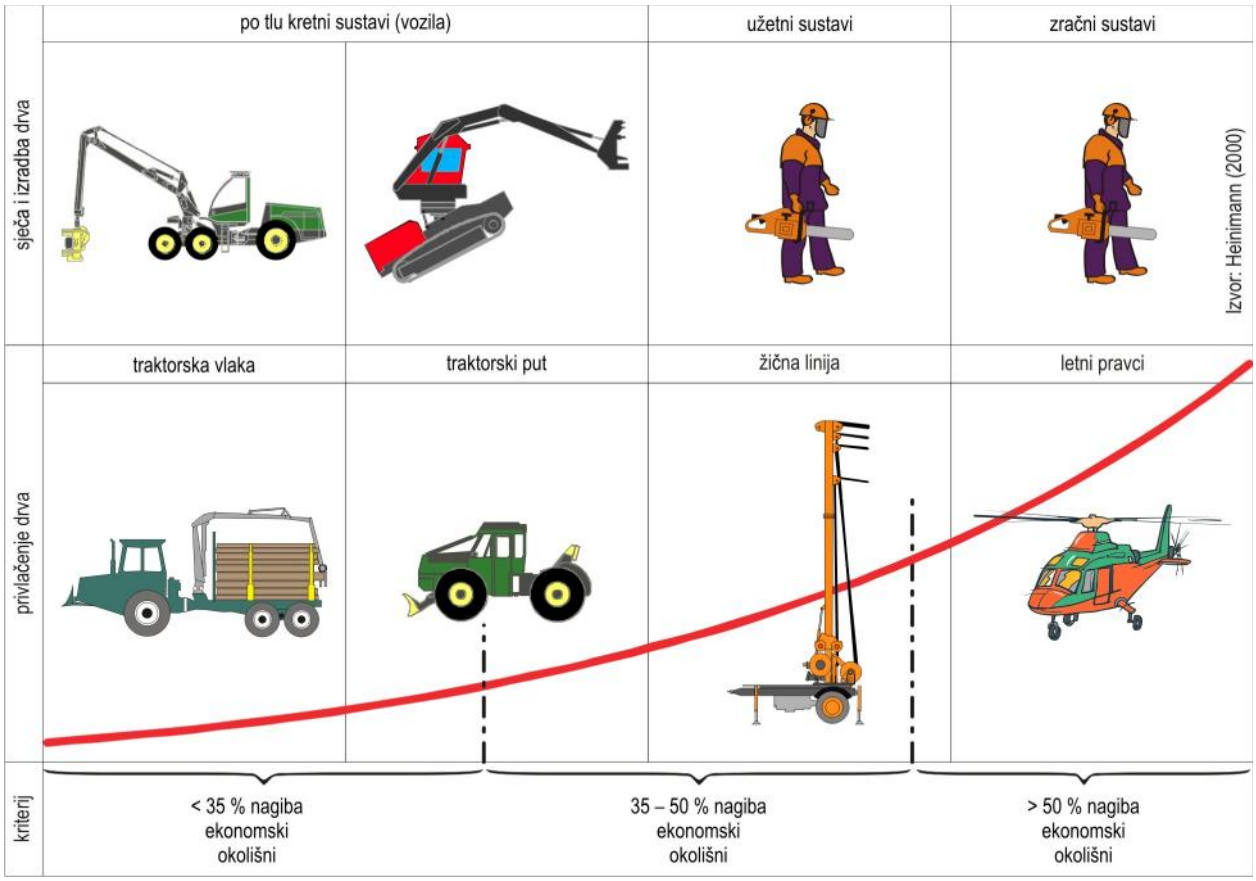
Podaci o završnom radu II
Izjava o izvornosti rada III
Sadržaj IV
1. Uvod 1
1.1 Izvoženje drva forvarderom 3
1.2 Oštećenja tla pri izvoženju drva forvarderom 5
2. Materijal i metode 8
2.1 Forvarder HSM 208F 8
2.2 Raspodjela opterećenja forvardera 9
2.3 Nominalni tlak na podlogu 10
3. Rezultati 12
3.1 Analiza raspodjele opterećenja osovina forvardera 12
3.2 Analiza raspodjele nominalnog tlaka na podlogu 14
3.3 Analiza dubine kolotraga 17
4. Zaključak 19
5. Literatura 20

1. Uvod

Primjena šumskih vozila u mehaniziranim procesima proizvodnje drva predstavlja još uvjek najdjelotvorniji način pridobivanja drva (Poršinsky i dr. 2016), pri čemu se pred šumska vozila postavlja zahtjev za njihovom što većom kretnošću u odnosu na prometnost terena šumskoga bespuća.

Velik utjecaj na odabir sustava pridobivanja drva, tj. mehaniziranih sredstava rada, kao i njihovu djelotvornost (proizvodnost i jedinične troškove) imaju terenski čimbenici. Sustav pridobivanja drva određen je postupcima, metodom izradbe drva (sortimentna, poludeblovna, deblovna, stablovna), te strojevima i alatima koji se koriste prilikom eksploatacije neke sječne jedinice. Izbor sredstva privlačenja drva (skider, forvarder, žičara) u svjetlu djelovanja terenskih čimbenika (reljefnih područja) te razine primarne i sekundarne otvorenosti šuma najbitnija je odrednica cijeloga sustava pridobivanja drva (Poršinsky 2008).

Terenski čimbenici izvođenja šumskih radova, određenoga zemljopisnog položaja, koji uvjetuju stupanj težine, mogućnosti odnosno ograničenja izvođenja mehaniziranih šumskih radova uopće, su: nagib terena, površinske prepreke te nosivost same podloge (Đuka i Poršinsky 2015).

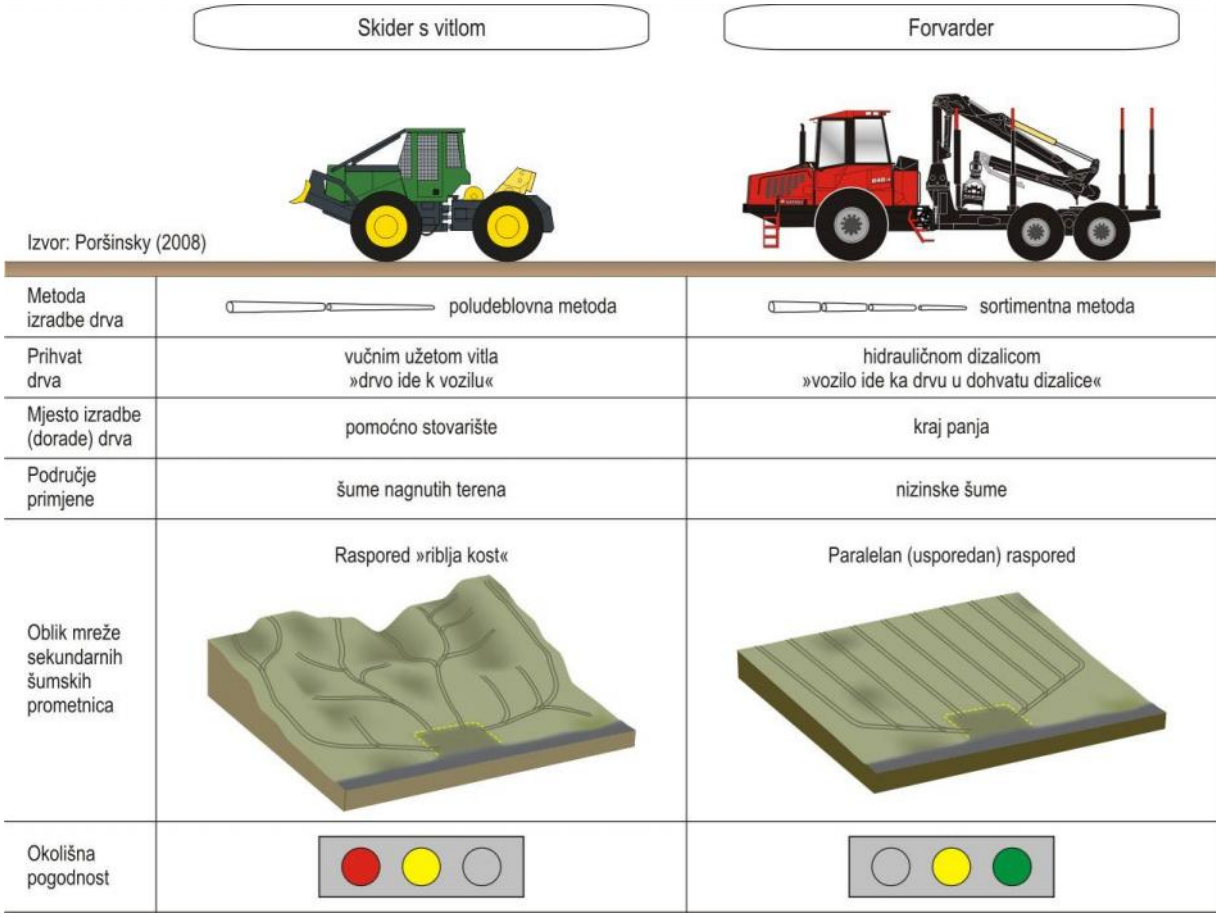


Slika 1. Područje rada pojedinih sustava pridobivanja drva (Poršinsky 2008)

Nagib terena je najbitniji terenski čimbenik, jer on neposredno utječe na odabir tehnologija pridobivanja drva (slika 1). Nagib terena utječe na stabilnost vozila pri

kretanju jer se svi kotači vozila sukobljavaju s jednakim makrotopografskim vrijednostima, pri čemu se privlačenje drva vozilima izvodi <35 % nagiba terena. Za područje kretnosti kotačnih šumskih vozila, bez obzira na njihovu namjenu, Đuka (2014) navodi nagib terena <30 % (bez obzira na smjer kretanja), te da je navedeno ograničenje prosječna vrijednost koja ovisi o površinskim preprekama, te uvjetima nosivosti podloge. Iznošenje je drva žičarama ponajprije vezano uz nepristupačna brdsko-planinska područja, gdje je zbog velikih visinskih razlika na kratkim horizontalnim udaljenostima troškovno i okolišno neprihvatljiva gradnja šumskih prometnica (Poršinsky i Stankić 2005). Kod nagiba od 35 do 50 % za iznošenje drva preporuča se korištenje žičara, a >50 % helikoptere. Pri iznošenju drva oblovina je odignuta od tla, što manje oštećuje tlo i pomladak te je kao takav postupak okolišno prihvatljiv.

Sastojinski čimbenici, zajedno sa smjernicama gospodarenja, isto tako, značajno utječu na izbor sredstva mehaniziranoga privlačenja drva, kao i na njihovu djelotvornost, koji su u literaturi poznati kao zakonitosti mehaniziranja šumskih radova (zakonitosti: obujma komada, zakonitost vrste proizvoda, zakonitost proizvodnje).



Slika 2. Osnovne značajke prevladavajućih načina privlačenja drva u RH

Različitosti sastojinskih i terenskih uvjeta hrvatskoga šumarstva utjecale su na primjenu dviju bitno različitih metoda izradbe drva, ali i vrste vozila (slika 2) za privlačenje drva (Poršinsky 2005, Đuka 2014):

⇒ područje nizinskih šuma (ravničarski tereni) – sortimentna metoda izradbe drva, drvo se izvozi, u sječinama glavnoga prihoda (oplodne sječe) koriste se forvarderi, dok se u sječinama prethodnoga prihoda (prorede) koriste traktorski skupovi (ekipaže),

⇒ područje brežuljkastih, brdskih i gorskih šuma (tereni s manjim ili većim nagibom terena) – (polu)deblovna metoda izradbe drva, drvo se dijelom vuče po tlu te privlači s jednim odignutim krajem, u sječinama glavnoga prihoda koriste se zglobni traktori s vitlom, a u sječinama prethodnoga prihoda koriste se ista vozila manje mase.

Posebnosti privlačenja drva skiderom i forvarderom, s obzirom na: 1) metodu izradbe drva, 2) način prihvata drva, 3) mjesto izradbe (dorade) drva, 4) područje primjene – nagnutost terena, 5) pogodnost oblika mreže sekundarnih šumskih prometnica te 6) okolišnu pogodnost, prikazuje slika 2.

Iz svega navedenoga, može se zaključiti da na djelotvornost privlačenja drva, neovisno o primjenjenoj vrsti i sredstvu rada, utječe: udaljenost privlačenja, zakoni mehaniziranja šumskih radova, terenski čimbenici te mogućnosti samog sredstva rada. Proizvodnost i jedinični troškovi, kao i posljedičnost privlačenja drva (gaženje i sabijanje tla), uporabljenoga sredstva privlačenja drva, isto tako, ovise: o terenskim i sastojinskim čimbenicima, kao i o uvjetima otvorenosti šuma.

Cilj je ovoga rada, na primjeru osmokotačnoga forvardera HSM 208F, ocjeniti opremljenosti forvardera pneumaticima (gumama) različite širine i polugusjenicama u cilju dosezanja okolišne pogodnosti iskazane dubinom kolotraga pri višekratnom kretanju opterećenoga vozila.

1.1 Izvoženje drva forvarderom

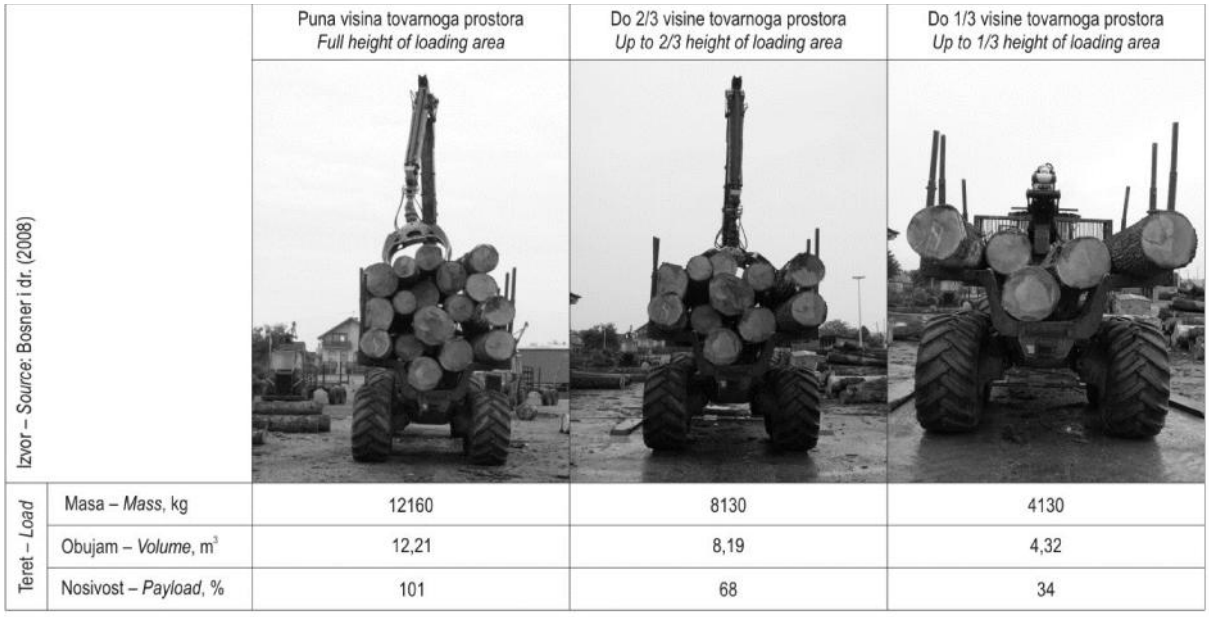
Izvoženje drva forvarderom predstavlja poseban oblika privlačenja drva. Pri izvoženju drva teret je potpuno izdignut od tla te se pri kretanju svladavaju samo otpori kotrljanja (Poršinsky 2005). Izvoženje drva modernim mehaničkim sredstvima naslanja se na dugu, tradicijsku uporabu životinjsko-kolske zaprege.

Primjena forvardera uvjetuje odgovarajuće tehnologije izradbe šumskih sortimenata, odnosno sortimentnu metodu izradbe drva. Pri sortimentnoj metodi izradbe stabla se obaraju, krešu se grane i izrađuju različiti sortimenti prema važećim normama na mjestu sječe (kod panja). U današnje je doba sječa i izradba ručno-strojna (s primjenom motornih pila) ili potpuno mehanizirana. Drvo se, izrađeno sortimentnom metodom po bespuću izvozi forvarderom ili traktorima s (polu)prikolicom tzv. traktorskim ekipažama, iako je moguća primjena i ostalih sredstava privlačenja drva po tlu i zraku.

Prednji, upravljačko-pogonski dio vozila i pogonjena poluprikolica (nosač tereta) spojeni su zglobno (dva zgloba – uzdužni i poprečni), s mogućnošću gibanja u vodoravnoj i uspravnoj ravnini. Forvarderom se upravlja preko uzdužnog zgloba, promjenom kuta prednjeg i stražnjeg dijela vozila u vodoravnoj ravnini, što najčešće omogućavaju dva

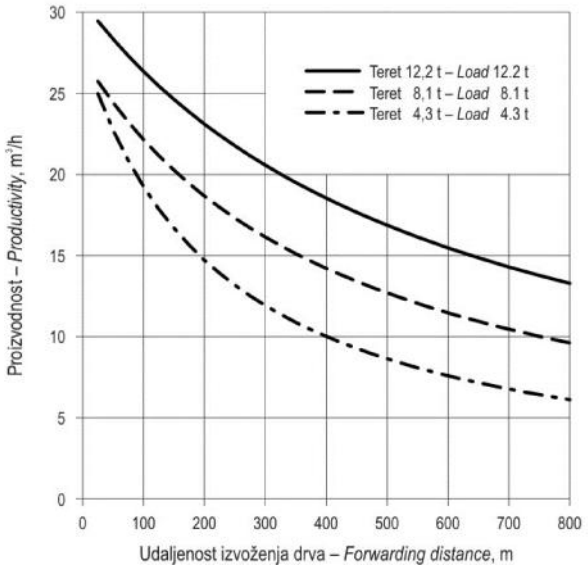
hidraulička cilindra. Ovakav način upravljanja forvarderima omogućuje vanjske polumjere okretanja od 4 m do 9 m (prosječno 7,5 m), što poboljšava kretnost ovih vozila pri radu u šumi. Osim upravljanja forvarderom, zglobna veza omogućava savladavanje terenskih prepreka gibljivošću u uspravnoj ravnini (poprečni zglob), čime je omogućeno njihanje prednjeg i stražnjeg dijela vozila. Za vrijeme 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 utovarnog dijela vozila, jer kotači povezani bogie mostom dobro slijede površinske neravnine ublažujući visinske razlike terena, ali i amortiziraju vozilo tijekom kretanja.

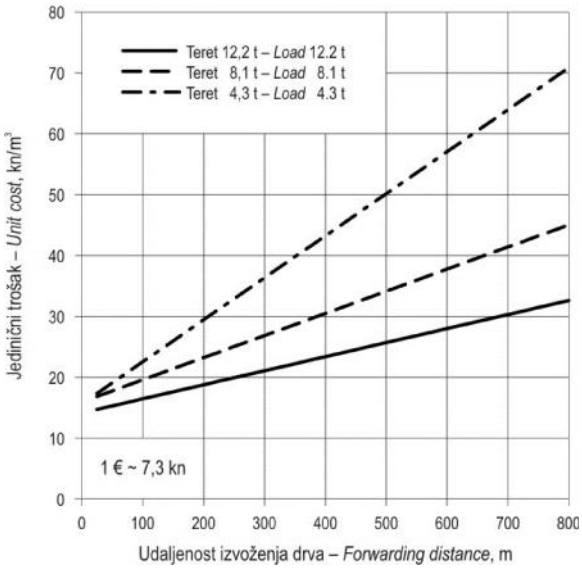
Za prijenos snage pogonskog motora forvardera na kotače najčešće se koristi mehaničko – hidrodinamička, hidrostatsko – mehanička te hidrostatska transmisija.



Izvor – *Source*: Bosner i dr. (2008)

Teret – *Load*	Puna visina tovarnoga prostora *Full height of loading area*	Do 2/3 visine tovarnoga prostora *Up to 2/3 height of loading area*	Do 1/3 visine tovarnoga prostora *Up to 1/3 height of loading area*
Masa – *Mass*, kg	12160	8130	4130
Obujam – *Volume*, m^3	12,21	8,19	4,32
Nosivost – *Payload*, %	101	68	34





Slika 3. Utjecaj redukcije tereta na djelotvornost forvardera (Poršinsky i dr. 2011)

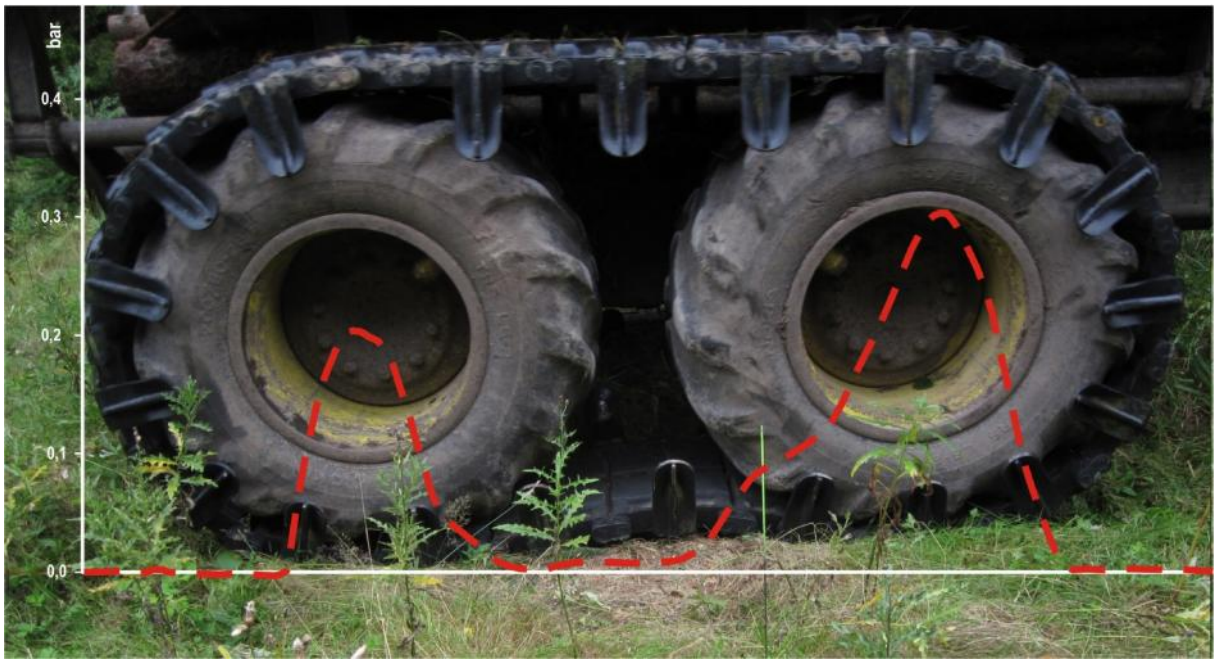
Proizvodnost forvardera ovisi o međudjelovanju čitavog niza utjecajnih čimbenika poput udaljenosti izvoženja drva, vrste drva i dimenzija izrađene oblovine, sječne gustoće, nagiba terena, površinskih prepreka, uvjeta nosivosti podloge, otvorenosti sječina sekundarnom mrežom prometnica, moguće prethodne pripreme tovara, , potrebe za razvrstavanjem sortimenata na pomoćnome stovarištu, vještina rukovatelja te same tehničko-tehnološke značajke vozila i dizalice (Poršinsky 2005).

Poršinsky i dr. (2011) istražuju utjecaj smanjenja obujma tereta uslijed ograničene nosivosti podloge nizinskih šuma na djelotvornost izvoženja drva forvarderom Valmet 840.2 (slika 3). U istraživanju analiziraju djelotvornost izvoženja drva forvarderom s obzirom na tri veličine tereta: 1) puna visina utovarnoga prostora (teret – 12,2 t, 12,2 m^3), 2) 2/3 visine utovarnoga prostora (teret – 8,1 t, 8,2 m^3) te 3) 1/3 visine utovarnoga prostora (teret – 4,1 t, 4,3 m^3). Provedenim istraživanjem utvrđuju, širok rasponi pada proizvodnosti i rasta jediničnih troškova forvardera uslijed smanjenog obujma tereta forvardera, ali i porasta udaljenosti izvoženja drva. Isti autori, zaključuju da smanjenje obujma utovarenoga drva snažno utječe na djelotvornost forvardera te s ekonomskoga gledišta svakako nije prihvatljiva metoda osiguranja kretnosti forvardera u uvjetima ograničene nosivosti podloge.

1.2 Oštećenja tla pri izvoženju drva forvarderom

Pri ocjenjivanju okolišne pogodnosti šumskih vozila, kod kojih zbog stalnoga dodira s tlom raste mogućnost njegova oštećivanja, kriteriji su gaženje i zbijanje tla (Poršinsky i Horvat 2005).

Gaženje je radnja kojom se zbija površina tla zbog kretanja šumskih strojeva, a ovisi o sekundarnoj otvorenosti sječne jedinice te najvećoj udaljenosti dohvata drva prihvatnom napravom (hidraulična dizalica, vučno uže vitla) i određenoga sredstva za rad (forvarder, skider).



Slika 4. Kratkotrajno djelovanja dodirnih tlakova forvardera na tlo (Poršinsky 2018)

Zbijanje tla, odnosno nastanak kolotraga kotača, posljedica je kretanja vozila po šumskom bespuću zbog kratkotrajnoga djelovanja dodirnih tlakova (slika 4) te (pro)klizavanja pogonskih kotača (i) vučenoga tereta. Zbijanjem se tla razbijaju strukturni agregati, smanjuje se međuagregatni prostor te količina pora i volumen tla (Poršinsky 2005). Isti autor, navodi da se zbog toga pogoršava toplotni režim u tlu, mijenjaju se vodno-zračni odnosi u tlu i donekle se smanjuju uvjeti za prehranu koji su potrebni za razvitak biljaka, odnosno smanjuje se mikrobiološka aktivnost zbog dovođenja tla u anaerobne uvjete. Zbijanjem se u prvom redu smanjuje količina nekapilarnih pora i propusnost tla za vodu, što na nagnutim izbrazdanim površinama mrežom kolotraga vozila ubrzava površinsko otjecanje vode te u konačnici izaziva eroziju. Osjetljivost šumskoga tla na zbijanje određuju ovi čimbenici: veličina dodirnih tlakova vozila, tekstura tla, vlaga tla tijekom privlačenja drva, udjel skeletnih i pjeskovitih čestica u tlu, struktura tla, prirodna gustoća i poroznost tla te debljina humusno akumulativnog sloja (Poršinsky 2018).

Gume kotača predstavljaju jedini dodir šumskih vozila s podlogom preko kojih se prenose sile, odnosno opterećenja na šumsko tlo, što postavlja zahtjeve pred šumarske stručnjake s ciljem odabira guma pri opremanju vozila na osnovi njihovih dimenzijskih i konstrukcijskih značajki (Poršinsky i dr. 2020).

S obzirom da su šumska vozila od strane njihovih proizvođača već definirana svojim dimenzijskim i konstrukcijskim značajkama, njihova se kretnost (djelotvornost) može povećati isključivo odabirom vrste pneumatika (u skladu s naputcima proizvođača) s obzirom na namjenu koju obavljaju, odnosno terenske prilike u kojima se koriste.



Izvor – *Source*: Sutherland (2003)

Slika 5. Tipični dezeni gazne površine pneumatika šumskih vozila (Poršinsky i dr. 2020)

Od početaka mehaniziranja šumskih radova do danas, pri opremanju šumskih vozila iskristalizirala su se dva tipična dezena gazne površine pneumatika s dijametralno suprotnim prednostima i nedostatcima, a koji se razlikuju s obzirom na položaj, razmak, visinu i broj rebara (slika 5). Navedene značajke gaznoga sloja pneumatika, presudne

su za vučne značajke šumskih vozila pogotovo pri radu na šumskim tlima povećane vlažnosti te ograničene nosivosti kada dolazi do pojave klizanja kotača.



Slika 6. Dodatno opremanje pneumatika šumskih vozila (Poršinsky i dr. 2020)

S ciljem osiguranja kretnosti šumskih vozila na slabo nosivim podlogama, ali i zaštite šumskog tla od oštećivanja, šumska se vozila dodatno opremaju: lancima (slika 6A) i gusjenicama za kotače vozila (slika 6B), odnosno polugusjenicama za udvojene kotače u tandem rasporedu (slika 6C). Korištenjem lanaca ne povećava se dodirna površina, već se reducira klizanje kotača na nenosivim podlogama, odnosno zaštićuju se gume na kamenitim podlogama (Ireland 2006). Isti autor, navodi da opremanje šumskih vozila gusjenicama za kotače, doprinosi smanjenju klizanja, uz relativno malo povećanje dodirne površine.

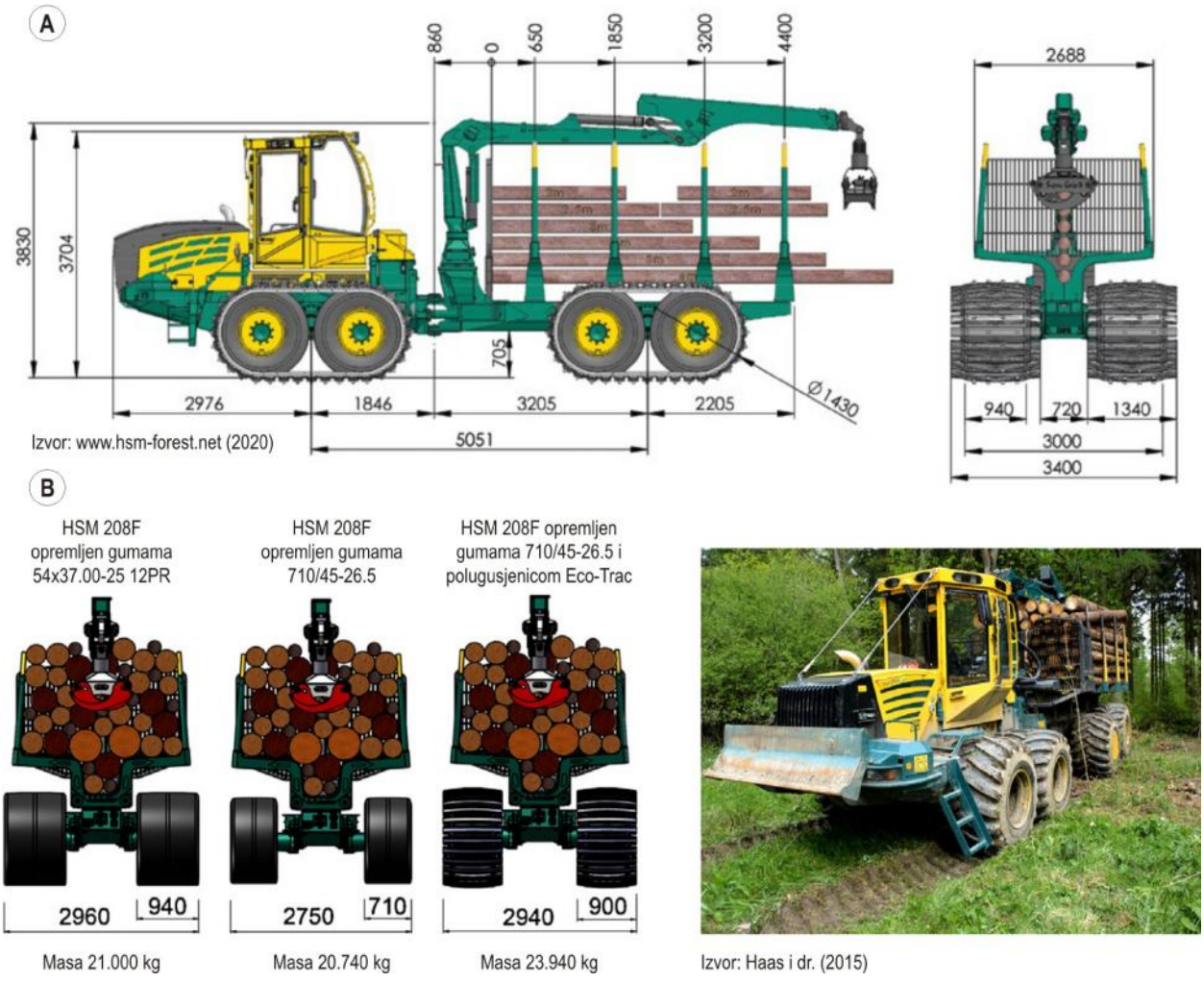
Poršinsky i dr. (2011) navode višestruke koristi opremanja kotača udvojene (bogi) osovine fovardera u ograničenim uvjetima nosivosti podloge: 1) zaštita tla od oštećivanja zbog povećanja površine dodira, odnosno smanjenja dodirnoga tlaka, 2) osiguranje kretnosti vozila smanjenjem klizanja kotača, ali i dubine kolotraga odnosno otpora kotrljanja vozila, 3) osiguranje djelotvornosti izvoženja drva, 4) smanjenje potrošnje goriva zbog smanjenja klizanja kotača, 5) povećanje bočne stabilnosti forvardera pri utovaru i istovaru drva, ali i pri kretanju vozila pogotovo pri radu na nagnutim terenima. Korištenje polugusjenica značajno umanjuje brzinu kretanja šumskih vozila pri radu na tlima zadovoljavajuće nosivosti (Poršinsky 2005). Polugusjenice za šumska vozila, razlikuju se s obzirom na korak zgloba polugusjenice te oblik i širinu pločica polugusjenica (slika 11C), koje su oblikovane za rad na ravnim (ECO-TRACK), nagnutim (EX), odnosno kamenitim terenima (U-RUBBER).

2. Materijal i metode

Opseg istraživanja, određen je postavljenim ciljem – ocjenom dobrote opremanja forvardera pneumaticima i polugusjenicama, na primjeru srednje teškog osmokotačnog forvardera HSM 208F. Stoga je metodološki ovo poglavlje razdijeljeno na sljedeća potpoglavlja: 1) Forvarder HSM 208F, 2) Raspodjela opterećenja forvardera, 3) Nominalni tlak na podlogu.

2.1 Forvarder HSM 208F

Srednje teški osmokotačni forvarder HSM 208F, nominalne je nosivosti 11 t, čije su gabaritne dimenzije prikazane na slici 7A. Ovisno o opremljenosti voznoga sustava forvardera, masa neopterećenoga vozila kreće se u rasponu od 21.000 kg do 23.940 kg (slika 7B), za koju proizvođač navodi da 60 % otpada na prednju, a 40 % na stražnju osovinu. Ploština je poprečnoga presjeka utovarnoga prostora 4,2 m^2, a duljina 4,4 m.



Slika 7. Značajke osmokotačnog forvardera HSM 208F

Međuosovinski razmak udvojenih kotača u tandem rasporedu iznosi 1500 mm.

Vozilo pokreće šestocilindarski dizelski motor s prednabijanjem, zapremine 7700 cm^3, nazivne snage 185 kW pri 1600 min^{-1} i 1175 Nm najvećega momenta pri 1400 min^{-1}.

Forvarder je opremljen dizalicom Epsilon M70 F80, podiznog momenta 102 kNm te dosega 8 m.

Forvarder je standardno opremljen gumama 710/45-26.5, uz mogućnost opremanja širokom paletom opcijskih guma: 600/55-26.5, 800/40-26.5, 870/40-26.5 te 54x37-25.

Značajke standardih (užih) i opcijskih (širih) pneumatika, na osnovu kojih će se provesti ocjena opremljenosti forvardera HSM 208F gumama različite širine u cilju desezanja okolišne pogodnosti prikazane su na slici 8.



Slika 8. Značajke standardnih (užih) i opcijskih (širih) pneumatika

Jedan od ciljeva rada je i ocjena okolišne pogodnosti forvardera HSM 208F opremljenoga standardnim gumama 710/45-26.5 te univerzalnom Olofsforsovom polugusjenicom Eco-trac.

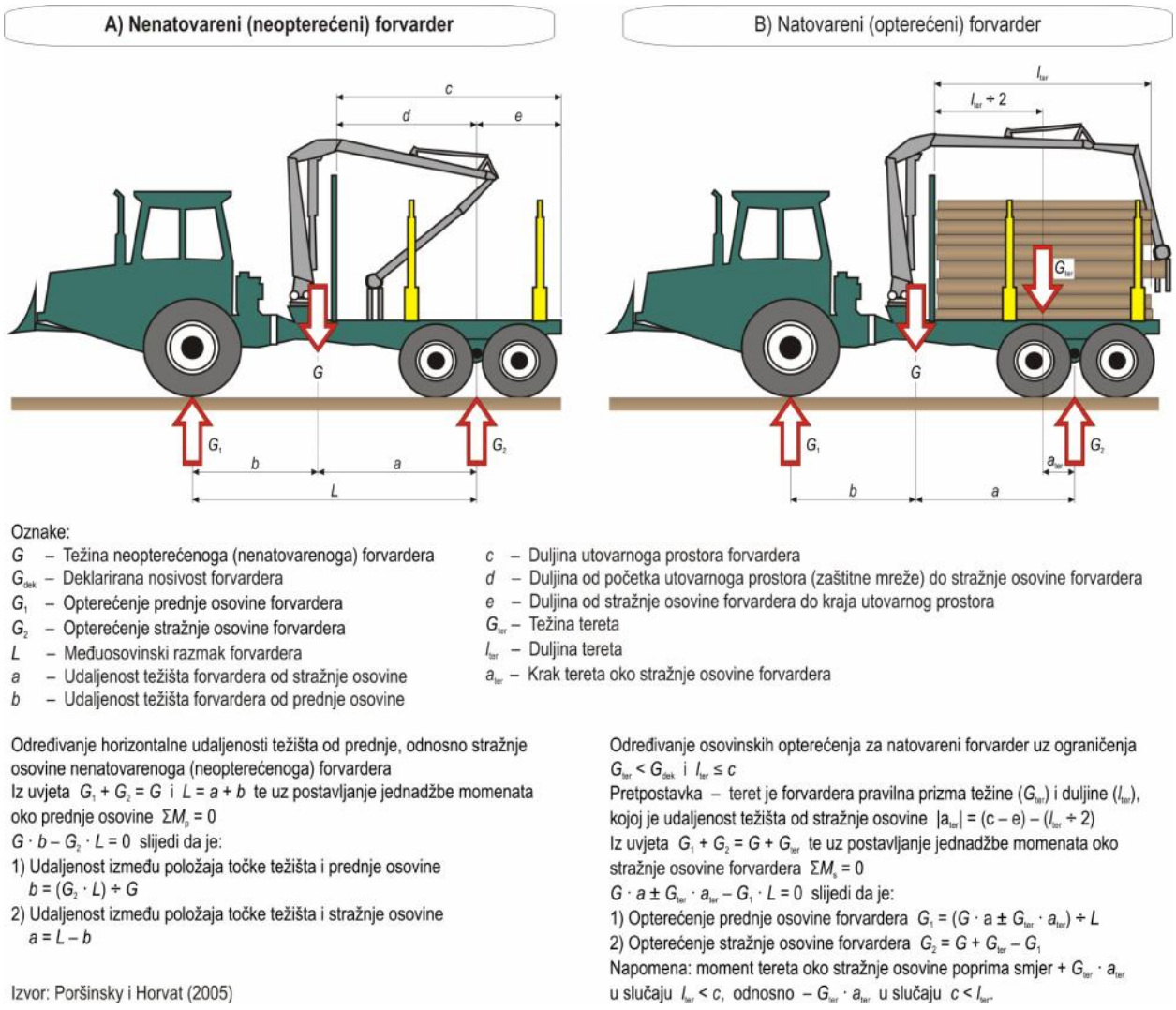
Polugusjenica Eco-trac za standardne gume forvardera HSM 208F (710/45-26.5) širine je 90 cm te mase 800 kg, čime se dodatno opterećuje forvarder sa 1600 kg po osovini, odnosno 3200 kg samo vozilo kada su kotači prednje i stražnje osovine opremljeni polugusjenicama.

2.2 Raspodjela opterećenja forvardera

Teorijski model raspodjele osovinskih opterećenja forvardera (slika 9) na ravnome terenu u ovisnosti o masi i duljini natovarene oblovine u tovarni prostor vozila (Poršinsky 2005, Poršinsky i Horvat 2005) zasnovan je na podatcima izmjere osovinskih opterećenja neopterećenog forvardera te izmjeri osnovnih gabaritnih dimenzija vozila.

Rješavanjem momentne jednadžbe oko prednje osovine neopterećenoga forvardera otvoren je put izračunu horizontalne udaljenosti položaja točke težišta od prednje, odnosno stražnje osovine (slika 9A).

Osovinska opterećenja natovarenoga forvardera, prikazani model izračunava pomoću jednadžbe momenata oko stažnje osovine, gdje je se momentima neopterećenoga vozila pridodao teret (slika 9B). Pri tome se pretpostavilo da je teret (oblovina) pravilna prizma, određene mase i duljine uz zanemarivanje šupljina između obloga drva u tovarnom prostoru forvardera. Duljina kraka tereta oko stražnje osovine izračunava se na osnovi gabaritnih dimenzija forvardera, ali i procijenjene duljine tereta.



Oznake:

G – Težina neopterećenoga (nenatovarenoga) forvardera
G_{dek} – Deklarirana nosivost forvardera
G_1 – Opterećenje prednje osovine forvardera
G_2 – Opterećenje stražnje osovine forvardera
L – Međuosovinski razmak forvardera
a – Udaljenost težišta forvardera od stražnje osovine
b – Udaljenost težišta forvardera od prednje osovine
c – Duljina utovarnoga prostora forvardera
d – Duljina od početka utovarnoga prostora (zaštitne mreže) do stražnje osovine forvardera
e – Duljina od stražnje osovine forvardera do kraja utovarnog prostora
G_{ter} – Težina tereta
l_{ter} – Duljina tereta
a_{ter} – Krak tereta oko stražnje osovine forvardera

Određivanje horizontalne udaljenosti težišta od prednje, odnosno stražnje osovine nenatovarenoga (neopterećenoga) forvardera

Iz uvjeta $G_1 + G_2 = G$ i $L = a + b$ te uz postavljanje jednadžbe momenata oko prednje osovine $\Sigma M_p = 0$

$G \cdot b - G_2 \cdot L = 0$ slijedi da je:

1) Udaljenost između položaja točke težišta i prednje osovine
$b = (G_2 \cdot L) \div G$
2) Udaljenost između položaja točke težišta i stražnje osovine
$a = L - b$

Određivanje osovinskih opterećenja za natovareni forvarder uz ograničenja $G_{ter} < G_{dek}$ i $l_{ter} \leq c$

Pretpostavka – teret je forvardera pravilna prizma težine (G_{ter}) i duljine (l_{ter}), kojoj je udaljenost težišta od stražnje osovine $|a_{ter}| = (c - e) - (l_{ter} \div 2)$

Iz uvjeta $G_1 + G_2 = G + G_{ter}$ te uz postavljanje jednadžbe momenata oko stražnje osovine forvardera $\Sigma M_s = 0$

$G \cdot a \pm G_{ter} \cdot a_{ter} - G_1 \cdot L = 0$ slijedi da je:

1) Opterećenje prednje osovine forvardera $G_1 = (G \cdot a \pm G_{ter} \cdot a_{ter}) \div L$
2) Opterećenje stražnje osovine forvardera $G_2 = G + G_{ter} - G_1$

Napomena: moment tereta oko stražnje osovine poprima smjer + $G_{ter} \cdot a_{ter}$ u slučaju $l_{ter} < c$, odnosno $- G_{ter} \cdot a_{ter}$ u slučaju $c < l_{ter}$.

Izvor: Poršinsky i Horvat (2005)

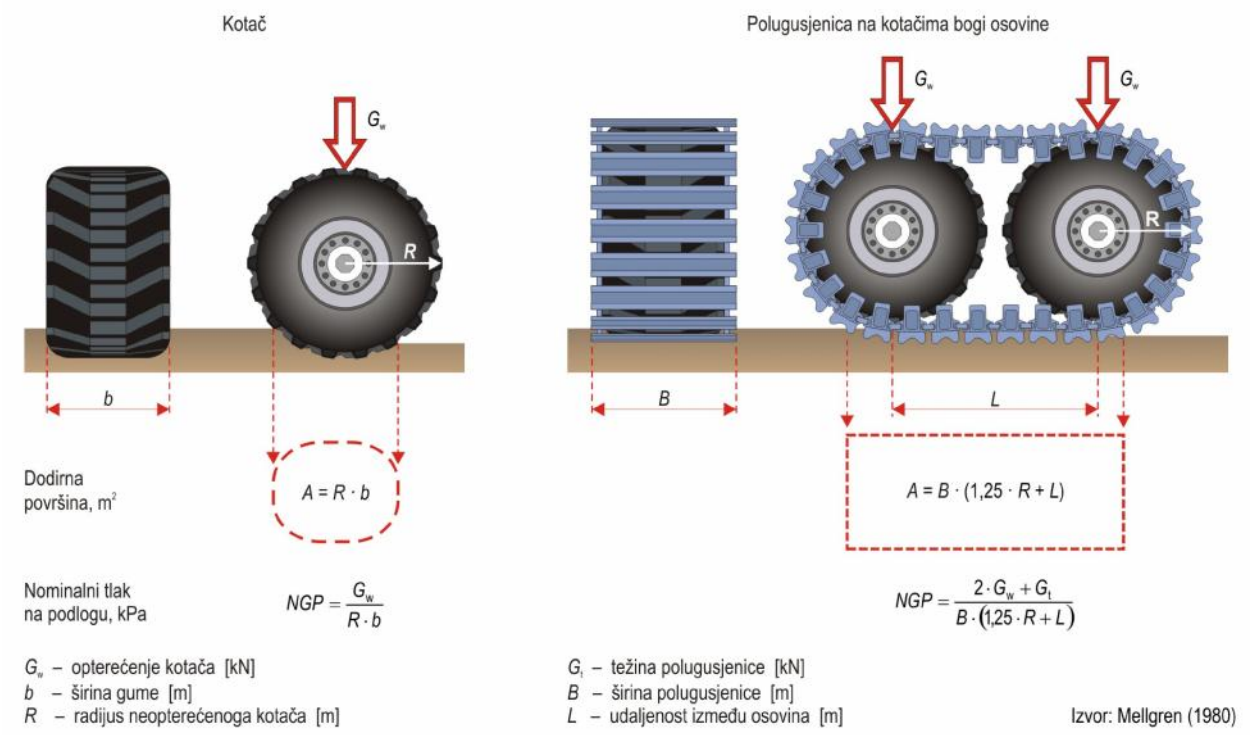
Slika 9. Model raspodjele osovinskih opterećenja natovarenoga forvardera

2.3 Nominalni tlak na podlogu

Dodirni tlak vozila predstavlja omjer težine i površine oslonca vozila s podlogom (tlom), a iskazuje okolišnu pogodnost određenoga šumskoga vozila (Poršinsky i dr. 2011). Isti autori navode da problem pri izračunu dodirnih tlakova vozila za kretanje po šumskome bespuću je ovisnost dodirne površine gume kotača i tla o: 1) elastičnim deformacijama opterećenoga kotača (značajke gume, tlak punjenja zrakom) i 2) plastično-elastičnim deformacijama tla (granulometrijski sastav, vlaga).

U želji za standardiziranjem načina izračuna dodirnih tlakova šumskih vozila, radi međusobne usporedivosti u prvom redu vozila (ili različite opremljenosti pojedinoga vozila) koja se rabe za privlačenje drva po šumskom bespuću, Mellgren (1980) uvodi nominalni tlak na podlogu (slika 10). Nominalni je tlak na podlogu statički tlak (vozilo u mirovanju), a teoretski se zasniva na slučaju krutoga kotača na plastično-elastičnoj podlozi koja dodirnu površinu kotača s tlom izračunava kao umnožak polumjera kotača i širine gume. Važna je pretpostavka pri poistovjećivanju duljine dodira kotača i plastične podloge s polumjerom kotača propadanje 15 % promjera kotača u tlo (kolotrag), čime je osiguran potpuni dodir gume kotača i tla. U slučaju manjega propadanja kotača u tlo

(ovisno o uvjetima nosivosti) površina se dodira smanjuje te raste dodirni tlak vozila koji je veći u odnosu na nominalni tlak na podlogu.



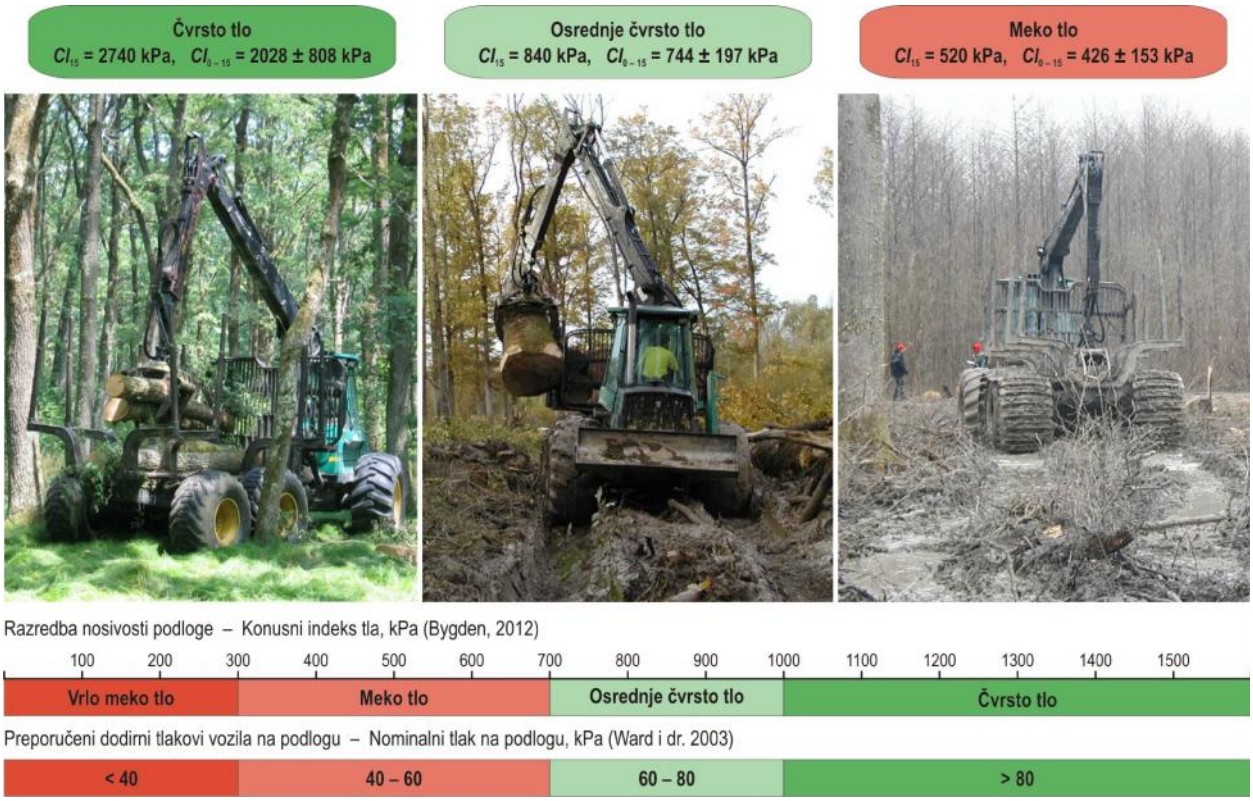
Slika 10. Nominalni tlak na podlogu za kotač i polugusjenice (Poršinsky 2018)

U stvarnosti je nominalni tlak na podlogu najmanji tlak koje vozilo može ostvariti u uvjetima smanjene nosivosti tla te se ne može rabiti za usporedbu pogodnosti dvaju različitih kotača u različitim uvjetima stanja tla. Pojednostavljenje računanja dodirne površine, tj. aproksimacija duljine dodira opterećenoga kotača uz dubinu kolotraga od 15 % promjera kotača, teorijski ograničava široku uporabu ovoga modela. Osnovna je zamjerka aproksimaciji duljine dodira kotača s tlom, s polumjerom kotača održivost samo u slučaju kada je kut između početka i kraja dodira kotača s podlogom 1 rad (≈ 57,3°), što znači da je model geometrijski održiv samo u određenim slučajevima (Poršinsky i Horvat 2005).

Prednost je nominalnoga tlaka na podlogu njegova jednostavnost izračuna, a nedostaci su zanemarivanje utjecaja progiba gume opterećenoga kotača pri kretanju, tlaka punjenja guma, neovisnost o značajkama tla te precjenjivanje utjecaja uporabe širih guma.

Nominalni tlak vozila na podlogu zasniva se na međudjelovanju opterećenja kotača vozila i njegove dodirne površine, čime je metodološki primjenjivost ograničena samo na slučaj jednakih dimenzija guma kotača i jednake raspodjele opterećenja po kotačima vozila.

Za slučaj različitih dimenzija prednjih i stražnjih kotača, odnosno nejednake raspodjele opterećenja između prednje i stražnje osovine vozila, koristi se tzv. »referentni kotač« (kotač s najvećim dodirnim tlakom) ili se iskazuje posebno dodirni tlak na podlogu ovisno o kotačima prednje, odnosno stražnje osovine vozila (Poršinsky i Horvat 2005).



Slika 11. Razredba nosivosti tla i dopuštenih dodirnih tlakova (Poršinsky 2018)

Važnost nominalnoga tlaka na podlogu raste i njegovim uključivanjem u zadnju razredbu terena za izvođenje šumskih radova, napravljenu u sklopu projekta EcoWood, koja posebnu pažnju poklanja okolišno djelotvornom pridobivanju drva na osjetljivim tlima. U navedenoj razredbi terena, preporučene su vrijednosti nominalnih tlakova na podlogu ovisno o razredima nosivosti šumskog tla (slika 11).

3. Rezultati

U skladu sa zacrtanim ciljevima, rezultati ocjene dobrote tvorničkog opremanja forvardera HSM 208F s pneumaticima 710/45-26.5 i 54x37-25, te pneumaticima 710/45-26.5 uz dodatno opremanje polugusjenicom, prikazani su kroz slijedeća potpoglavlja: 1) Analiza raspodjele opterećenja osovina forvardera, 2) Analiza raspodjele nominalnog tlaka na podlogu te 3) Analiza dubine kolotraga.

3.1 Analiza raspodjele opterećenja osovina forvardera

Za modeliranje raspodjele osovinskih opterećenja forvardera HSM 208F (8 × 8), korištena je duljina utovarene oblovine od 4 m, iz razloga što predstavlja prosječnu duljinu sortimentnom metodom izrađene oblovine u području hrvatskih nizinskih šuma (Poršinsky i dr. 2011).

Neovisno o opremljenosti voznog sustava (gume 710/45-26.5, gume 710/45-26.5 s polugusjenicom, gume 54x37-25) forvardera HSM 208F (tablica 1, slika 12), porastom mase utovarene oblovine raste ukupna masa forvardera, pri čemu je znakovit porast opterećenja na stražnjoj, odnosno beznačajan porast opterećenja na prednjoj osovini, i to kod opremljenosti pneumaticima:

⇒ 710/45-26.5 Trelleborg 422, ovisno o masi (0 – 11 t) utovarene oblovine, raste opterećenje stražnje osovine vozila od 8,296 t do 18,545 t, odnosno od 12,444 t do 13,195 t opterećenje prednje osovine,

⇒ 710/45-26.5 Trelleborg 422 s polugusjenicama Olofsfors Eco-Trac, ovisno o masi (0 – 11 t) utovarene oblovine, raste opterećenje stražnje osovine vozila od 9,576 t do 19,825 t, odnosno od 14,364 t do 15,115 t opterećenje prednje osovine,

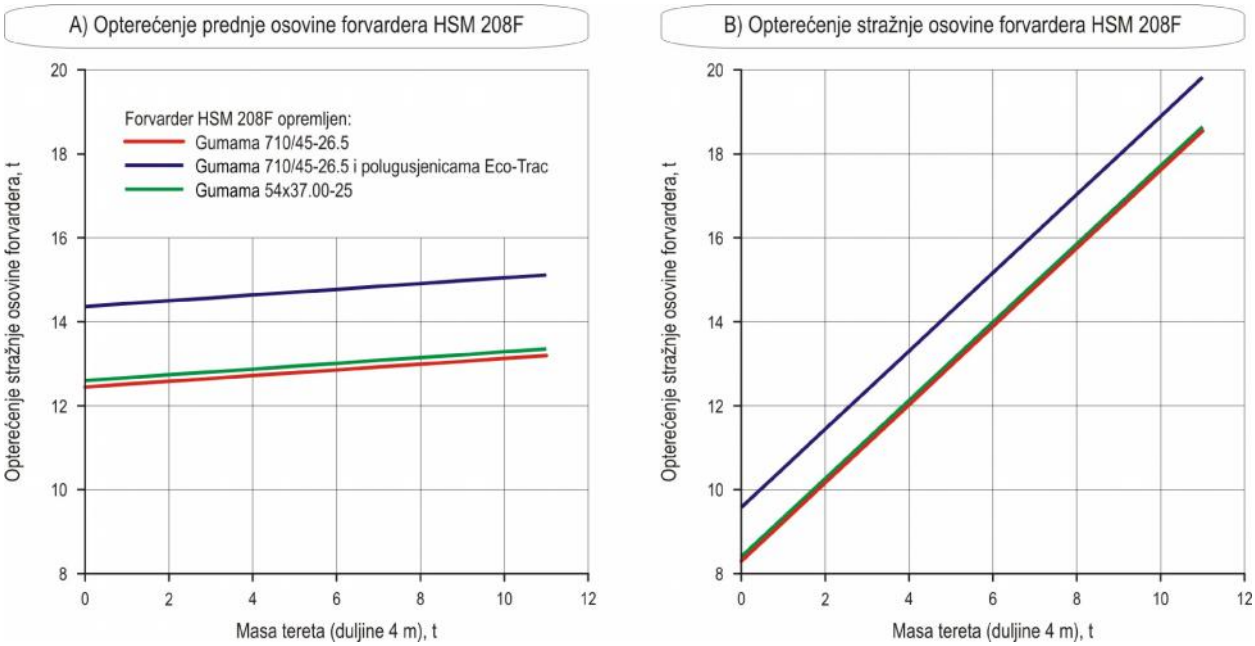
⇒ 54x37-25 Firestone, ovisno o masi (0 – 11 t) utovarene oblovine, raste opterećenje stražnje osovine vozila od 8,400 t do 18,649 t, odnosno od 12,6 t do 13,351 t opterećenje prednje osovine.

Tablica 1. Raspodjela opterećenja po osovinama ovisno o masi utovarenoga drva

Masa	Opterećenje prednje osovine forvardera HSM 208F					
tereta	Gume 710/45-26.5		Gume 710/45-26.5 s polugusjenicom		Gume 54x37.00-25	
t	t	kN	t	kN	t	kN
0	12,444	122,076	14,364	140,911	12,600	123,606
1	12,512	122,746	14,432	141,581	12,668	124,276
2	12,581	123,416	14,501	142,251	12,737	124,946
3	12,649	124,086	14,569	142,921	12,805	125,616
4	12,717	124,756	14,637	143,591	12,873	126,286
5	12,786	125,426	14,706	144,261	12,942	126,956
6	12,854	126,096	14,774	144,931	13,010	127,626
7	12,922	126,766	14,842	145,601	13,078	128,296
8	12,990	127,436	14,910	146,271	13,146	128,966
9	13,059	128,106	14,979	146,941	13,215	129,636
10	13,127	128,776	15,047	147,611	13,283	130,307
11	13,195	129,446	15,115	148,281	13,351	130,977
Masa	Opterećenje stražnje osovine forvardera HSM 208F					
tereta	Gume 710/45-26.5		Gume 710/45-26.5 s polugusjenicom		Gume 54x37.00-25	
t	t	kN	t	kN	t	kN
0	8,296	81,384	9,576	93,941	8,400	82,404
1	9,228	90,524	10,508	103,081	9,332	91,544
2	10,159	99,664	11,439	112,220	10,263	100,684
3	11,091	108,804	12,371	121,360	11,195	109,824
4	12,023	117,944	13,303	130,500	12,127	118,964
5	12,954	127,083	14,234	139,640	13,058	128,104
6	13,886	136,223	15,166	148,780	13,990	137,244
7	14,818	145,363	16,098	157,920	14,922	146,384
8	15,750	154,503	17,030	167,060	15,854	155,524
9	16,681	163,643	17,961	176,200	16,785	164,664
10	17,613	172,783	18,893	185,340	17,717	173,803
11	18,545	181,923	19,825	194,480	18,649	182,943

Polučeni rezultati posljedica su različitih masa neopterećenoga forvardera HSM 208F (slika 7B) na horizontalnoj podlozi (20.740 kg sa gumama 710/45-26.5 Trelleborg 422, 21.000 kg sa gumama 54x37-25 Firestone te 23.940 kg sa gumama 710/45-26.5 Trelleborg 422 te polugusjenicama Olofsfors Eco-Trac na kotačima prednje i stražnje

osovine vozila), ali i raspodjele opterećenja po osovinama (60 % otpada na prednju, a 40 % na stražnju osovinu).

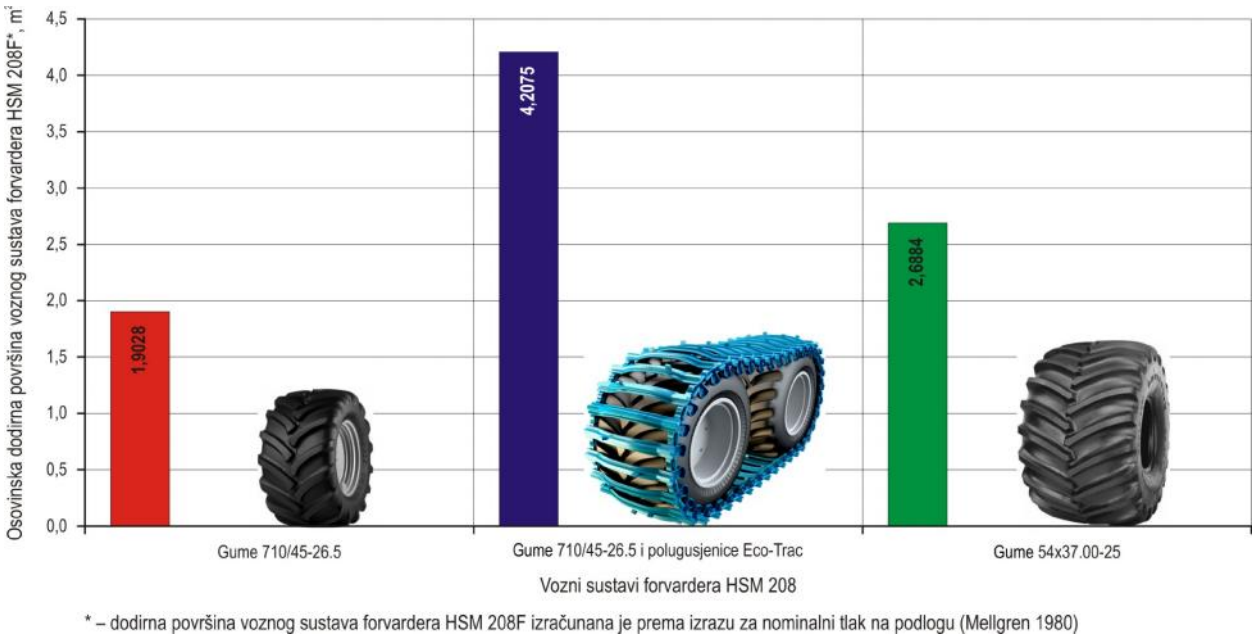


Slika 12. Raspodjela opterećenja osovina forvardera HSM 208F ovisno o masi tereta

Provedena analiza osovinskih opterećenja ukazala je i da neovisno o količini utovarenoga drva u forvarder HSM 208F, ne dolazi do prekoračenja dopuštenoga opterećenja pneumatika: 710/45-26.5 Trelleborg 422 (5600 kg), odnosno 54x37-25 Firestone (4875 kg).

3.2 Analiza raspodjele nominalnog tlaka na podlogu

Za izračun procjene dodirne površine pneumatika te polugusjenica na kotačima u »tandem« rasporedu korišten je izraz za nominalni tlak na podlogu (Mellgren 1980).



Slika 13. Analiza dodirnih površina s tlom odabranih voznih sustava

Analiza dodirne površine forvardera HSM 208F s tlom provedena je s obzirom na opremanje vozila: 1) standarnim – užim (710/45-26.5 Trelleborg 422) i opcijskim – širim (54x37-25 Firestone) pneumaticima sukladno preporuci proizvođača forvardera te 2) dodatnim opremanjem standardnih guma kotača udvojenih osovina forvardera polugusjenicama Olofsfors Eco-Trac.

Analiza dodirnih površina po osovinama osmokotačnog forvardera HSM 208F (slika 13) s tlom ukazala je da opremanjem:

⇒ prednjih i stražnjih kotača udvojenih osovina gumama širine 94 cm (54x37-25), raste dodirna površina s tlom za 41,3 % u odnosu na standardne – uže gume (710/45-26.5),

⇒ prednjih i stražnjih kotača sa standardnim gumama (710/45-26.5) i polugusjenicama Olofsfors Eco-Trac, raste dodirna površina s tlom za 121,1 % u odnosu kad kotači nisu dodatno opremljeni,

⇒ prednjih i stražnjih kotača sa standardnim gumama (710/45-26.5) i polugusjenicma Olofsfors Eco-Trac, raste dodirna površina s tlom za 56,5 % u odnosu kad su kotači opremljeni širim gumama (54x37-25).

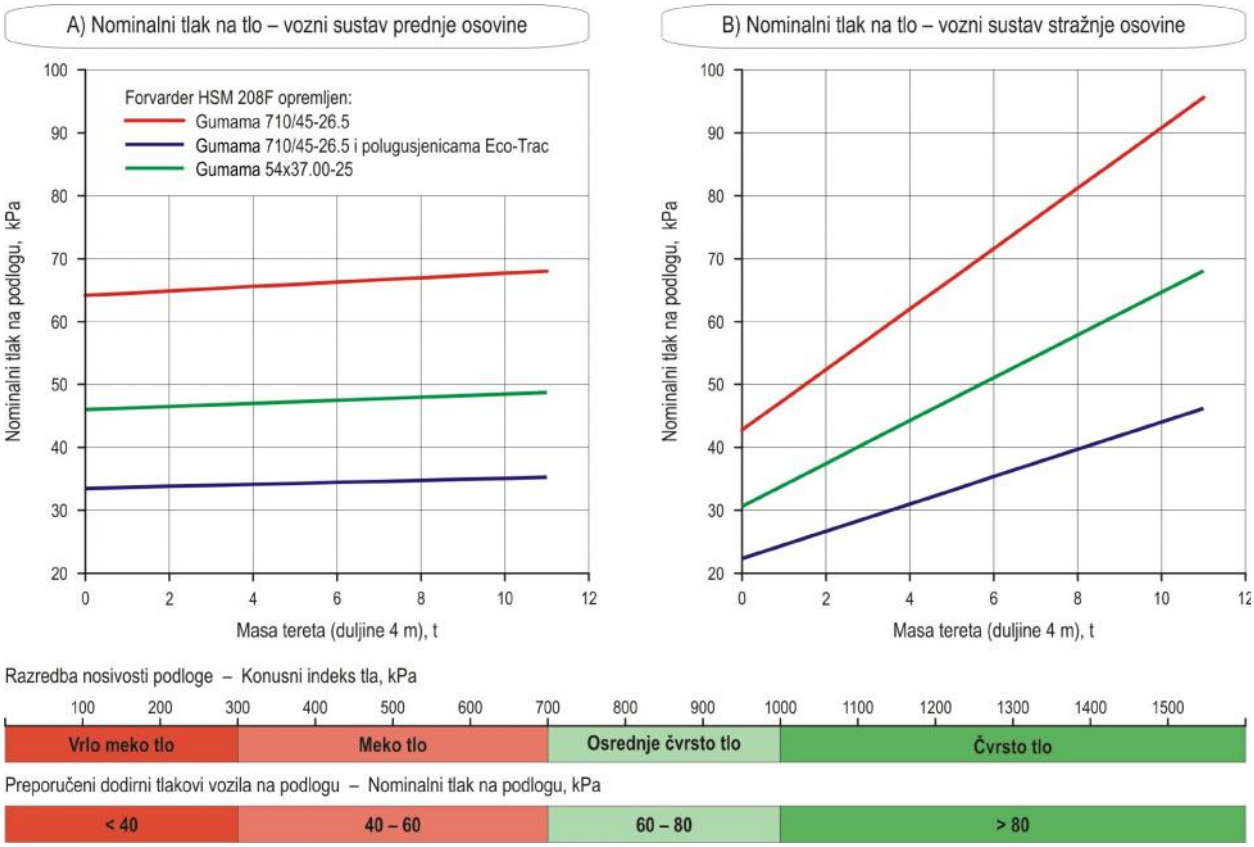
Polučene rezultate raspodjele nominalnog tlaka na podlogu istraživanih forvadera (tablica 2, slika 14) u ovisnosti o količini (masi) utovarenoga drva, kao mjeru okolišne pogodnosti izvoženja drva, svakako treba poimati s obzirom na: 1) uvjete nosivosti podloge (vrlo meko, meko, osrednje čvrsto i čvrsto tlo), 2) konfiguraciju (osam kotača) i klasu (srednje teški) forvardera, 3) opremljenost forvardera pneumaticima (uže ili šire gume) te 4) dodatno opremanje kotača udvojenih osovina polugusjenicama.

Tablica 2. Raspodjela nominalnog tlaka na podlogu ovisno o masi utovarenoga drva

Masa tereta	Nominalni tlak na podlogu – prednja osovina forvardera			Nominalni tlak na podlogu – stražnja osovina forvardera		
	Gume 710/45-26.5	Gume 710/45-26.5 s polugusjenicom	Gume 54x37.00-25	Gume 710/45-26.5	Gume 710/45-26.5 s polugusjenicom	Gume 54x37.00-25
t	kPa					
0	64	33	46	43	22	31
1	65	34	46	48	24	34
2	65	34	46	52	27	37
3	65	34	47	57	29	41
4	66	34	47	62	31	44
5	66	34	47	67	33	48
7	66	34	47	72	35	51
8	67	35	48	76	38	54
9	67	35	48	81	40	58
10	67	35	48	86	42	61
11	68	35	48	91	44	65

Nominalni tlak na podlogu forvardera HSM 208F opremljenog standardnim – užim (710/45-26.5 Trelleborg 422), ovisno o masi (0 – 11 t) utovarene oblovine, raste od 64

do 68 kPa ispod kotača prednje osovine (pogodnost rada na osrednje čvrstom i čvrstom tlu), te od 43 do 91 kPa ispod kotača stražnje osovine (nominalno natovareni forvarder s teretom od 11 tona okolišno je pogodan izvoziti drvo samo u uvjetima čvrstog tla).



Slika 14. Raspodjela nominalnog tlaka na podlogu forvardera HSM 208F

Nominalni tlak na podlogu forvardera HSM 208F opremljenog standardnim – užim (710/45-26.5 Trelleborg 422) i polugusjenicama Olofsfors Eco-Trac, ovisno o masi (0 – 11 t) utovarene oblovine, raste od 33 do 35 kPa ispod polugusjenica prednje osovine te od 22 do 44 kPa ispod polugusjenica stražnje osovine. Ovakvim izborom voznog sustava forvardera HSM 208F, analiza raspodjele nominalnog tlaka na podlogu ukazala je na njegovu okolišnu pogodnost za rad na mekom tlu neovisno o količini utovarenoga drva.

Nominalni tlak na podlogu forvardera HSM 208F opremljenog opcijskim gumama širine 94 cm (54x37-25 Firestone), ovisno o masi (0 – 11 t) utovarene oblovine, raste od 46 do 48 kPa ispod kotača prednje osovine (pogodnost rada na mekom tlu), te od 31 do 65 kPa ispod kotača stražnje osovine (nominalno natovareni forvarder s teretom od 11 tona okolišno je pogodan izvoziti drvo samo u uvjetima osrednje čvrstog tla).

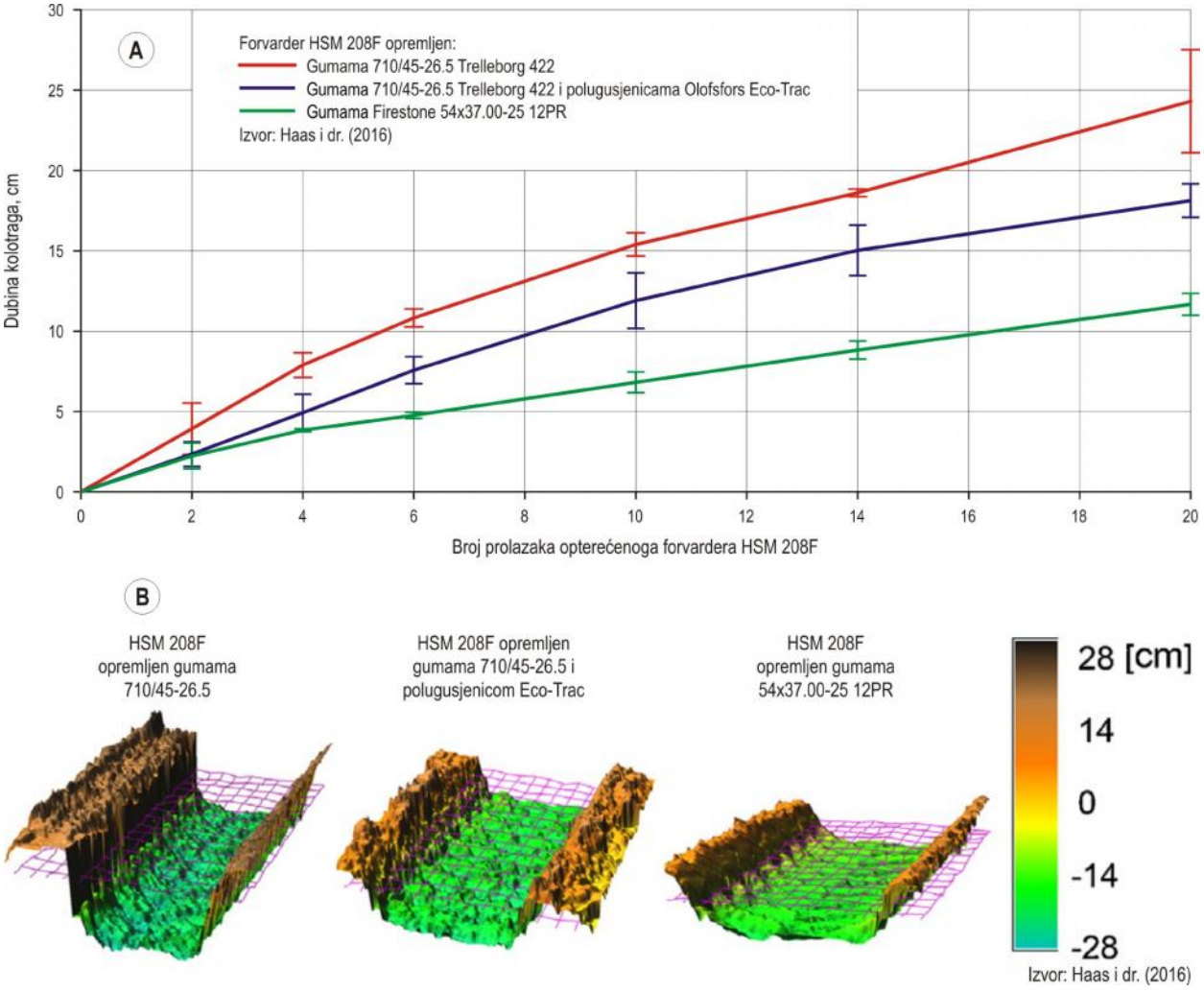
Temeljem provedene analize nominalnog tlaka na podlogu, najbolju ocjenu okolišne pogodnosti dobio je vozni sustav forvardera HSM 208F s gumama 710/45-26.5 Trelleborg 422 koje su dodatno opremljene polugusjenicama Olofsfors Eco-Trac, a zatim redom slijede vozni sustav sa širim gumama 54x37-25 Firestone te vozni sustav s užim gumama 710/45-26.5 Trelleborg 422.

3.3 Analiza dubine kolotraga (Haas i dr. 2016)

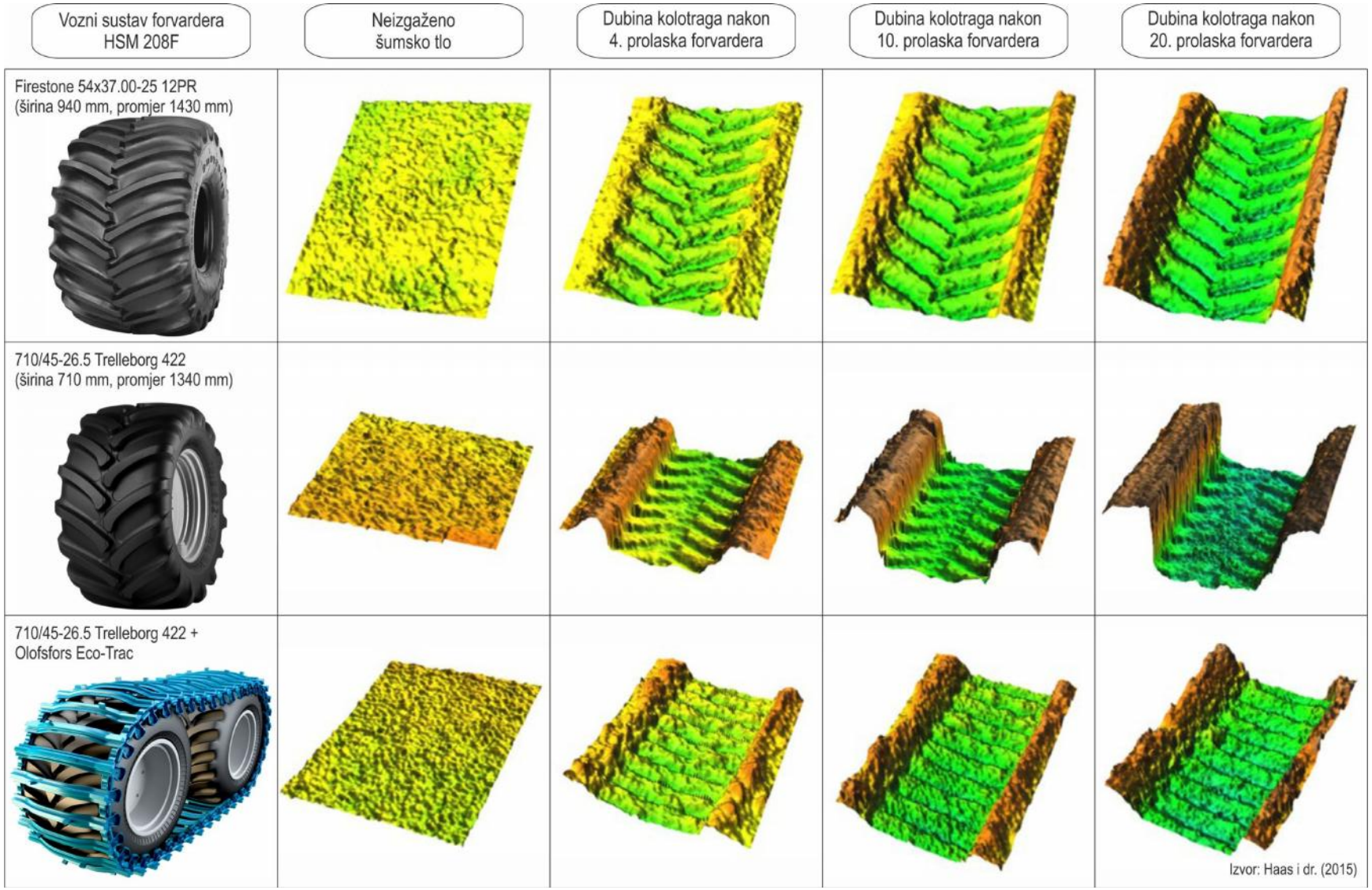
Analiza dubine kolotraga uslijed višekratnog prolaska forvardera HSM 208F po traktorskim vlakama preuzeta je iz prethodnih objava (Haas i dr. 2015A, Haas i dr. 2015B, Haas i dr. 2016). Navedeni autori, u cilju očuvanja prometnosti traktorskih vlaka pri izvoženju drva forvarderom HSM 208F proveli su istraživanje dubine kolotraga fotogrametrijskom metodom za tri razine opremljenosti voznog sustava forvardera: 1) gumama 710/45-26.5 Trelleborg 422, 2) gumama 710/45-26.5 Trelleborg 422 dodatno opremljenim polugusjenicama Olofsfors Eco-Trac te 3) gumama 54x37-25 Firestone.

Istraživanje je provedeno na dvije traktorske vlake uzdužnoga nagiba 2 – 3° u južnoj Njemačkoj (Ravensburg – Baden-Württemberg) na nadmorskoj visini od 520 m. Trenutna vlaga tla (stagnički luvisol koji se je razvio na morenskim nanosima) traktorskih vlaka tijekom istraživanja iznosila je od 48 do 54 vol. %, a po teksturnom sastavu pripada glinovitoj ilovači, odnosno pjeskovito glinovitoj ilovači. Tijekom istraživanja forvarder HSM 208F bio je natovaren sa 9 tona smrekove oblovine.

Rezultati prosječne dubine kolotraga uslijed višekratnog prolaska forvardera HSM 208F po traktorskim vlakama prikazana je na slici 15 te vizualizirana na slici 16.



Slika 15. Analiza dubine kolotraga istraživanih voznih sustava forvardera HSM 208F



Slika 16. Vizualizacija dubine kolotraga višekratnim prolaskom forvardera HSM 208F

Opremanjem forvardera standardnim gumama 710/45-26.5 Trelleborg 422, prosječna dubina kolotraga kreće se u rasponu od 3,9 cm (nakon drugog prolaska vozila) do 24,3 cm (nakon dvadesetog prolaska). Dodatnim opremanjem standardnih guma polugusjenicama Olofsfors Eco-Trac, prosječna dubina kolotraga poprima niže vrijednosti te se u rasponu od 2,3 cm (nakon drugog prolaska vozila) do 18,1 cm (nakon dvadesetog prolaska). Najmanja prosječna dubina kolotraga polučena je opremanjem forvardera HSM 208F gumama širine 94 cm (54x37-25 Firestone), koja je iznosila od 2,2 cm (nakon drugog prolaska vozila) do 11,7 cm (nakon dvadesetog prolaska).

Temeljem provedene analize dubine kolotraga ovisno o višekratnome prolasku opterećenoga forvardera HSM 208F, najbolju ocjenu okolišne pogodnosti dobio je vozni sustav sa širim gumama 54x37-25 Firestone, a zatim redom slijede vozni sustav s gumama 710/45-26.5 Trelleborg 422 koje su dodatno opremljene polugusjenicama Olofsfors Eco-Trac, te vozni sustav sa užim gumama (710/45-26.5 Trelleborg 422) bez polugusjenica.

4. Zaključak

Ocjena okolišne pogodnosti opremanja forvardera različitim voznim sustavima provedena je u skladu s postavljenim ciljevima navedenima u poglavlju 1., primjenom metoda istraživanja koje su opisane u potpoglavljima 2.2 i 2.3.

Provedeno je na primjeru osmokotačnog forvardera HSM 208F, čije su značajke prikazane u potpoglavlju 2.1. Na temelju polučenih spoznaja (poglavlje 3) donose se sljedeći zaključci:

⇒ Temeljem provedene analize nominalnog tlaka na podlogu, najbolju ocjenu okolišne pogodnosti dobio je vozni sustav forvardera HSM 208F s gumama 710/45-26.5 Trelleborg 422 koje su dodatno opremljene polugusjenicama Olofsfors Eco-Trac, a zatim redom slijede vozni sustav sa širim gumama 54x37-25 Firestone te vozni sustav s užim gumama 710/45-26.5 Trelleborg 422.

⇒ S strane, analiza dubine kolotraga ovisno o višekratnome prolasku opterećenoga forvardera HSM 208F (Haas i dr. 2016), najbolju ocjenu okolišne pogodnosti dobio je vozni sustav sa širim gumama 54x37-25 Firestone, a zatim redom slijede vozni sustav s gumama 710/45-26.5 Trelleborg 422 koje su dodatno opremljene polugusjenicama Olofsfors Eco-Trac, te vozni sustav sa užim gumama (710/45-26.5 Trelleborg 422) bez polugusjenica.

⇒ Raskorak između ova dva pokazatelja ocjenjivanja okolišne pogodnosti svakako je precjenjivanje dodirne površine voznog sustava forvardera opremljenog polugusjenicom i tla u izrazu za nominalni tlak na podlogu (Melgren 1980), iz razloga što ne uzima u obzir širinu elementa polugusjenice, kao ni korak zgloba polugusjenice.

5. Literatura

Đuka, A., 2014: Razvoj modela prometnosti terena za planiranje privlačenja drva skiderom. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–303.

Đuka, A., Poršinsky, T., 2015: Analiza kamenitosti i stjenovitosti terena za potrebe privlačenja drva. Nova meh. šumar. 36: 43–52.

Haas, J., Hagge Ellhöft, K., Schack-Kirchner, H., 2015: Rut formation induced by Forwarders – Comparison of three different tire options regarding trafficability preservation of skid trails in highly mechanized timber harvesting. Experiment Final Report, Albert-Ludwigs-University Freiburg, 1–18.

Haas, J., Schack-Kirchner, H., Lang, F., 2015: Fotogrammetrische Erfassung des Fahrspurreliefs als digitale Höhenmodelle: Erfahrungen aus einem Praxisversuch. FTI 67(1): 6–10.

Haas, J., Hagge Ellhöft, K., Schack-Kirchner, H., Lang, F., 2016: Using photogrammetry to assess rutting caused by a forwarder — A comparison of different tires and bogie tracks. Soil and Tillage Research 163: 14–20.

Ireland, D., 2006: Traction Aids in Forestry. Forestry Commission, Technical Note, 13: 1–8.

Mellgren, P. G., 1980: Terrain Classification for Canadian Forestry. Canadian Pulp and Paper Association, 1–13.

Olofsfors, 2016: Product catalog – Welcome to Our Teritory, Olofsfors, 1–43.

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.

Poršinsky, T., Horvat, D., 2005: Indeks kotača kao parametar procjene okolišne prihvatljivosti vozila za privlačenje drva. Nova meh. šumar.: 26: 25–38.

Poršinsky, T., Stankić, I., 2005: Prilog poznavanju iznošenja drva šumskim žičarama. Nova meh. šumar. 26: 39–54.

Poršinsky, T., 2008: Predavanja iz kolegija Pridobivanje drva I. Šumarski fakultet Zagreb (http://www.sumfak.unizg.hr)

Poršinsky, T., Stankić, I., Bosner, A., 2011: Ecoefficient Timber Forwarding Based on Nominal Ground Pressure Analysis. Croat. j. for. eng. 31(1): 345–356.

Poršinsky, T., Moro, M., Đuka, A., 2016: Maneuverability Characteristics of Cable Skidder. Šum. list 140(5–6): 259–272.

Poršinsky, T., 2018: Predavanja iz kolegija Okolišno prihvatljive tehnologije. Šumarski fakultet Zagreb (http://www.sumfak.unizg.hr)

Poršinsky, T., Matas, J., Horvat, D., Đuka, A., 2020: Pneumatici kotača šumskih vozila (Tyres of Forestry Vehicles). Šum. list 144 (9–10): u tisku.