

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: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
ŠUMARSKI FAKULTET
ŠUMARSKI ODSJEK

PREDIPLOMSKI STUDIJ
ŠUMARSTVO

MIRKO MIO

OCJENA OKOLIŠNE POGODNOSTI FORVARDERA
OPREMLJENOGA RAZLJITITIM 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 Mio
JMBAG:	0068225963
Akad. godina:	2019/2020
Mjesto, datum obrane:	Zagreb, 25. rujna 2020.
Sadržaj rada:	Slika: 16 Tablica: 2 Navoda literature: 16
Sažetak:	<p>Završni rad bavi se ocjenom opremljenosti forvardera pneumaticima (gumama) različite širine i polugusjenicama u cilju dosezanja okolišne pogodnosti iskazane dubinom kolotraga pri višekratnom kretanju optere enoga vozila.</p> <p>Zasnovan je na srednje teškom (nosivosti 11 tona) osmokota nom forvarderu HSM 208F, koji je vozni sustav opremljen u tri inaice: 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.</p> <p>Ocjena okolišne pogodnosti obuhvatila je: 1) raspodjelu optere enja po osovinama forvardera HSM 208F ovisno o količini utovarenog drva prema metodi – Poršinsky i Horvat (2005), 2) dodirnu površinu forvardera i tla te raspodjelu nominalnog tlaka na podlogu ovisno o količini utovarenog drva (Melgren 1980). Dobiveni rezultati uspore eni su sa rezultatima dubine kolotraga pri izvoženju drva prethodno objavljenog istraživanja (Haas i dr. 2016).</p> <p>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.</p> <p>S strane, analiza dubine kolotraga ovisno o višekratnome prolasku optere enoga 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.</p> <p>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).</p>

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 Mio

Sadržaj

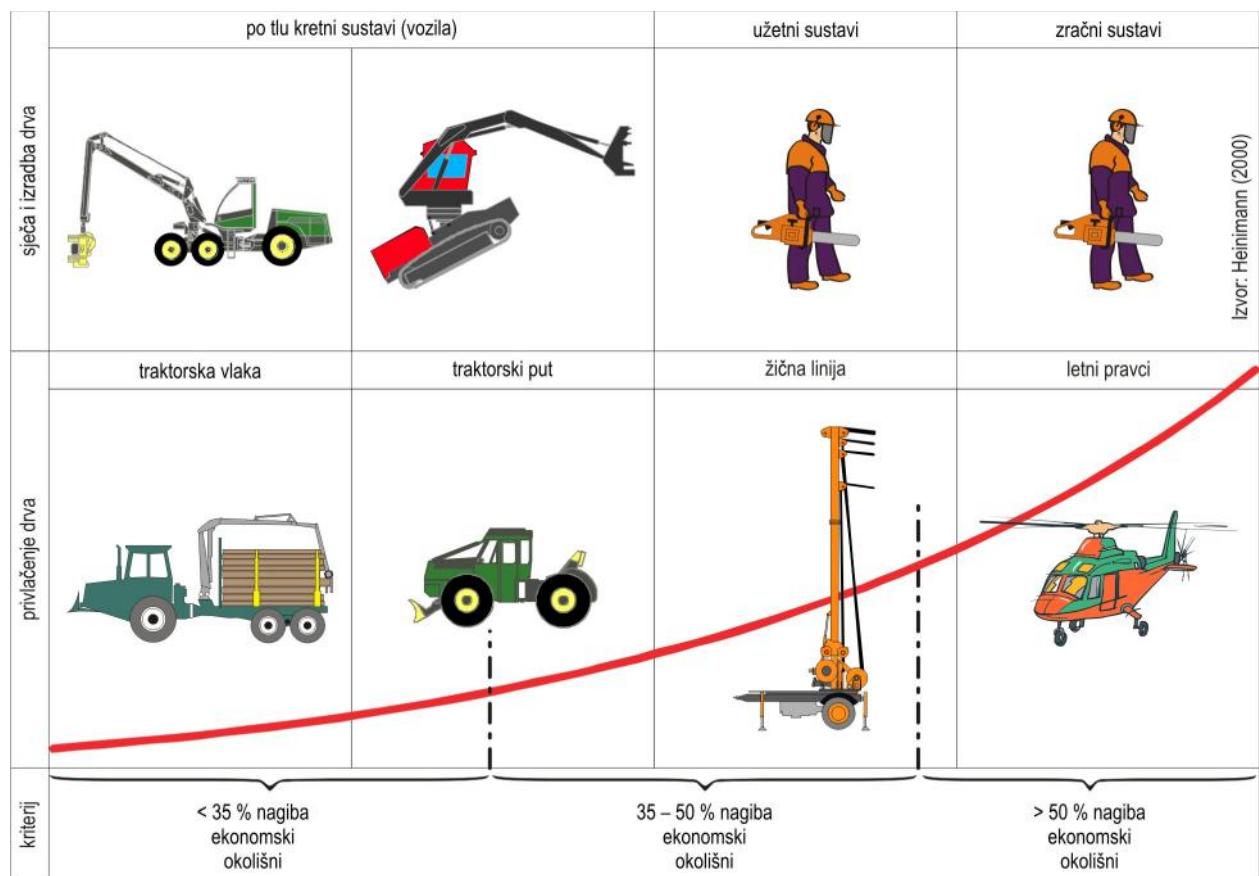
Podaci o završnom radu	II
Izjava o izvornosti rada	III
Sadržaj	IV
1. Uvod	1
1.1 Izvoženje drva forvarderom	3
1.2 Ošte enja tla pri izvoženju drva forvarderom	5
2. Materijal i metode	8
2.1 Forvarder HSM 208F	8
2.2 Raspodjela optere enja forvardera	9
2.3 Nominalni tlak na podlogu	10
3. Rezultati	12
3.1 Analiza raspodjele optere enja osovina forvardera	12
3.2 Analiza raspodjele nominalnog tlaka na podlogu	14
3.3 Analiza dubine kolotraga	17
4. Zaklju ak	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 predviđa da će se šumska vozila postavljati zahtjev za njihovom što većom kretnošću u odnosu na prometnost terena šumskoga bespuka.

Velik utjecaj na odabir sustava pridobivanja drva, tj. mehaniziranih sredstava rada, kao i njihovu djelotvornost (proizvodnost i jedinične troškove) imaju terenski imbenici. Sustav pridobivanja drva određuje se postupcima, metodom izradbe drva (sortimentna, poludebljava, deblovna, stablovna), te strojevima i alatima koji se koriste prilikom eksploatacije neke sječe ne jedinice. Izbor sredstva privlači enja drva (skider, forwarder, žičara) u svjetlu djelovanja terenskih imbenika (reljefnih podataka) te razine primarne i sekundarne otvorenosti šuma najbitnija je odrednica cijelog sustava pridobivanja drva (Poršinsky 2008).

Terenski imbenici izvođenja šumskih radova, određuju zemljopisnog položaja, koji uvjetuju stupanj težine, mogunosti odnosno ograničenja izvođenja mehaniziranih šumskih radova uopće, su: nagib terena, površinske prepreke te nosivost same podloge (uključujući i Poršinsky 2015).

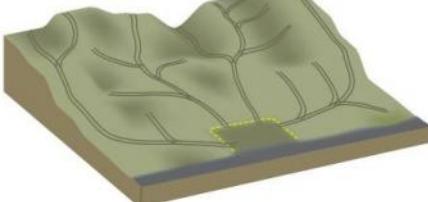
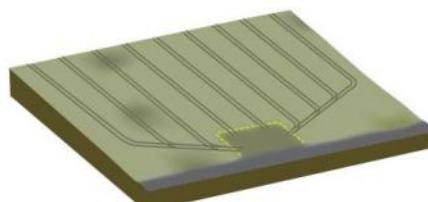
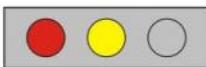


Slika 1. Područje rada pojedinih sustava pridobivanja drva (Poršinsky 2008)

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

kretanju jer se svi kota i vozila sukobljavaju s jednakim makrotopografskim vrijednostima, priemu se privla enje drva vozilima izvodi $<35\%$ nagiba terena. Za podru je kretnosti kota nih šumskego vozila, bez obzira na njihovu namjenu, uka (2014) navodi nagib terena $<30\%$ (bez obzira na smjer kretanja), te da je navedeno ograni enje prosje na vrijednost koja ovisi o površinskim preprekama, te uvjetima nosivosti podloge. Iznošenje je drva ži arama ponajprije vezano uz nepristupa na brdsko-planinska podru ja, gdje je zbog velikih visinskih razlika na kratkim horizontalnim udaljenostima troškovno i okolišno neprihvatljiva gradnja šumske prometnice (Poršinsky i Stanki 2005). Kod nagiba od 35 do 50 % za iznošenje drva preporu a se korištenje ži araa, a $>50\%$ helikoptere. Pri iznošenju drva oblovina je odignuta od tla, što manje ošte uje tlo i pomladak te je kao takav postupak okolišno prihvatljiv.

Sastojinski imbenici, zajedno sa smjernicama gospodarenja, isto tako, zna ajno utje u na izbor sredstva mehaniziranoga privla enja drva, kao i na njihovu djelotvornost, koji su u literaturi poznati kao zakonitosti mehaniziranja šumskega radova (zakonitosti: obujma komada, zakonitost vrste proizvoda, zakonitost proizvodnje).

	Skider s vitlom	Forvarder
Izvor: Poršinsky (2008)		
Metoda izradbe drva	poludeblowna metoda	sortimentna metoda
Prihvat drva	vučnim užetom vitla »drvo ide k vozilu«	hidrauličnom dizalicom »vozilo ide ka drvu u dohvatu dizalice«
Mjesto izradbe (dorade) drva	pomočno stovarište	kraj panja
Podruje primjene	šume nagnutih terena	nizinske šume
Oblik mreže sekundarnih šumske prometnica	Raspored »riblja kost« 	Paralelan (usporedan) raspored 
Okolišna pogodnost		

Slika 2. Osnovne zna ajke prevladavaju ih na ina privla enje drva u RH

Razli itosti sastojinskih i terenskih uvjeta hrvatskoga šumarstva utjecale su na primjenu dviju bitno razli itih metoda izradbe drva, ali i vrste vozila (slika 2) za privla enje drva (Poršinsky 2005, uka 2014):

- ⇒ podru je nizinskih šuma (ravni arski tereni) – sortimentna metoda izradbe drva, drvo se izvozi, u sje inama glavnoga prihoda (oplodne sje e) koriste se forvaderi, dok se u sje inama prethodnoga prihoda (prorede) koriste traktorski skupovi (ekipaže),
- ⇒ podru je brežuljkastih, brdskih i gorskih šuma (tereni s manjim ili ve im nagibom terena) – (polu)deblovna metoda izradbe drva, drvo se dijelom vu e po tlu te privla i s jednim odignutim krajem, u sje inama glavnoga prihoda koriste se zglobni traktori s vtlom, a u sje inama prethodnoga prihoda koriste se ista vozila manje mase.

Posebnosti privla enja drva skiderom i forvaderom, s obzirom na: 1) metodu izradbe drva, 2) na in prihvata drva, 3) mjesto izradbe (dorade) drva, 4) podru je primjene – nagnutost terena, 5) pogodnost oblika mreže sekundarnih šumskih prometnica te 6) okolišnu pogodnost, prikazuje slika 2.

Iz svega navedenoga, može se zaklju iti da na djelotvornost privla enja drva, neovisno o primjenjenoj vrsti i sredstvu rada, utje e: udaljenost privla enja, zakoni mehaniziranja šumskih radova, terenski imbenici te mogu nosti samog sredstva rada. Proizvodnost i jedini ni troškovi, kao i posljedi nost privla enja drva (gaženje i sabijanje tla), uporabljenoga sredstva privla enja drva, isto tako, ovise: o terenskim i sastojinskim imbenicima, kao i o uvjetima otvorenosti šuma.

Cilj je ovoga rada, na primjeru osmokota noge forvardera HSM 208F, ocjeniti opremljenosti forvardera pneumaticima (gumama) razli ite širine i polugusjenicama u cilju dosezanja okolišne pogodnosti iskazane dubinom kolotraga pri višekratnom kretanju optere enoga vozila.

1.1 Izvoženje drva forvaderom

Izvoženje drva forvaderom predstavlja poseban oblik privla enja drva. Pri izvoženju drva teret je potpuno izdignut od tla te se pri kretanju svladavaju samo otpori kotrljanja (Poršinsky 2005). Izvoženje drva modernim mehani kim sredstvima naslanja se na dugu, tradicijsku uporabu životinjsko-kolske zaprege.

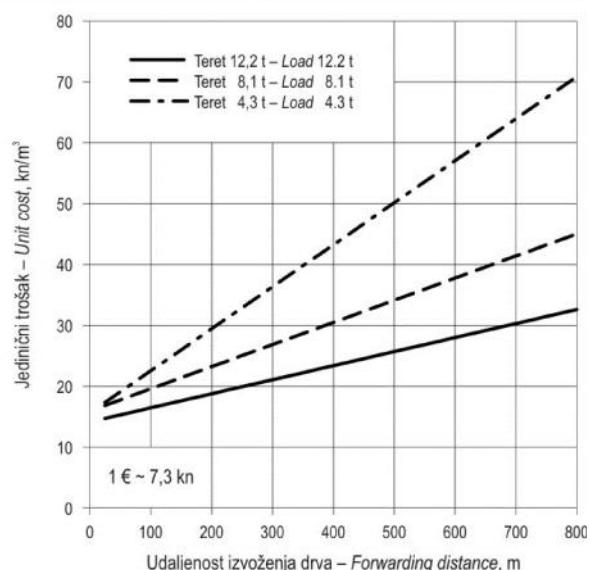
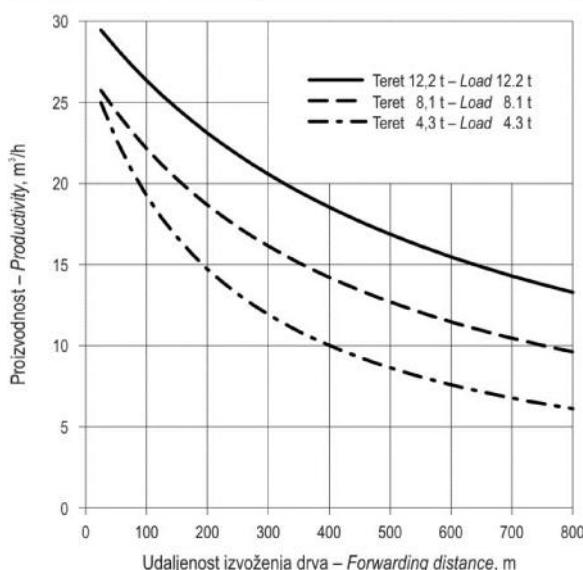
Primjena forvardera uvjetuje odgovaraju e tehnologije izradbe šumskih sortimenata, odnosno sortimentnu metodu izradbe drva. Pri sortimentnoj metodi izradbe stabla se obaraju, krešu se grane i izra uju razli iti sortimenti prema važe im normama na mjestu sje e (kod panja). U današnje je doba sje a i izradba ru no-strojna (s primjenom motornih pila) ili potpuno mehanizirana. Drvo se, izra eno sortimentnom metodom po bespu u izvozi forvaderom ili traktorima s (polu)prikolicom tzv. traktorskim ekipažama, iako je mogu a primjena i ostalih sredstava privla enja drva po tlu i zraku.

Prednji, upravlja ko-pogonski dio vozila i pogonjena poluprikolica (nosa tereta) spojeni su zglobno (dva zgloba – uzdužni i popre ni), s mogu noš u gibanja u vodoravnoj i uspravnoj ravnini. Forvaderom se upravlja preko uzdužnog zgloba, promjenom kuta prednjeg i stražnjeg dijela vozila u vodoravnoj ravnini, što naj eš e omogu avaju dva

hidrauli ka cilindra. Ovakav na in upravljanja forvarderima omogu uje vanjske polumjere okretanja od 4 m do 9 m (prosje no 7,5 m), što poboljšava kretnost ovih vozila pri radu u šumi. Osim upravljanja forvarderom, zglobna veza omogu ava savladavanje terenskih prepreka gibljivoš u u uspravnoj ravnini (popre ni zglob), ime je omogu eno njihanje prednjeg i stražnjeg dijela vozila. Za vrijeme utovara drva dizalicom popre ni je zglob blokiran. Kod forvardera s više od 4 kota a upotrebljava se bogie most, kod kojega su po dva kota a smještena jedan blizu drugoga, u tzv. tandem rasporedu. Primjena bogie mosta pove ava bo nu stabilnost forvardera zbog smanjenog naginjanja utovarnog dijela vozila, jer kota i povezani bogie mostom dobro slijede površinske neravnine ublažuju i visinske razlike terena, ali i amortiziraju vozilo tijekom kretanja.

Za prijenos snage pogonskog motora forvardera na kota e naj eš e se koristi mehani ko – hidrodinami ka, hidrostatsko – mehani ka te hidrostatska transmisija.

	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	
Izvor – Source: Bosner i dr. (2008)				
Teret – Load	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)

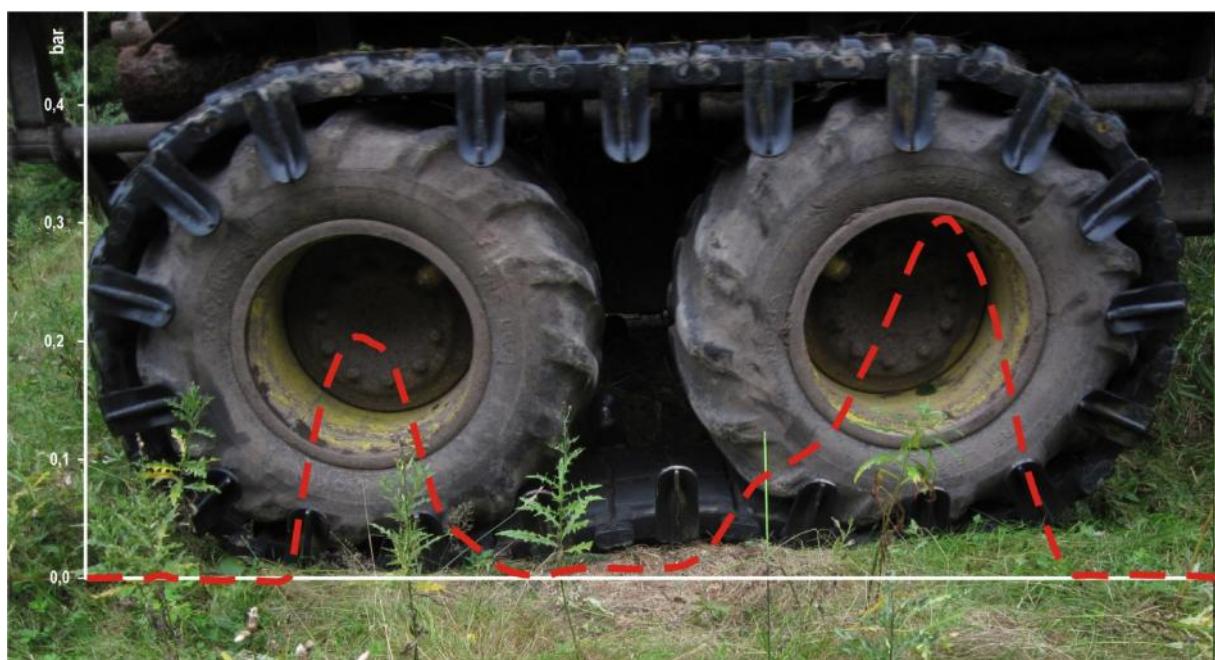
Proizvodnost forvardera ovisi o mnogim utjecajnim imbenika poput udaljenosti izvoženja drva, vrste drva i dimenzija izrađene oblovine, sjeća se gustoće, nagiba terena, površinskih prepreka, uvjeta nosivosti podloge, otvorenosti sjeća sekundarnom mrežom prometnica, moguće prethodne pripreme tovara, potrebe za razvrstavanjem sortimenata na pomoćno stvarištvo, vještina rukovatelja te same tehničko-tehnološke značajke vozila i dizalice (Poršinsky 2005).

Poršinsky i dr. (2011) istražuju utjecaj smanjenja obujma tereta uslijed ograničenje 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 m³), 2) 2/3 visine utovarnoga prostora (teret – 8,1 t, 8,2 m³) te 3) 1/3 visine utovarnoga prostora (teret – 4,1 t, 4,3 m³). 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 se ekonomskoga gledišta svakako nije prihvatljiva metoda osiguranja kretnosti forvardera u uvjetima ograničenje nosivosti podloge.

1.2 Oštete tla pri izvoženju drva forvarderom

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

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



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

Zbijanje tla, odnosno nastanak kolotraga kota a, posljedica je kretanja vozila po šumskom bespu u zbog kratkotrajnoga djelovanja dodirnih tlakova (slika 4) te (pro)klizavanja pogonskih kota a (i) vu enoga tereta. Zbijanjem se tla razbijaju strukturni agregati, smanjuje se me uagregatni prostor te koli ina pora i volumen tla (Poršinsky 2005). Isti autor, navodi da se zbog toga pogoršava topotni režim u tlu, mijenjaju se vodno-zra ni odnosi u tlu i donekle se smanjuju uvjeti za prehranu koji su potrebni za razvitak biljaka, odnosno smanjuje se mikrobiološka aktivnost zbog dovo enja tla u anaerobne uvjete. Zbijanjem se u prvom redu smanjuje koli ina nekapilarnih pora i propusnost tla za vodu, što na nagnutim izbratzanim površinama mrežom kolotraga vozila ubrzava površinsko otjecanje vode te u kona nici izaziva eroziju. Osjetljivost šumskoga tla na zbijanje odre uju ovi imbenici: veli ina dodirnih tlakova vozila, tekstura tla, vlagu tla tijekom privla enja drva, udjel skeletnih i pjescovitih estica u tlu, struktura tla, prirodna gusto a i poroznost tla te debljina humusno akumulativnog sloja (Poršinsky 2018).

Gume kota a predstavljaju jedini dodir šumskih vozila s podlogom preko kojih se prenose sile, odnosno optere enja na šumsko tlo, što postavlja zahtjeve pred šumarske stru njake s ciljem odabira guma pri opremanju vozila na osnovi njihovih dimenzijskih i konstrukcijskih zna ajki (Poršinsky i dr. 2020).

S obzirom da su šumska vozila od strane njihovih proizvo a a ve definirana svojim dimenzijskim i konstrukcijskim zna ajkama, njihova se kretnost (djelotvornost) može pove ati isklju ivo odabirom vrste pneumatika (u skladu s naputcima proizvo a a) s obzirom na namjenu koju obavljaju, odnosno terenske prilike u kojima se koriste.

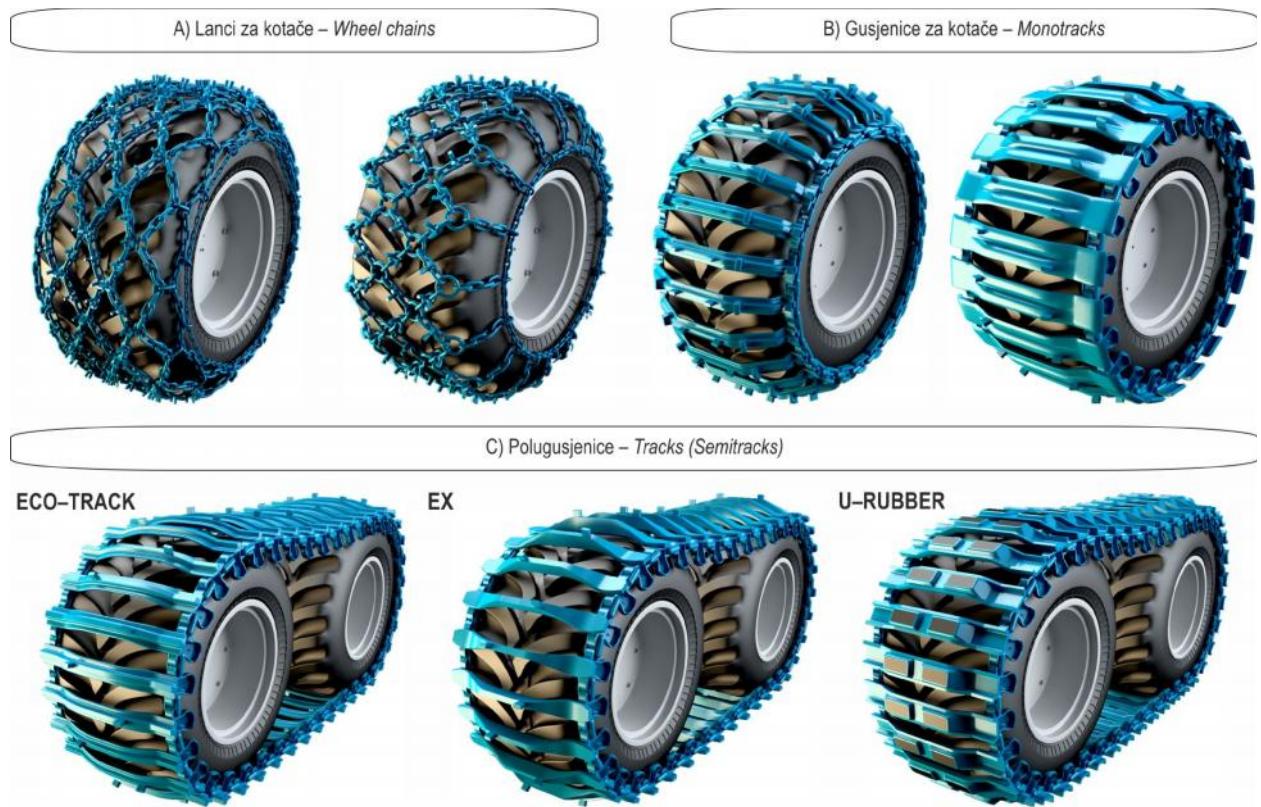


Izvor – Source: Sutherland (2003)

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

Od po etaka mehaniziranja šumskih radova do danas, pri opremanju šumskih vozila iskristalizirala su se dva tipa na 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 zna ajke gaznoga sloja pneumatika, presudne

su za vu ne zna ajke šumskih vozila pogotovo pri radu na šumskim tlima pove ane vlažnosti te ograničene nosivosti kada dolazi do pojave klizanja kotača.



Izvor – Source: Olofsfors (2016)

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 oštete ihanja, 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.

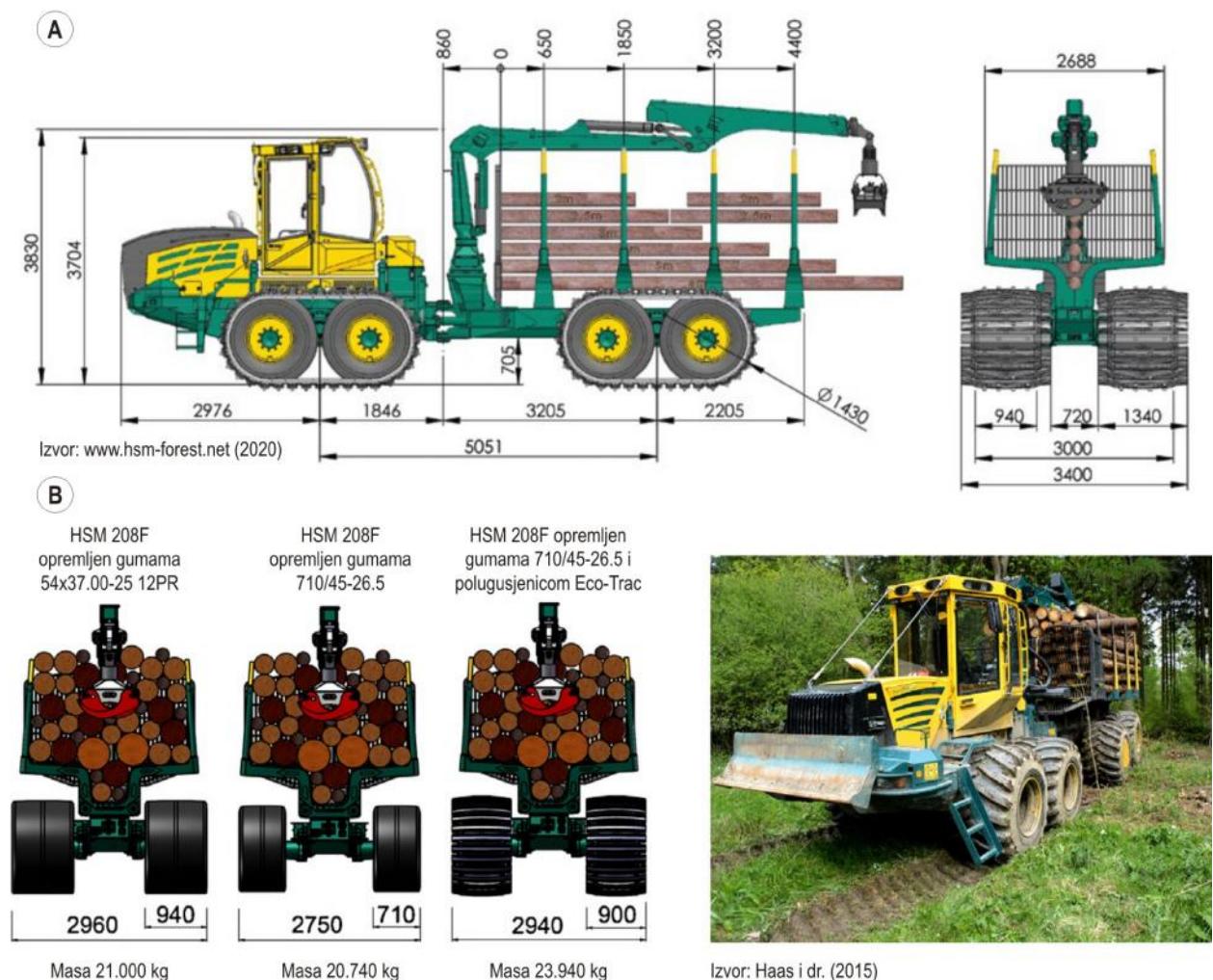
Poršinsky i dr. (2011) navode višestruke koristi opremanja kotača udvojene (bogi) osovine fowardera u ograničenim uvjetima nosivosti podloge: 1) zaštita tla od oštete ihanja zbog povećanja površine dodira, odnosno smanjenja dodirnoga tlaka, 2) osiguranje kretnosti vozila smanjenjem klizanja kotača, ali i dubine kolotraga odnosno otpora kotrljanja vozila, 3) osiguranje djelotvornosti izvoženja drva, 4) smanjenje potrošnje goriva zbog smanjenja klizanja kotača, 5) povećanje bočne stabilnosti fowardera 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 zglobova 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 osmokota nog forvardera HSM 208F. Stoga je metodološki ovo poglavlje razdijeljeno na sljedeća potpoglavlja: 1) Forvader HSM 208F, 2) Raspodjela opterećenja forvardera, 3) Nominalni tlak na podlogu.

2.1 Forvader HSM 208F

Srednje teški osmokota nog forvader HSM 208F, nominalne je nosivosti 11 t, ima su gabaritne dimenzije prikazane na slici 7A. Ovisno o opremljenosti vozogusta sustava forvardera, masa neopterećenoga vozila kreće se u rasponu od 21.000 kg do 23.940 kg (slika 7B), za koju proizvodjač navodi da 60 % otpada na prednju, a 40 % na stražnju osovину. Ploština je poprečnog presjeka utovarnoga prostora $4,2 \text{ m}^2$, a duljina 4,4 m.



Slika 7. Značajke osmokota nog 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 najveće gega 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 mogunost opremanja širokom paletom opcijskih guma: 600/55-26.5, 800/40-26.5, 870/40-26.5 te 54x37-25.

Značajke standardnih (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.

A) Pneumatik 710/45-26.5 Trelleborg 422

Širina gume, mm	710
Promjer gume, mm	1340
Visina profila gume, mm	333
Opterećeni statički radijus, mm	625
Najveći tlak punjenja guma, kPa	400
Nosivost gume, kg (<10 km/h)	5600
Dodirna površina gume*, cm ²	4757



B) Pneumatik 54x37.00-25 12PR Firestone

Širina gume, mm	940
Promjer gume, mm	1430
Visina profila gume, mm	398
Opterećeni statički radijus, mm	655
Najveći tlak punjenja guma, kPa	380
Nosivost gume, kg (<10 km/h)	4875
Dodirna površina gume*, cm ²	6721



* – dodirna površina gume i tla izračunana je prema izrazu za nominalni tlak na podlogu (Mellgren 1980)

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, ime se dodatno optereće uje forvarder sa 1600 kg po osovinu, odnosno 3200 kg samo vozilo kada su kota i prednje i stražnje osovine opremljeni polugusjenicama.

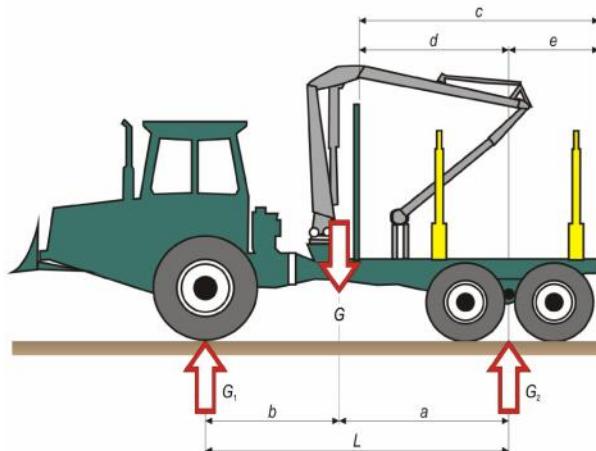
2.2 Raspodjela opterećenja forvardera

Teorijski model raspodjele osovinskih opterećenja forvardera (slika 9) na ravnom 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.

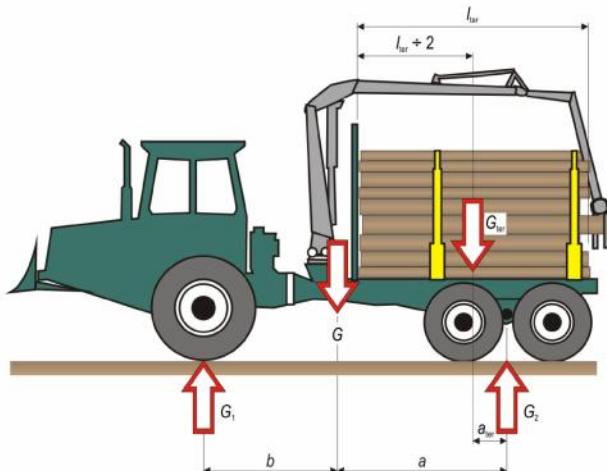
Rješavanjem momentne jednadžbe oko prednje osovine neopterećenog forvardera otvoren je put izračuna horizontalne udaljenosti položaja točke težišta od prednje, odnosno stražnje osovine (slika 9A).

Osovinska opterećenja natovarenog forvardera, prikazani model izračuna pomoći u jednadžbi momenata oko stražnje osovine, gdje je se momentima neopterećenog vozila pridodao teret (slika 9B). Pri tome se pretpostavilo da je teret (oblovin) pravilna prizma, određene mase i duljine uz zanemarivanje šupljina između obloge drva u tovarnom prostoru forvardera. Duljina kraka tereta oko stražnje osovine izračunava se na osnovi gabaritnih dimenzija forvardera, ali i procijenjene duljine tereta.

A) Nenatovaren (neopterećeni) forvarder



B) Natovaren (opterećeni) forvarder



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

$$b = (G_2 \cdot L) / G$$

2) Udaljenost između položaja točke težišta i stražnje osovine

$$a = L - b$$

Izvor: Poršinsky i Horvat (2005)

Određivanje osovinskih opterećenja za natovareni forvarder uz ograničenja

$G_{\text{ter}} < G_{\text{dek}}$ i $l_{\text{ter}} \leq c$

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

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

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

1) Opterećenje prednje osovine forvardera $G_1 = (G \cdot a \pm G_{\text{ter}} \cdot a_{\text{ter}}) / L$

2) Opterećenje stražnje osovine forvardera $G_2 = G + G_{\text{ter}} - G_1$

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

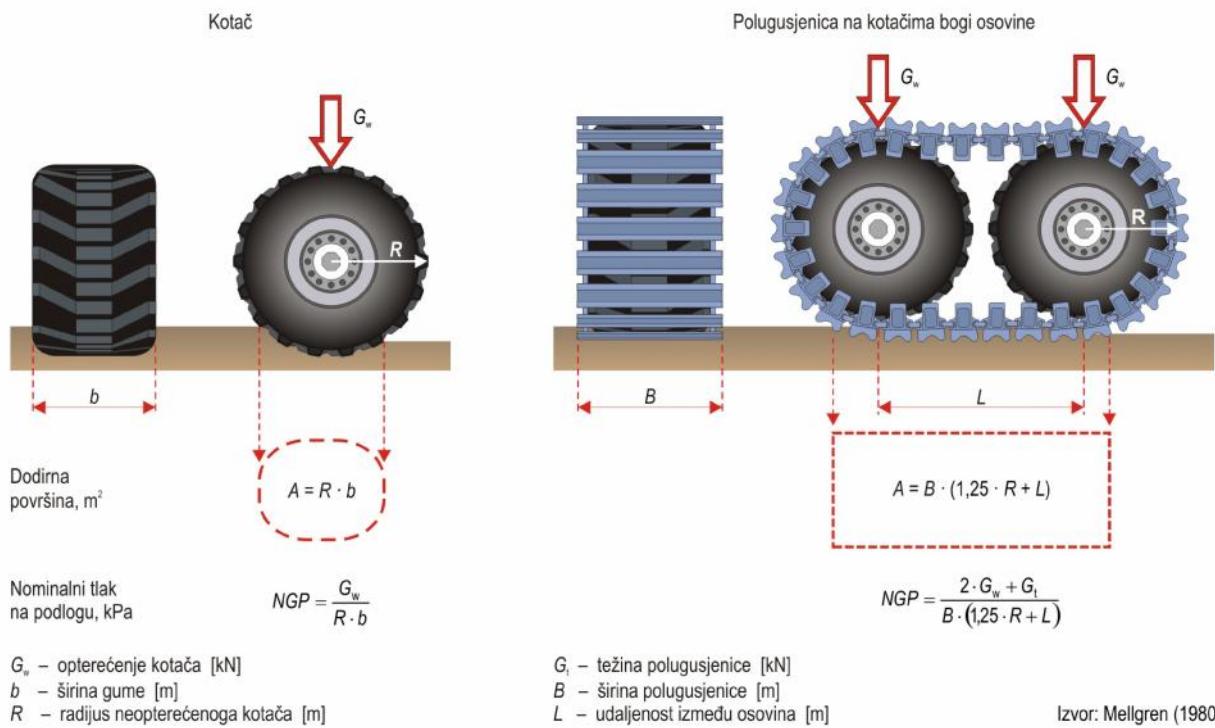
Slika 9. Model raspodjele osovinskih opterećenja natovarenoga forvardera

2.3 Nominalni tlak na podlogu

Dodirni tlak vozila predstavlja omjer težine i površine oslonca vozila s podlogom (tlom), a iskazuje okolišnu pogodnost određenog šumskog vozila (Poršinsky i dr. 2011). Isti autori navode da problem pri izračunu dodirnih tlakova vozila za kretanje po šumskome bespu u je ovisnost dodirne površine gume kotača i tla o: 1) elastičnim deformacijama opterećenog kotača (značajke gume, tlak punjenja zrakom) i 2) plastičnim deformacijama tla (granulometrijski sastav, vлага).

U želji za standardiziranjem načina izračuna dodirnih tlakova šumskih vozila, radi se usobne usporedivosti u prvom redu vozila (ili različite opremljenosti pojedinoga vozila) koja se rabe za privlačenje drva po šumskom bespu, 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 plastičnim deformacijama podloži koja dodirnu površinu kotača s tlom izračunava kao umnožak polumjera kotača i širine gume. Važna je pretpostavka pri postavljanju duljine dodira kotača i plastične podloge s polumjerkom kotača i propadanje 15 % promjera kotača u tlo (kolotrag),ime je osiguran potpuni dodir gume kotača i tla. U slučaju manjeg propadanja kotača u tlo

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



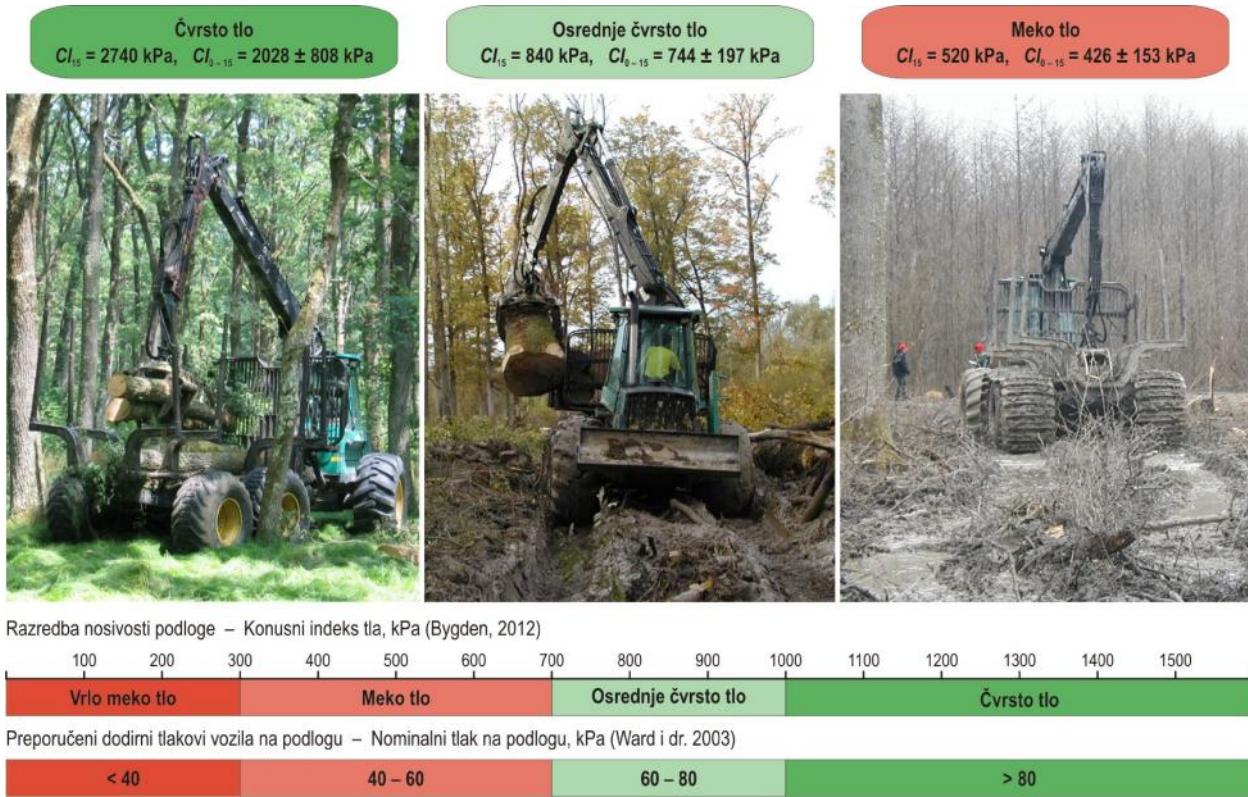
Slika 10. Nominalni tlak na podlogu za kotač i polugusjenice (Poršinsky 2018)

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 opterećenog 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 i održivost samo u slučaju kada je kut između poletka 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 opterećenog 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,ime je metodološki primjenjivost ograničena samo na slučaj jednakih dimenzija gume kotača i jednak raspodjeli opterećenja po kotačima vozila.

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



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

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

3. Rezultati

U skladu sa zacrtanim ciljevima, rezultati ocjene dobrote tvorni kog 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 slijede a potpoglavlja: 1) Analiza raspodjele optere enja osovina forvardera, 2) Analiza raspodjele nominalnog tlaka na podlogu te 3) Analiza dubine kolotraga.

3.1 Analiza raspodjele optere enja osovina forvardera

Za modeliranje raspodjele osovinskih optere enja forvardera HSM 208F (8×8), korištena je duljina utovarene oblovine od 4 m, iz razloga što predstavlja prosje nu duljinu sortimentnom metodom izra enje oblovine u podru ju 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 emu je znakovit porast optere enja na stražnjoj, odnosno bezna ajan porast optere enja na prednjoj osovini, i to kod opremljenosti pneumaticima:

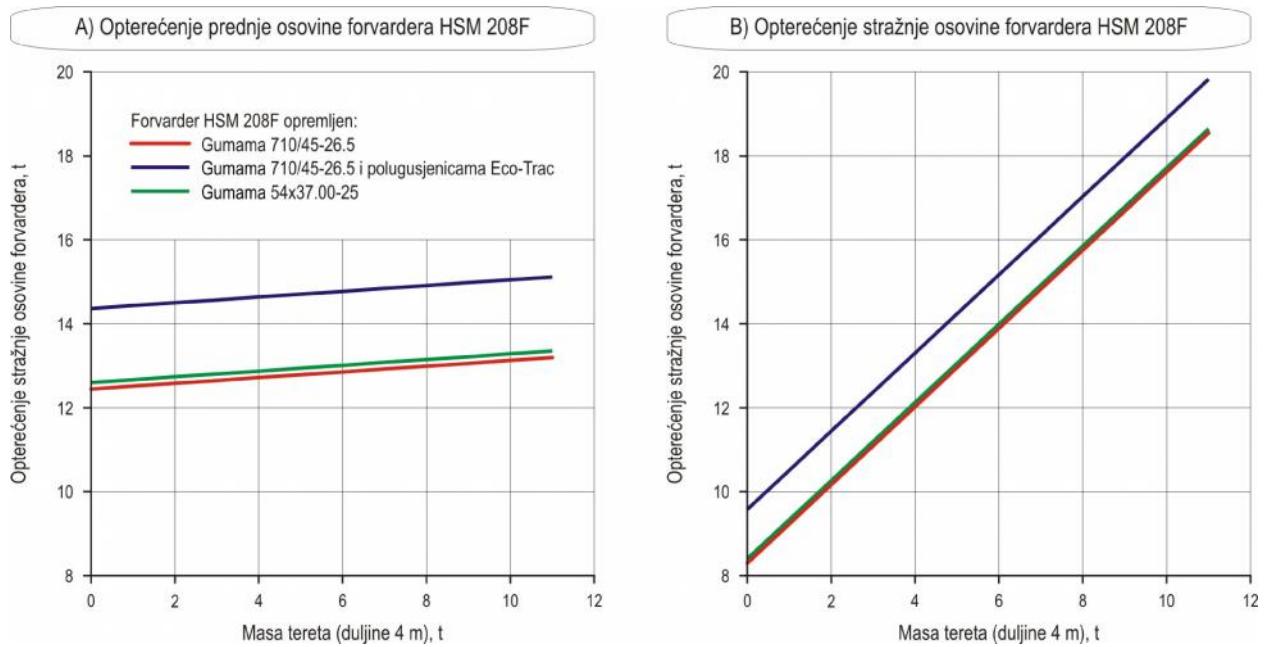
- ⇒ 710/45-26.5 Trelleborg 422, ovisno o masi (0 – 11 t) utovarene oblovine, raste optere enje stražnje osovine vozila od 8,296 t do 18,545 t, odnosno od 12,444 t do 13,195 t optere enje prednje osovine,
- ⇒ 710/45-26.5 Trelleborg 422 s polugusjenicama Olofsfors Eco-Trac, ovisno o masi (0 – 11 t) utovarene oblovine, raste optere enje stražnje osovine vozila od 9,576 t do 19,825 t, odnosno od 14,364 t do 15,115 t optere enje prednje osovine,
- ⇒ 54x37-25 Firestone, ovisno o masi (0 – 11 t) utovarene oblovine, raste optere enje stražnje osovine vozila od 8,400 t do 18,649 t, odnosno od 12,6 t do 13,351 t optere enje prednje osovine.

Tablica 1. Raspodjela optere enja po osovinama ovisno o masi utovarenoga drva

Masa tereta	Optere enje prednje osovine forvardera HSM 208F						
	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 tereta	Optere enje stražnje osovine forvardera HSM 208F						
	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	

Polu eni rezultati posljedica su razli itih masa neoptere enoga 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 kota ima prednje i stražnje

osovine vozila), ali i raspodjeli optere enja po osovinama (60 % otpada na prednju, a 40 % na stražnju osovinu).

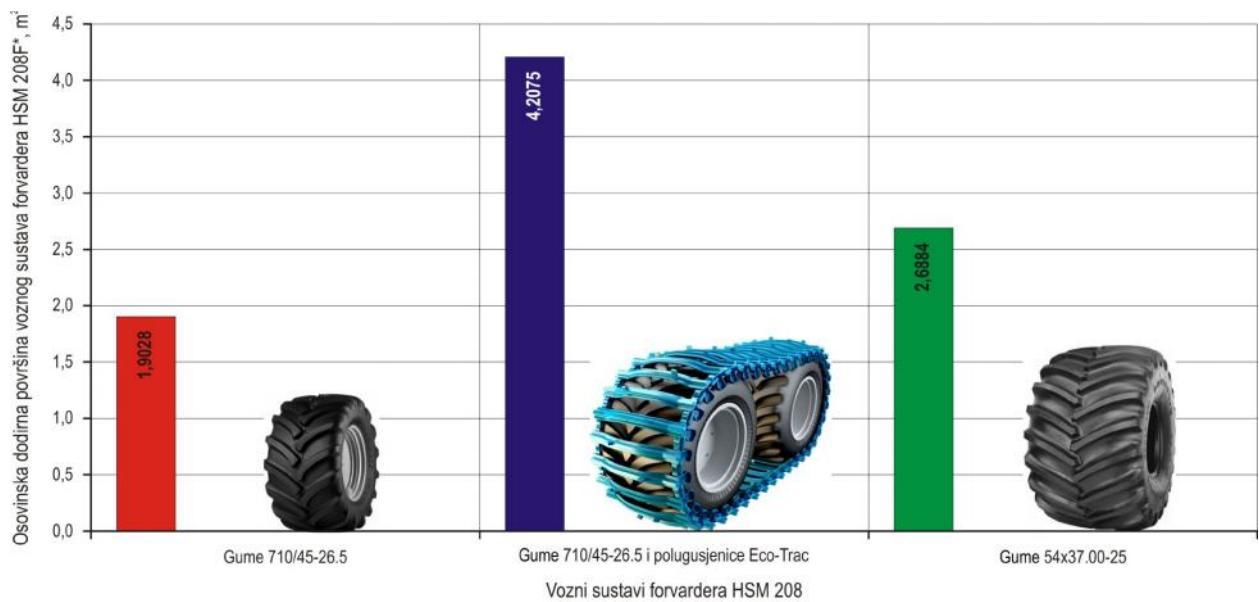


Slika 12. Raspodjela optere enja osovina forvardera HSM 208F ovisno o masi tereta

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

3.2 Analiza raspodjeli nominalnog tlaka na podlogu

Za izra un procjene dodirne površine pneumatika te polugusjenica na kota ima 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 kota a udvojenih osovina forvardera polugusjenicama Olofsfors Eco-Trac.

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

- ⇒ prednjih i stražnjih kota a 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 kota a sa standardnim gumama (710/45-26.5) i polugusjenicama Olofsfors Eco-Trac, raste dodirna površina s tlom za 121,1 % u odnosu kad kota i nisu dodatno opremljeni,
- ⇒ prednjih i stražnjih kota a sa standardnim gumama (710/45-26.5) i polugusjenicama Olofsfors Eco-Trac, raste dodirna površina s tlom za 56,5 % u odnosu kad su kota i opremljeni širim gumama (54x37-25).

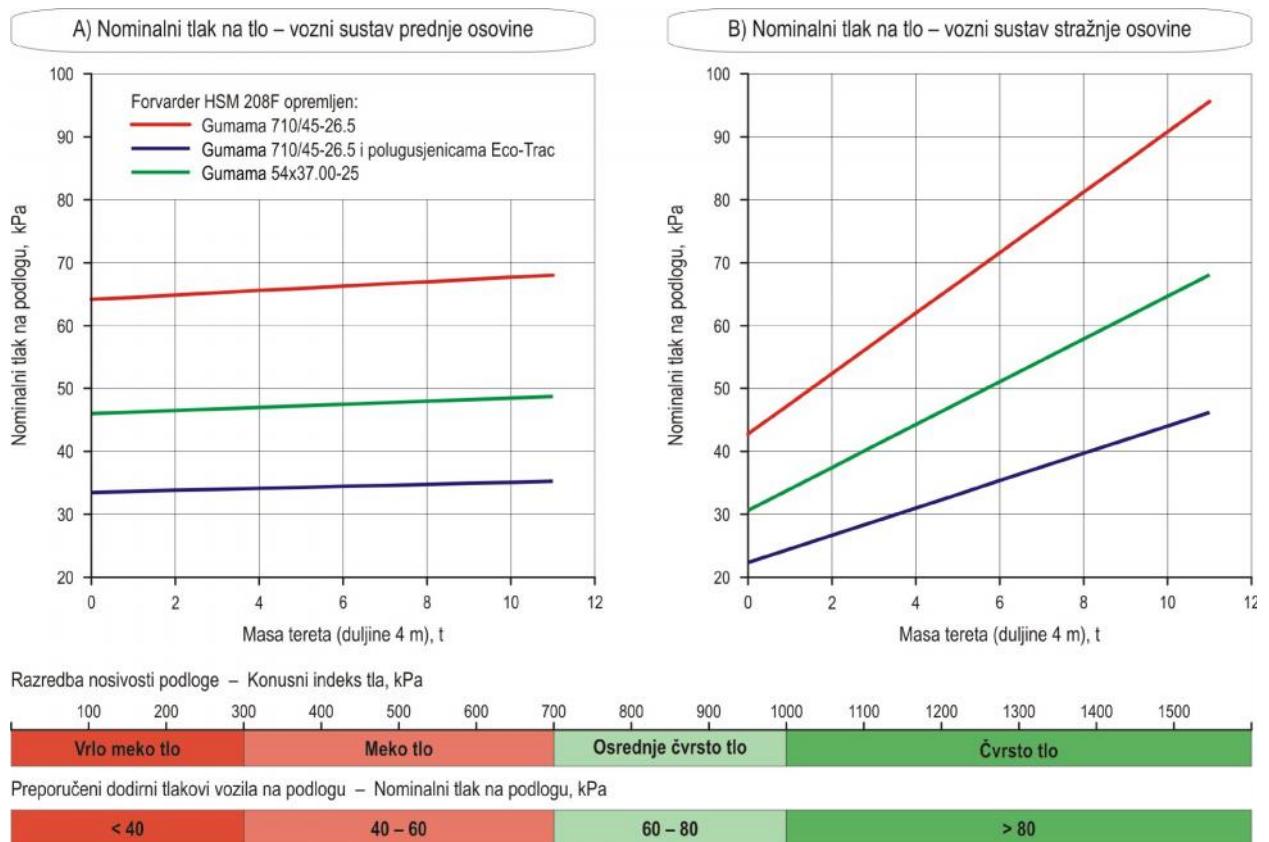
Poštene rezultate raspodjele nominalnog tlaka na podlogu istraživanih forvardera (tablica 2, slika 14) u ovisnosti o kolini (masi) utovarenoga drva, kao mjeru okolišne pogodnosti izvoženja drva, svakako treba poimati s obzirom na: 1) uvjete nosivosti podlage (vrlo meko, meko, osrednje vrsto i vrsto tlo), 2) konfiguraciju (osam kota a) i klasu (srednje teški) forvardera, 3) opremljenost forvardera pneumaticima (uže ili šire gume) te 4) dodatno opremanje kota a 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 kota a prednje osovine (pogodnost rada na osrednje vrstom i vrstom tlu), te od 43 do 91 kPa ispod kota a stražnje osovine (nominalno natovareni forvarder s teretom od 11 tona okolišno je pogodan izvoziti drvo samo u uvjetima vrstog 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 koli ini 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 kota a prednje osovine (pogodnost rada na mekom tlu), te od 31 do 65 kPa ispod kota a stražnje osovine (nominalno natovareni forvarder s teretom od 11 tona okolišno je pogodan izvoziti drvo samo u uvjetima osrednje vrstog tla).

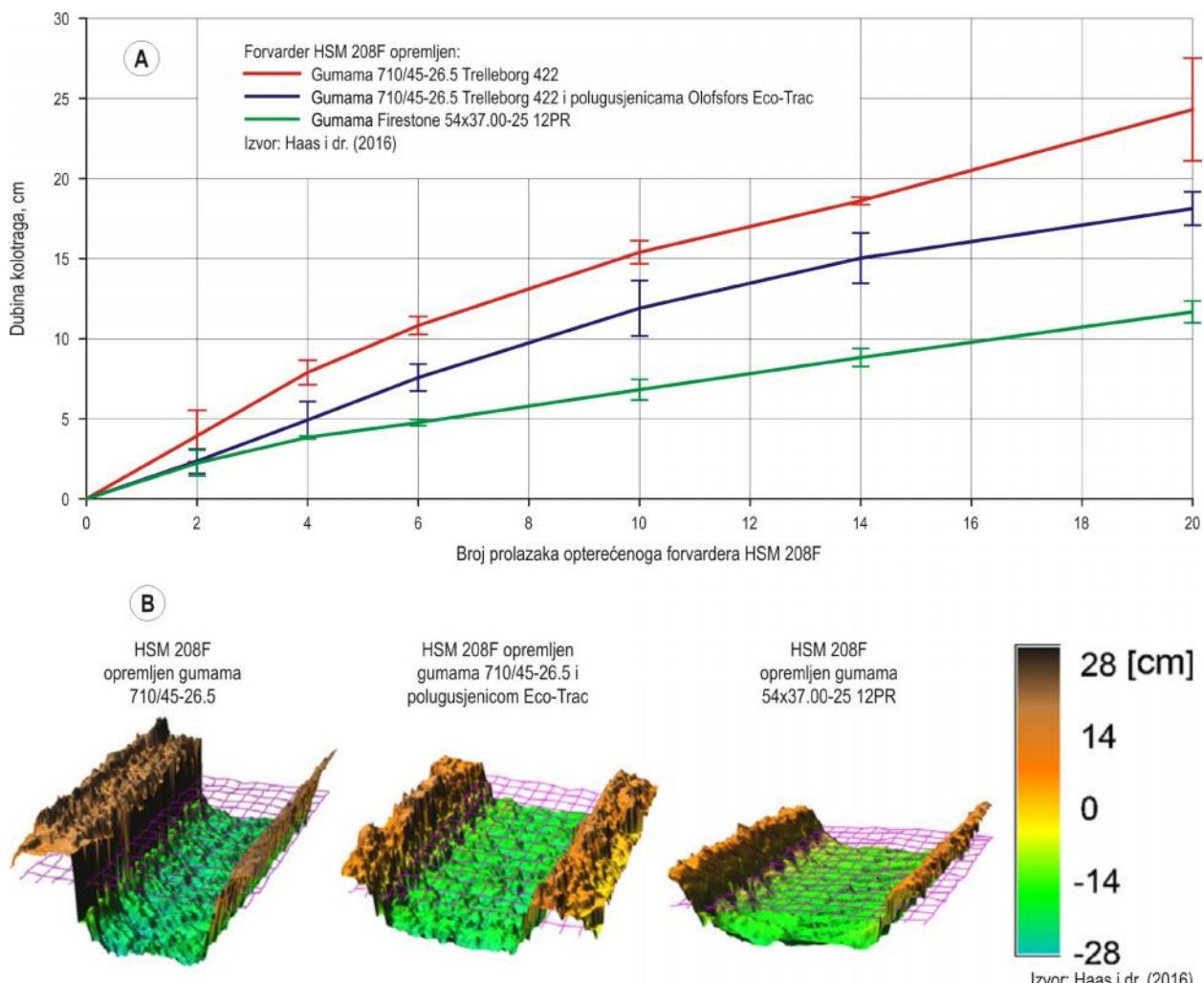
Temeljem provedene analize nominalnog tlaka na podlogu, najbolju ocjenu okolišne pogodnosti dobio je vozni sustav forvardera HSM 208F s gumama 710/45-26.5 Trelleborg 422 koje su dodatno opremljene polugusjenicama Olofsfors Eco-Trac, a zatim redom slijede vozni sustav sa širim gumama 54x37-25 Firestone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

3.3 Analiza dubine kolotraga (Haas i dr. 2016)

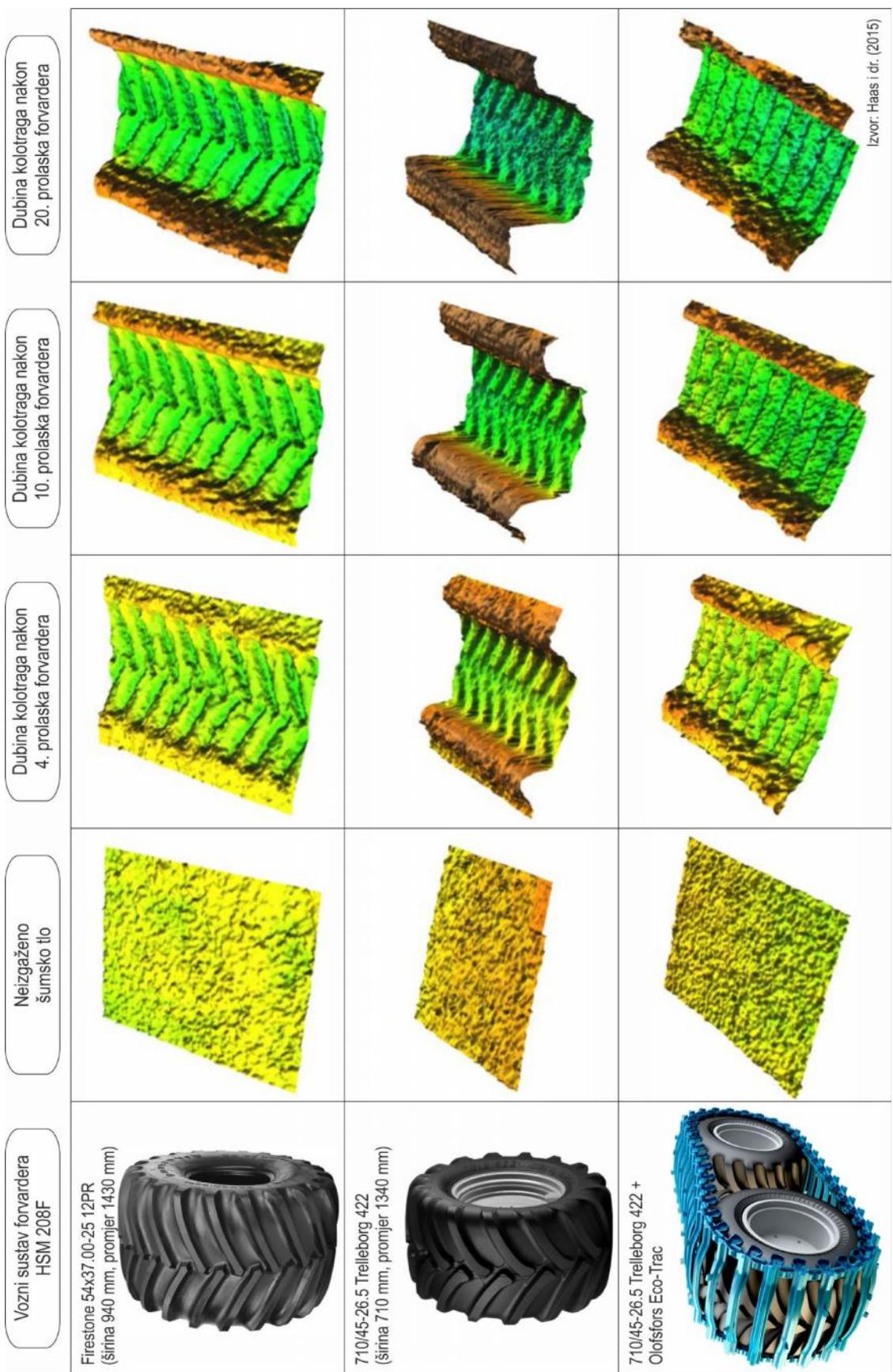
Analiza dubine kolotraga uslijed višekratnog prolaska forvardera HSM 208F po traktorskim vlakama preuzeta je iz prethodnih objava (Haas i dr. 2015A, Haas i dr. 2015B, Haas i dr. 2016). Navedeni autori, u cilju o uvanja prometnosti traktorskih vlaka pri izvoženju drva forvarderom HSM 208F proveli su istraživanje dubine kolotraga fotogrametrijskom metodom za tri razine opremljenosti vozogog 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 Njema koj (Ravensburg – Baden-Württemberg) na nadmorskoj visini od 520 m. Trenutna vlagi tla (stagni ki 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 ilova i, odnosno pjeskovito glinovitoj ilova i. Tijekom istraživanja forvarder HSM 208F bio je natovaren sa 9 tona smrekove oblovine.

Rezultati prosje ne 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, prosje na 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, prosje na 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 prosje na dubina kolotraga polu ena 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 optere enoga 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 osmokota nog forvardera HSM 208F, ije su značajke prikazane u potpoglavlju 2.1. Na temelju polu enih 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 optere enoga 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 zglobova polugusjenice.

5. Literatura

- uka, A., 2014: Razvoj modela prometnosti terena za planiranje privla enja drva skiderom. Disertacija, Šumarski fakultet Sveu ilišta u Zagrebu, 1–303.
- uka, A., Poršinsky, T., 2015: Analiza kamenitosti i stjenovitosti terena za potrebe privla enja 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 Territory, Olofsfors, 1–43.
- Poršinsky, T., 2005: Djelotvornost i ekološka pogodnost forvardera Timberjack 1710 pri izvoženju oblovine iz nizinskih šuma Hrvatske. Disertacija, Šumarski fakultet Sveu ilišta u Zagrebu, 1–170.
- Poršinsky, T., Horvat, D., 2005: Indeks kota a kao parametar procjene okolišne prihvativosti vozila za privla enje drva. Nova meh. šumar.: 26: 25–38.
- Poršinsky, T., Stanki , I., 2005: Prilog poznavanju iznošenja drva šumskim ži arama. 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., Stanki , 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., uka, A., 2016: Maneuverability Characteristics of Cable Skidder. Šum. list 140(5–6): 259–272.
- Poršinsky, T., 2018: Predavanja iz kolegija Okolišno prihvativjive tehnologije. Šumarski fakultet Zagreb (<http://www.sumfak.unizg.hr>)
- Poršinsky, T., Matas, J., Horvat, D., uka, A., 2020: Pneumatici kota a šumskih vozila (Tyres of Forestry Vehicles). Šum. list 144 (9–10): u tisku.