

# Forvarder s trakcijsko-sidrenim užetom

---

**Birkić, Božidar Lovro**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Forestry and Wood Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:019064>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-06-26**



*Repository / Repozitorij:*

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



**FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE**

**SVEUČILIŠTA U ZAGREBU**

**Šumarstvo**

**SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ**

**Tehnike, tehnologije i menadžment u šumarstvu**

**BOŽIDAR LOVRO BIRKIĆ**

**FORVARDER S TRAKCIJSKO SIDRENIM UŽETOM**

**DIPLOMSKI RAD**

**ZAGREB, 2021.**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE  
ŠUMARSKI ODSJEK**

**FORVARDER S TRAKCIJSKO SIDRENIM UŽETOM**

**DIPLOMSKI RAD**

Diplomski studij: Šumarstvo, smjer Tehnika, tehnologija i management u šumarstvu

Predmet: Okolišno prihvatljive tehnologije

Ispitno povjerenstvo:     1. prof. dr. sc. Tomislav Poršinsky  
                                  2. doc. dr. sc. Andreja Đuka  
                                  3. doc. dr. sc. Dinko Vusić

Student: Božidar Lovro Birkić

JMBAG: 0068227695

Broj indeksa: 1063/19

Datum odobrenja teme: 4. svibnja 2021.

Datum predaje rada: 30. rujna 2021.

Datum obrane rada: 15. listopada 2021.

**ZAGREB, RUJAN 2021.**

## Predgovor

Zahvaljujem se svojem mentoru, prof.dr.sc. Tomislavu Poršinskom, što je svojim stručnim znanjem i savjetima, ali i velikoj količini truda, strpljenja i razumijevanja pomogao i podržao pisanje ovog diplomskog rada.

Hvala svim kolegama s fakulteta, posebice onim kolegama kod kojih se zajednički boravak na predavanjima i terenskim nastavama pretvorio u divno prijateljstvo.

Zahvalio bih se i svojim prijateljima, suigračima i svim članovima Ragbi Kluba Zagreb što su bili uz mene u onim trenucima kada je moje akademsko uzdizanje nailazilo na prepreke.

Veliko hvala životnim prijateljima, Viži, Priki, Giou, Kneletu i Deji, koji konačno mogu odahnuti jer sam s postizanjem diplome i ja ušao u krug akademskih građana, stoga na zajedničkim druženjima mogu očekivati nešto manje mojih monologa vezanih uz fakultetsko obrazovanje.

Također, hvala mojoj velikoj obitelji, ocu Darku, sestrama Iki, Luci i Marti te braći Šimunu – Andriji, Ivanu Luki i Jakovu Borni, što su mi svojim primjerima, podrškom i savjetima pomogli u savladavanju ovog puta. Istaknut ću ovdje svog „cimija“ Jakova s kojim su mnogobrojna učenja pred ispite započinjala ritualima jutarnje kave i toplog kroasana.

Posebno hvala mojoj djevojci Ani, najvećoj blagodati moga akademskog obrazovanja. Osjećaj zadovoljstva prilikom polaganja najtežih ispita ne može se usporediti s onom srećom i vedrinom kojom mi je Ana ispunila život i za to joj neizmjereno hvala.

Za kraj, osobi bez koje ništa u mome životu ne bi bilo moguće, mojoj pokojnoj majci Dubravki... Malo je tisuću puta reći „hvala“, malo je napisati tisuću ovakvih posveta. Mogu samo poručiti „Mama, uspio sam!“.

Božidar Lovro Birkić

## Dokumentacijska kartica

Naslov:	Forvarder s trakcijsko sidrenim užetom
Title:	Cable Forwarder
Autor:	Božidar Lovro Birkić
Adresa autora:	Barutanski jarak 10a, 10000 Zagreb
Mjesto izrade:	Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Zagreb
Vrsta objave:	Diplomski rad
Mentor:	prof. dr. sc. Tomislav Poršinsky
Izradu rada pomogao:	doc. dr. sc. Andreja Đuka
Godina objave:	2021.
Obujam:	23 stranica + 12 slika + 3 tablice + 20 navoda literature
Ključne riječi:	užetni forvarder, djelotvornost, okolišna pogodnost
Keywords:	cable forwarder, efficiency, environmentally soundness
Sažetak:	<p>U zadnjem je desetljeću sve prisutnije opremanje šumskih vozila za pridobivanje drva dodatnim vitlom, čije uže nema namjenu prihvata/sakupljanja drva, već sidrenja i/ili dodatne trakcije vozila, čime je šumskim vozilima siguran i djelotvoran rad proširen sa 33 % na 55 % uzdužnog nagiba terena.</p> <p>Forvarder s vitlom i sidreno trakcijskim užem, studijem literature obrađen je kroz:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1) teorijsku raspodjelu opterećenja i sila,</li><li>2) oblik mreže sekundarnih šumskih prometnica,</li><li>3) proizvodnost i troškove privlačenja drva te</li><li>4) okolišnu pogodnost.</li></ol> <p>Iz samoga naziva šumskog vozila, forvarder s vitlom i sidreno – trakcijskim užem, vidljiva je svrhovitost dodatnoga opremanja forvardera s obzirom na smjer kretanja vozila po uzdužnome nagibu terena. Brzina vrtnje vitla i pogonski motor forvardera su sinhronizirani s obzirom na brzinu kretanja vozila. Pri kretanju uz uzdužni nagib terena, vučna sila vitla ima zadatak stvoriti dodatnu trakciju vozila što je pogotovo značajno pri kretanju forvardera po vlažnim šumskim tlima jer izostaje pojava (pro)klizavanja vozila, odnosno potpuni gubitak kretnosti. Pri kretanju forvardera niz uzdužni nagib terena, uže vitla ima funkciju sidrenja vozila da ne bi pod utjecajem gravitacijske sile na kosini vozilo</p>

nekontrolirano otklizalo niz nagib terena.

Mjerenja sila u sidreno – trakcijskom užu, ukazala su različitu dinamiku opterećenja s obzirom na radne sastavnice izvoženja drva, a najveća zabilježena sila u sidreno – trakcijskom užu iznosila je 30 % od njegove deklarirane prekidne čvrstoće.

Usljed preporučenoga područja rada na terenima nagiba < 55 %, užetni forvarderi su obavezno u izvedbi sa zakretno – žiroskopskom kabinom te osmokotačna vozila s udvojenim prednjim i stražnjim osovinama te kotačima u tandem rasporedu.

Unatoč opremanju pneumatika kotača prednjih i stražnjih kotača polugusjenicama s ciljem smanjenja dodirnih tlakova i klizanja kotača, njihovu uporabu ograničavaju izrazito kameniti tereni zbog osjetljivosti opterećenoga forvardera na bočnu stabilnost.

Forvarder sa sidreno – trakcijskim užem koristi se pri potpuno mehaniziranom sustavu pridobivanja drva, što uključuje i vozilo za sječu i izradbu drva – užetni harvester. Predviđene trase budućeg prolaska forvardera sječe harvester i time stvara negrađenu mrežu sekundarnih šumskih prometnica – traktorske vlake. Međusoban razmak paralelnih traktorskih vlaka određen je dvostrukim dosegom hidrauličnih dizalica harvestera i forvardera, a širina vlaka od 4 m širinom ovih vozila. Smjer pružanja traktorskih vlaka paralelan je sa smjerom pružanja nagiba i okomit na smjer pružanja slojnica, odnosno šumsku cestu.

Istraživanja djelotvornosti forvardera s vitlom i sidreno – trakcijskim užem pri različitom rasponu nagnutosti terena/traktorskih vlaka, ukazala su da neovisno o nagibu traktorske vlake, povećanjem udaljenosti privlačenja drva, ali i smanjenjem obujma izrađenoga drva proizvodnost užetnoga forvardera opada, a jedinični troškovi izvoženja drva rastu, što je u skladu s prethodnim istraživanjima. Posebno treba istaknuti da ovako dodatno opremljen forvarder, uslijed kratkotrajnoga utroška vremena (de)montiranja i sidrenja vučnog uža vitla (~ 16 min / 100 m traktorske vlake), ne zahtijeva visoke sječne gustoće za ekonomičan rad poput šumskih žičara (1 m<sup>3</sup>/m trase žične linije), čime postaje troškovno isplativija opcija od iznošenja drva šumskim žičarama na nagnutim terenima.

	<b>IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI</b>	<b>OB FŠDT 05 07</b>
		Revizija: 2
		Datum: 29.04.2021.

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

U Zagrebu, 30. Rujna 2021. godine

---

*vlastoručni potpis*

Božidar Lovro Birkić

## Popis slika i tablica

Slika 1. Utjecaj nagiba terena na sustave pridobivanja drva i kretnost šumskih vozila .....	2
Slika 2. Utjecaj sustava pridobivanja drva na jedinične troškove .....	3
Slika 3. Pasivni i aktivni sustav sidreno – trakcijskoga vitla forvardera .....	4
Slika 4. Teorijska raspodjela sila užetnog forvardera John Deere 1110D .....	5
Slika 5. Prikaz opterećenja sidreno – trakcijskog uža .....	7
Slika 6. Odnosi točke težišta i točke prekretanja šumskih vozila na nagnutim terenima .....	8
Slika 7. Prikaz pravilnog paralelnog rasporeda sekundarnih šumskih prometnica i kretanja vozila .....	9
Slika 8. Dimenzijske značajke forvardera John Deere 1110E .....	10
Slika 9. Forvarder sa sidreno – trakcijskim užem u radu .....	11
Slika 10. Ovisnost troška strojnoga rada o broju pogonskih sati godišnje .....	12
Slika 11. Prikaz djelotvornosti užetnog forvardera John Deere 1110E .....	14
Slika 12. Polugusjenice Olofsfors SOFT i EX .....	16
Tablica 1. Promjene prirodne gustoće tla nakon prolaska vozila (Garren i dr. 2019) .....	17
Tablica 2. Dubina kolotruga po sredstvima rada i nagibu terena (Garren i dr. 2019) .....	18
Tablica 3. Količine sedimenata kao posljedica erozijskih procesa (Garren i dr. 2019) .....	19



## Sadržaj

Podaci o diplomskom radu .....	I
Predgovor .....	II
Dokumentacijska kartica .....	III
Izjava o akademskoj čestitosti .....	V
Popis slika i tablica .....	VI
Sadržaj .....	VII
1. Uvod .....	1
2. Raspodjela sila i opterećenja užetnog forvardera .....	5
3. Oblik pogodne sekundarne mreže šumskih prometnica .....	8
4. Djelotvornost izvoženja drva užetnim forvarderom .....	10
5. Okolišna pogodnost užetnog forvardera .....	15
6. Zaključak.....	20
7. Literatura .....	22

# 1. Uvod

Od ukupne svjetske kopnene površine, 4,06 milijardi hektara (30,8 %) prekriveno je šumom od čega se potrajno gospodari s 54 %, to jest 2,05 milijardi hektara (FAO 2020). Od ukupne površine šuma na svjetskoj razini, 82 % površine se nalazi se na terenima nagiba manjim od 15 stupnjeva, dok se preostalih 18 % zauzima: 6 % šuma na terenima nagiba između 15 i 20 stupnjeva, 8 % na terenima nagiba između 20 i 30 stupnjeva te 4 posto šuma na terenima nagiba većih od 30 stupnjeva (Lundbäck i dr. 2021).

Zbog velikog značaja kojeg imaju šume u brdsko – gorskom području, a koje se prvenstveno odnose na: 1) zaštitu naselja u podnožju padina od odrona stijena, 2) sprječavanje erozionih procesa, 3) osiguranje pitke vode, 4) staništa za divlje životinje, 5) proizvodnju drva te 6) očuvanje krajobraza; posebna se pažnja posvećuje dugoročnom i održivom gospodarenju (Enache i dr. 2015).









Najveći ljudski utjecaj na promjenu stanja i izgleda brdsko – gorskih šuma ima proces proizvodnje drva. Pridobivanje drva na nagnutim terenima spada pod opasnije (Garland i dr. 2019) i zahtjevnije procese proizvodnje u šumarstvu (Heinimann 1999). Na procese pridobivanja drva na strmim terenima veliki utjecaj imaju otvorenost šuma, operativna učinkovitost sa težnjom izvođenja radova potpuno mehaniziranim sustavima pridobivanja drva, ekološki i socijalni utjecaj (utjecaj na šumsko tlo, vodu i sastojinu, uz brigu o sigurnosti i zdravlju radnika) te sve veći interes glasa javnosti o korisnim funkcijama šuma sa ciljem ugradnje u zakonodavne okvire (Heinimann 2000).

Velik utjecaj na odabir sustava pridobivanja drva, tj. mehaniziranih sredstava rada, kao i njihovu djelotvornost imaju terenski čimbenici (prvenstveno nagib terena – slika 1A, ali i površinske prepreke te nosivost šumskog tla). Poršinsky (2008), navodi da je sustav pridobivanja drva određen postupcima, metodom izradbe drva (sortimentna, poludeblovna, deblovna, stablovna), te strojevima i alatima koji se koriste prilikom eksploatacije neke sječne jedinice. Isti autor navodi, da je izbor sredstva privlačenja drva u svjetlu djelovanja terenskih čimbenika (reljefnih područja) te razine primarne i sekundarne otvorenosti šuma najbitnija odrednica cijeloga sustava pridobivanja drva.

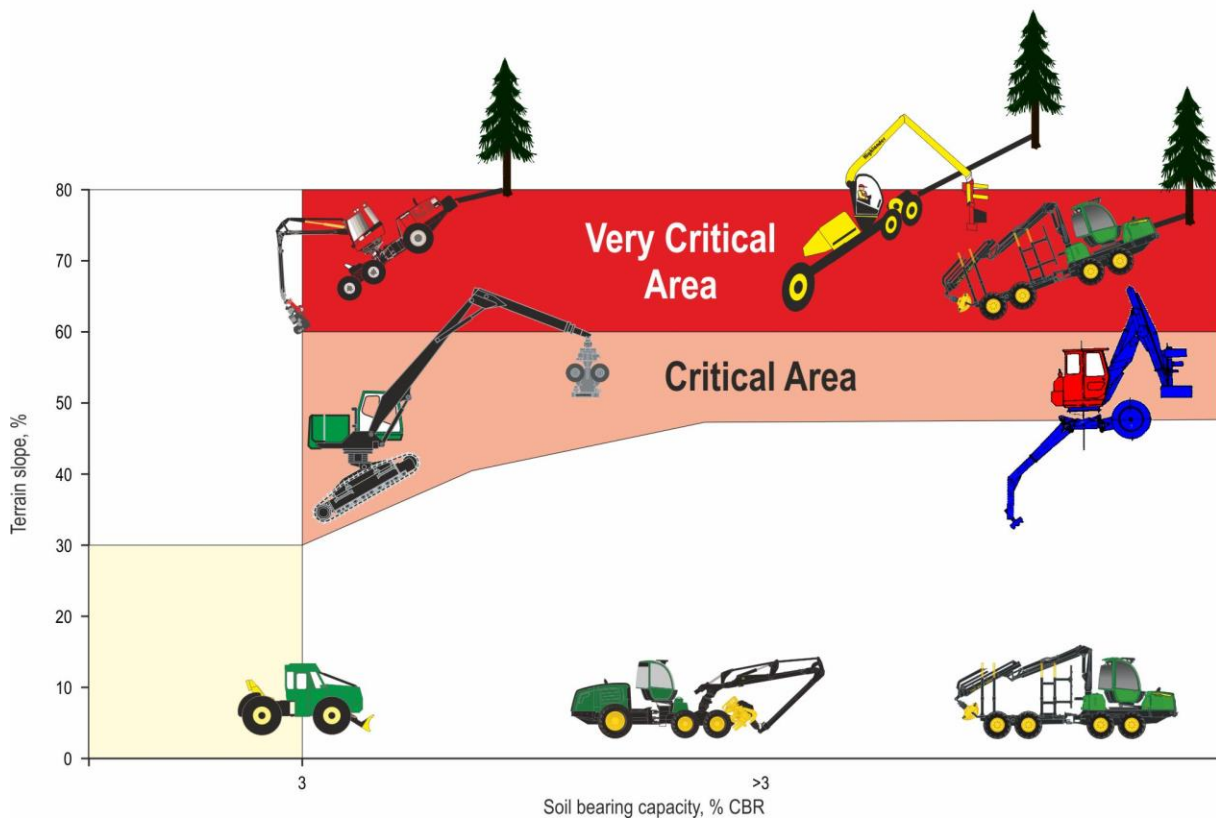
Sam tijek razvoja šumskih vozila s obzirom na njihovu namjenu i s ciljem dosizanja njihove što veće kretnosti zasnovan je na cijelom nizu pokušaja i pogrešaka (Poršinsky i dr. 2016), pri čemu je došlo do diferencijacije četiri osnovna kretna sustava šumskih vozila: 1) kotačni, 2) gusjenični, 3) hodni te 4) hibridni (slika 1B).

Primjena šumskih vozila u mehaniziranim procesima proizvodnje drva predstavlja još uvijek 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 (slika 1B). Navedeno potvrđuju podatci prikazani na slici 2, gdje je uočljivo da pridobivanje drva potpuno mehaniziranim sustavima u kojima sudjeluju šumska vozila povoljnije u odnosu na visoko mehanizirani sustav – radnik sjekač i stupna kamionska žičara s procesorskom glavom.

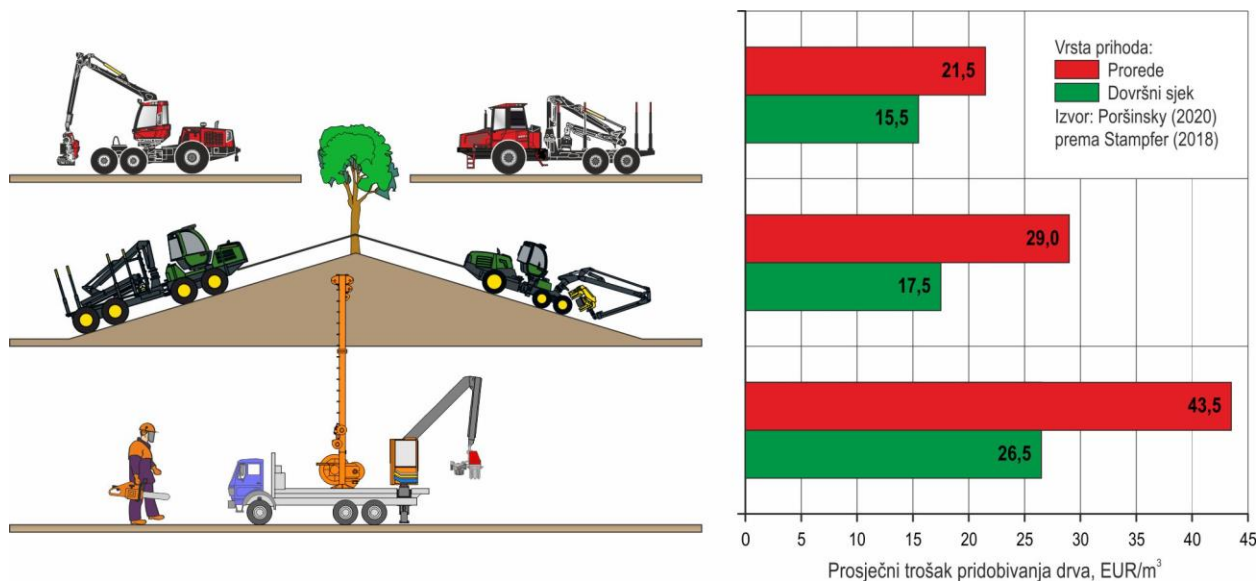
A) Utjecaj nagiba terena na izbor sustava pridobivanja drva – Izvor: Poršinsky (2008) prema Heinimann (2000)

	Po tlu kretna šumska vozila		Užetni sustavi	Zračni sustavi
Sječa i izradba drva				
Privlačenje drva	Traktorska vlaka 	Traktorski put 	Žična linija 	Letni pravci 
Kriterij	< 35 % nagiba ekonomski okolišni		35 – 50 % nagiba ekonomski okolišni	

B) Područje kretnosti šumskih vozila s obzirom na nagib terena – Izvor: Visser i Stanpfer (2015)



Slika 1. Utjecaj nagiba terena na sustave pridobivanja drva i kretnost šumskih vozila



Slika 2. Utjecaj sustava pridobivanja drva na jedinične troškove

Početak ovog stoljeća dolazi do velikog interesa za opremanjem šumskih vozila dodatnim vitlom (u engleskom jeziku poznatom pod imenima »winch-assist«, »cable assist«, »tethered logging«), čije uže nema namjenu prihвата/sakupljanja drva, već sidrenja i/ili dodatne trakcije vozila, čime je harvesterima, forvarderima i skiderima omogućen siguran te djelotvoran rad na strmijim terenima.

Začeci ideje o opremanju vozila dodatnim vitlom sa sidreno – trakcijskim užem, kako bi se omogućila kretnost vozila na terenima većeg nagiba, javljaju se u vojnim eksperimentima 1950-ih godina. Prvi pokušaji korištenja i opremanja šumskih vozila vitlom sa sidreno – trakcijskim užem javljaju se 1978. godine. 1980-ih i 1990-ih broj eksperimenata se povećava da bi se koncem 1990-ih na tržištu pojavila prva ovako opremljena šumska vozila (Holzfeind i dr. 2020). Nakon tehničkih preinaka početnih prototipova, 2004. godine Herzog Forsttechnik AG plasira Forcar FC200, prvo tržišno prihvatljivo rješenje forvardera s vitlom i sidreno- trakcijskim užem (Holzfeind i dr. 2018)

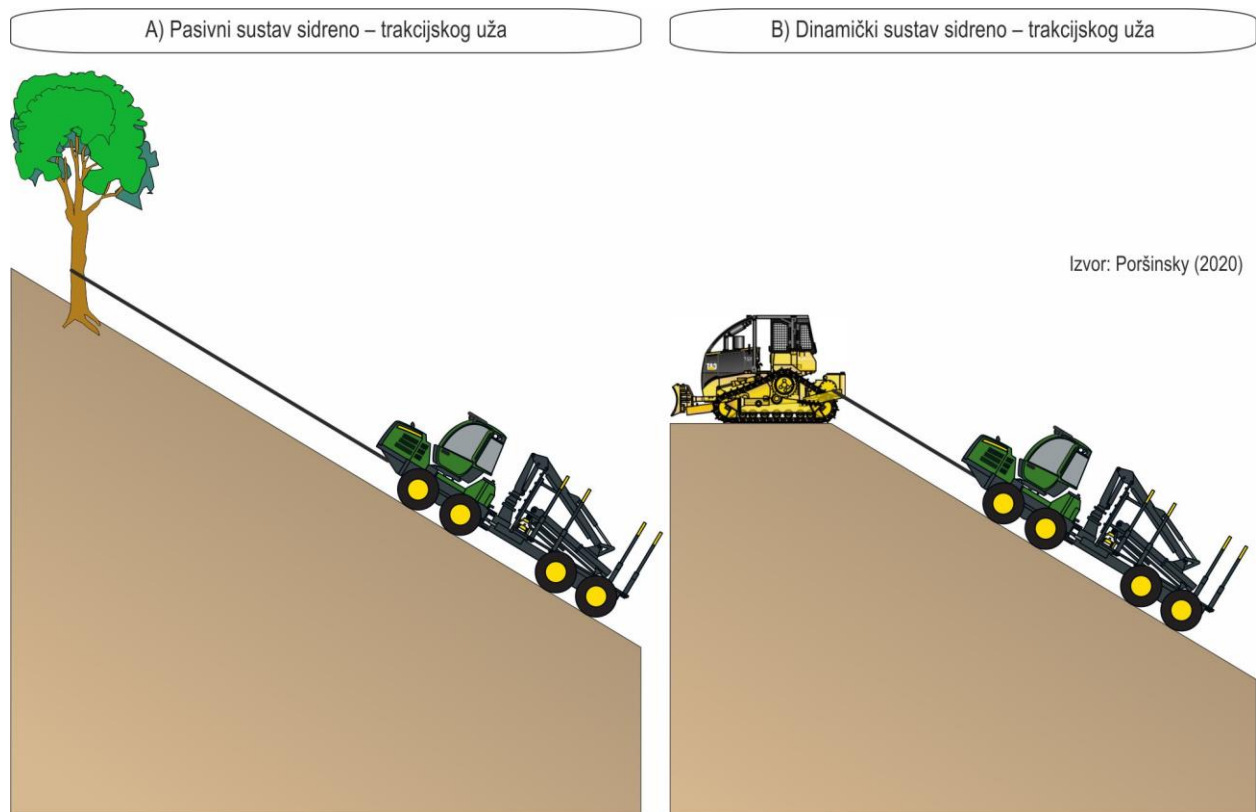
Osnovne ideje opremanja šumskih vozila vitlom sa sidreno – trakcijskim užem su: 1) djelotvoran i siguran rad šumskih vozila s obzirom na uzdužnu stabilnost na većim nagibima terena, 2) osiguranje dodatne trakcije vozila u uvjetima nepovoljne vlažnosti tla te 3) smanjenje oštećivanja šumskog tla uslijed proklizavanja kotača u uvjetima nepovoljne vlažnosti tla. Uz navedeno, pri korištenju harvestera i forvardera s vitlom i sidreno – trakcijskim užem, dolazi do smanjenja ozljeda na radu zbog izostanka potrebe za radnicima (sjekačima s motornom pilom ili kopčašima djelomično i/ili potpuno izrađenoga drva) zbog težnje ka potpuno mehaniziranom pridobivanju drva uz povećanja djelotvornosti te manjeg utjecaja na šumsko stanište.

Korištenje šumskih vozila s vitlom i sidreno – trakcijskim užem dolazi u dvije inačice (slika 3). Prva inačica, poznata pod nazivom »pasivni sustav« predstavlja ugradnju vitla sa sidreno – trakcijskim užem na šasiju šumskog vozila (slika 3A). Druga inačica,

poznata pod nazivom »dinamičan sustav« (slika 3B), uključuje dodatno vozilo ili stroj (npr. bager ili buldožer), koji na sebi ima vitlo s užetom pokretano vlastitim motorom.

Ugradnja vitla sa sidreno – trakcijskim užem na šumska vozila povećava masu vozila te navedenim smanjuje njegovu nosivost (forvarder). Ovaj sustav ne zahtjeva dodatno sidreno vozilo, ali se povećava utrošak vremena (de)montiranjem sidreno – trakcijskog uža na traktorskim vlakama strmih terena uz sidrenje na panjevima posječenih stabala ili žilištima/pridancima dubecih (neposječenih) stabala. Pasivni sustav tipičan je za europsko šumarstvo.

U slučaju »dinamičnog sustava«, smanjuje se utrošak vremena potrebnog za (de)montiranje sidreno – trakcijskog uža na traktorskim vlakama strmih terena jer sidreno vozilo (bager, buldožer) ima ulogu »sidrenoga stabla«. Ovaj sustav dodatno je opterećen troškovima dodatnoga sidrenog vozila, a tipičan je za američko i novozelandsko šumarstvo (Holzfeind i dr. 2020, Visser i Stampfer 2015).



Slika 3. Pasivni i aktivni sustav sidreno – trakcijskoga vitla forvardera

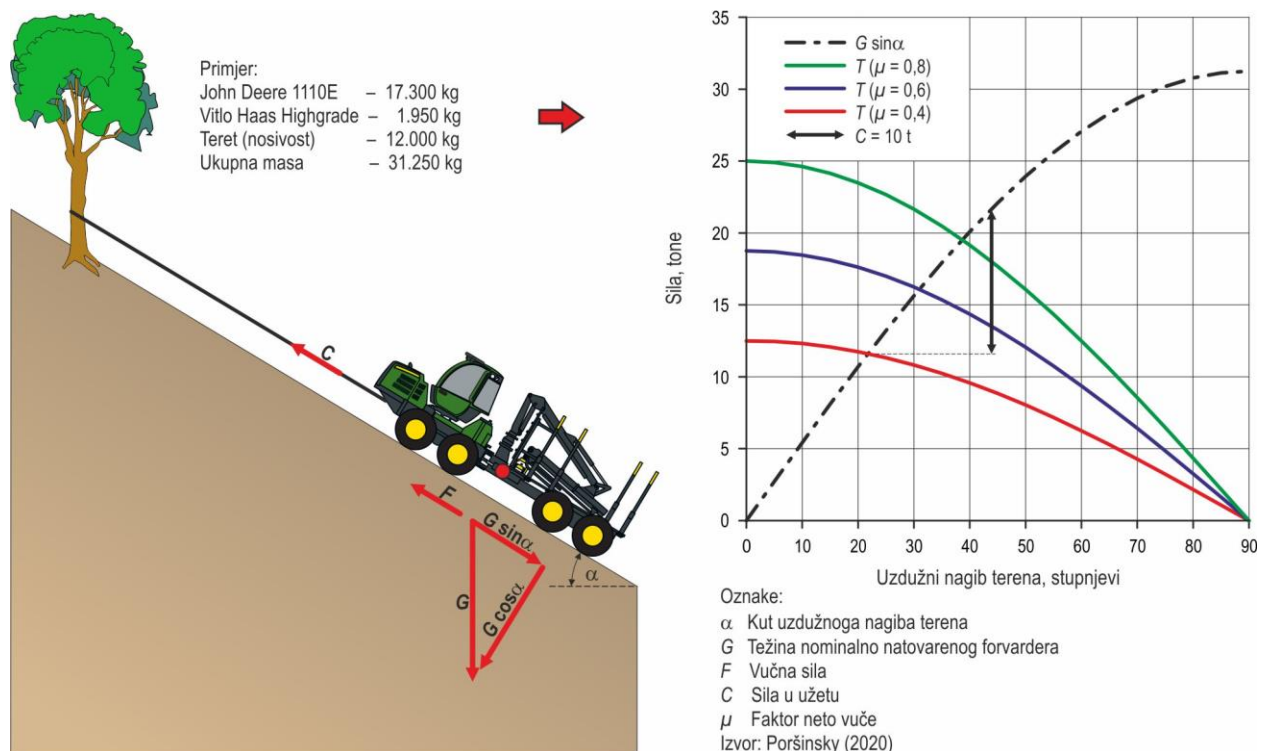
Posebno valja istaknuti, da pri korištenju šumskih vozila s vitlom i sidreno – trakcijskim užem, uže ne smije služiti kao faktor koji će omogućiti kretanje vozila po nagibu, već smije služiti samo kao dodatna oprema koja će poboljšati kretnost vozila na nagibima. Iz navedenoga se može zaključiti, da korištenje šumskih vozila s vitlom i sidreno – trakcijskim užem nije dozvoljeno na nagibima kod kojih vozilo gubi stabilnost i/ili kretnost bez pomoći sidreno – trakcijskog uža. Opća klasifikacija dopuštenih nagiba na kojima se smiju koristiti šumska vozila s vitlom i sidreno – trakcijskim užem ne postoji i varira po državama i vrstama šumskih vozila, ali se zato javljaju pojedini slučajevi gdje

sami proizvođači dodatno opremljenih šumskih vozila predlažu najveći dopušteni nagib, kao na primjeru proizvođača Komatsu koji sugerira korištenje šumskih vozila s vitlom i sidreno – trakcijskim užem do nagiba terena od 55 posto (Bosweell i dr. 2018, Visser i Stampfer 2015, Holzfeind i dr. 2019).

Cilj ovog diplomskog rada je presjekom literature do sada objavljenih znanstvenih radova obuhvatiti i opisati osnovne značajke izvoženja drva forvarderom s vitlom i sidreno – trakcijskim užem. Navedeno će se obraditi kroz: 1) raspored sila i opterećenja užetnog forvardera, 2) oblik pogodne sekundarne mreže šumskih prometnica, 3) djelotvornost izvoženja drva užetnim forvarderom te 4) okolišnu pogodnost užetnog forvardera.

## 2. Raspodjela sila i opterećenja užetnog forvardera

Prilikom kretanja forvardera uz nagib terena, kod užetnog forvardera obodna sila vozila dovedena sustavom transmisije na obod kotača vozila ( $F$ ) potpomognuta je vučnom silom sidreno – trakcijskog uža ( $C$ ), pri čemu su pogonski motor vozila i vitlo sa sidreno-trakcijskim užem sinkronizirani (slika 4). Sastavnice sidreno – trakcijskog mehanizma su: 1) vitlo s bubnjevima, 2) čelično uže promjera od 14 mm do 28 mm i duljine 400 – 500 m te 3) sintetičko (montažnog) uža koje služi kao pomoć pri razvlačenju vučnog (čeličnog) uža (Holzleitner i dr. 2018).



Slika 4. Teorijska raspodjela sila užetnog forvardera John Deere 1110D

Sila sidreno – trakcijskog uža ( $C$ ) veličina je koja ovisi o nazivnoj vučnoj sili vitla, ali i tehničkim značajkama vozila na koje je pričvršćeno. Na vučnu silu vozila ( $F$ ), osim njegovih performansi i djelovanja na tlo ( $G \times \cos \alpha$ ), kao ograničavajući čimbenik djeluje faktor neto vuče ( $\mu$ ), na čiju veličinu utječe nosivost podloge. Gravitacijska sila

koja djeluje nizbrdo, suprotno od smjera kretanja vozila, umnožak je težine vozila i sinusa kuta nagiba ( $G \times \sin \alpha$ ), čija se vrijednost povećava povećanjem kuta udužnoga nagiba terena –  $\alpha$  (Visser i Stampfer 2015).

Šumska vozila sa sidreno – trakcijskim užem predstavljaju relativan novitet u procesu pridobivanja drva. Shodno tome, za korištenje ovako opremljenih vozila još uvijek ne postoji općenito znanje i zakonitosti na koji način vlačno naprezanje, koje proizlazi iz njegova djelovanja, djeluje na sidreno – trakcijsko uže. Prilikom istraživanja navedene problematike, dosadašnji radovi istraživača prezentirali su rezultate ispitivanja provedenih u unaprijed dogovorenim uvjetima i na taj način isključili mogućnost korištenja rezultata istraživanja kao opće zakonitosti koje se pojavljuju korištenjem sidreno – trakcijskog uža (Holzleitner i dr. 2018).

Kao jedan takav primjer istraživanja kojim se opisuje opterećenje sidreno – trakcijskog uža prilikom rada forvardera jest onaj Franza Holzleitnera, Maximiliana Kastnera, Karla Stampfera, Norbert Hollera i Christiana Kanziana iz 2018. u kojemu su istraživana opterećenja sidreno – trakcijskog uža pri pojedinim radnim zahvatima izvoženja drva forvarderom. Istraživanje je provedeno pri proredi, odnosno sanaciji sastojine obične smreke nakon vjetroloma, na forvarderu John Deere 1110E dodatno opremljenim sidreno – trakcijskim sustavom proizvođača Haas Maschinenbau GmbH (nazivna vučna sila vitla 9 t, sidreno – trakcijsko uže promjera 14 mm i duljine 500 m). Najveća prekidna čvrstoća sidreno – trakcijskog uža iznosila je 181 kN, pri čemu je u obzir uzet faktor sigurnosti 2 sukladno standardu ISO 19472-2, koji navodi kako prilikom korištenja sidreno – trakcijskog uža na šumskim vozilima, opterećenje uža ne smije premašivati 33 % od ukupne prekidne čvrstoće uža.

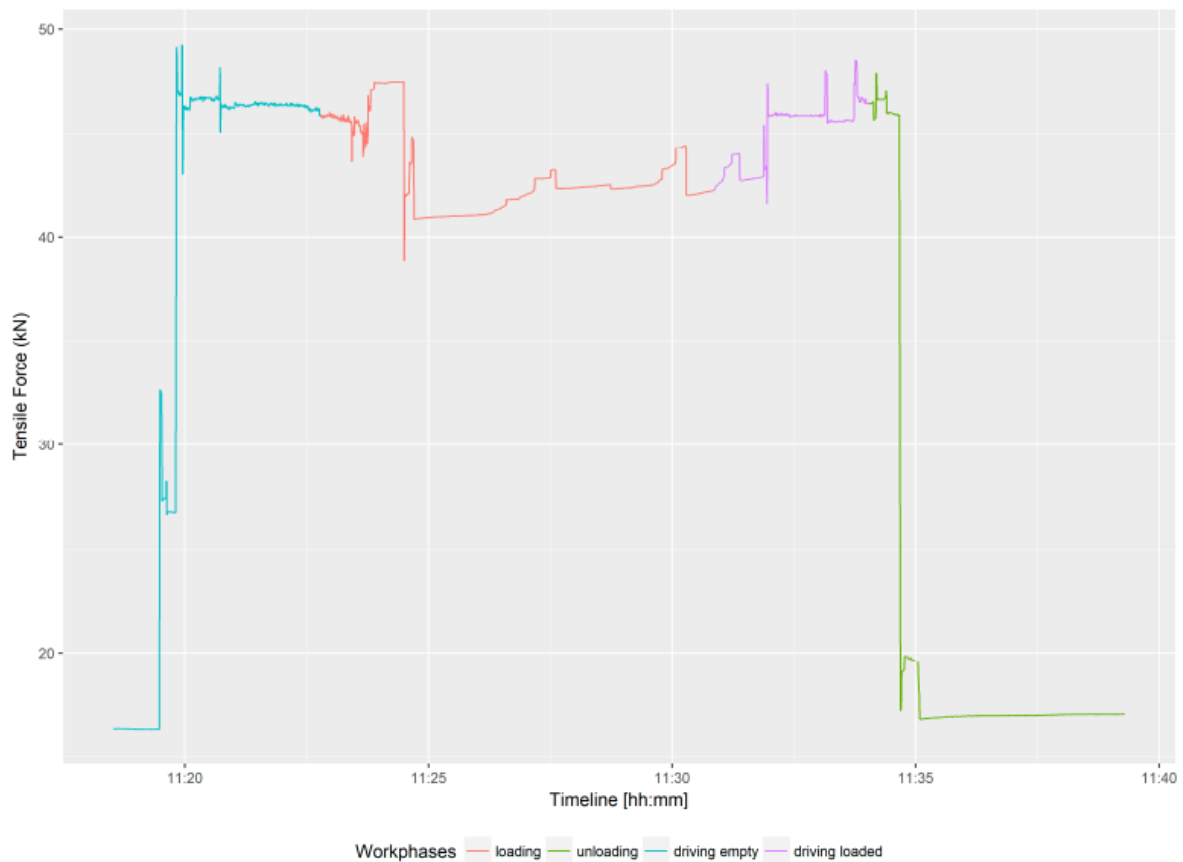
Opterećenje sidreno – trakcijskog uža tijekom izvoženja drva užetnim forvarderom nije konstantno i ovisi o vrsti radnih sastavnica. Radi lakšeg uočavanja i bilježenja naprezanja u sidreno – trakcijskom, ciklus izvoženja drva forvarderom podijeljen je u sedam radnih sastavnica: 1) Neopterećeno kretanje forvardera, 2) Utovar drva hidrauličkom dizalicom, 3) Premještanje forvardera pri utovaru drva, 4) Opterećeno kretanje forvardera, 5) Rad dizalicom bez utovara drva, 6) Istovar drva hidrauličkom dizalicom te 7) Prekidi rada.

Istraživanje je trajalo 7,2 sata, tijekom kojega je drvo izvoženo u 16 forvarderskih ciklusa, na prosječnom uzdužnom nagibu terena između 40 i 58 %, a rezultati istraživanja su ukazali da na radne sastavnice utovara i istovara drva otpada 58,5 % ukupnog vremena, a na kretanje (ne)opterećenoga forvardera 28,4 % ukupnog vremena.

Sile koje se javljaju u sidreno – trakcijskome užu tijekom utovara drva 97 % su veće od onih prilikom istovara. Najveća zabilježena sila opterećenja sidreno – trakcijskog uža bila je 56 kN, odnosno 30,9 % od deklarirane prekidne čvrstoće uža, što odgovara propisanim sigurnosnim normama ISO 19472-2 standarda.

Prosječna zabilježena opterećenja uža, ovisno o radnim sastavnicama, bila su između 5 i 11 % te 22 i 28 % od prekidne čvrstoće sidreno – trakcijskoga uža. Manji iznosi javljali

su se pri prekidima rada te istovaru drva hidrauličnom dizalicom, dok su veći iznosi vezani uz kretanje (ne)opterećenoga forvardera i utovara drva hidrauličkom dizalicom.



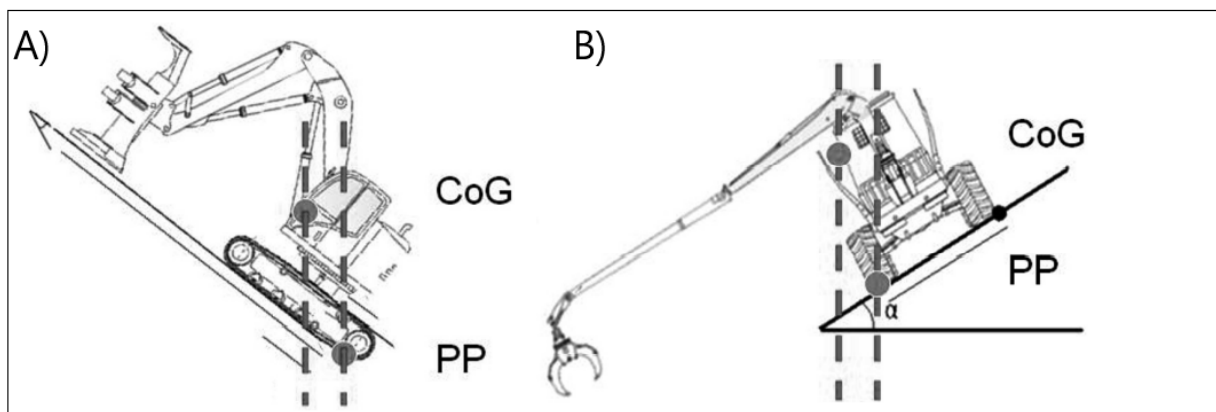
Slika 5. Prikaz opterećenja sidreno – trakcijskog uža (Holzleitner i dr. 2018)

Izvoženje drva forvarderom na nagnutim terenima ograničeno je kutevima uzdužne i bočne stabilnosti vozila uslijed visine težišta nominalno natovarenoga forvardera te raspodijele opterećenja po osovina vozila (South African Ground Based Harvesting Handbook 2010).

Radi osiguranja stabilnosti vozila na većim nagibima, forvarder ne smije koristiti puni kapacitet svog tovarnog prostora, što rezultira smanjenom produktivnošću forvardera porastom nagiba terena (Holzfeind i dr. 2020).

Problem koji je javlja za vrijeme kretanja opterećenoga forvardera uz nagib je nepravilan raspored opterećenja osovina, to jest izrazito veće opterećenje stražnjih osovina. Za vrijeme izvoženja drva na nagnutim terenima, forvarder koristi onaj postotak tovarnog prostora čijim popunjavanjem i opterećenjem neće doći do ugroze udužne ravnoteže vozila, odnosno do prelaženja točke težišta preko točke prekretanja (slika 6).





Slika 6. Odnosi točke težišta i točke prekretanja šumskih vozila na nagnutim terenima: A) vozilo se kreće uzdužno po nagibu, B) Vozilo se kreće okomito na nagib (Visser i Stampfer 2015)

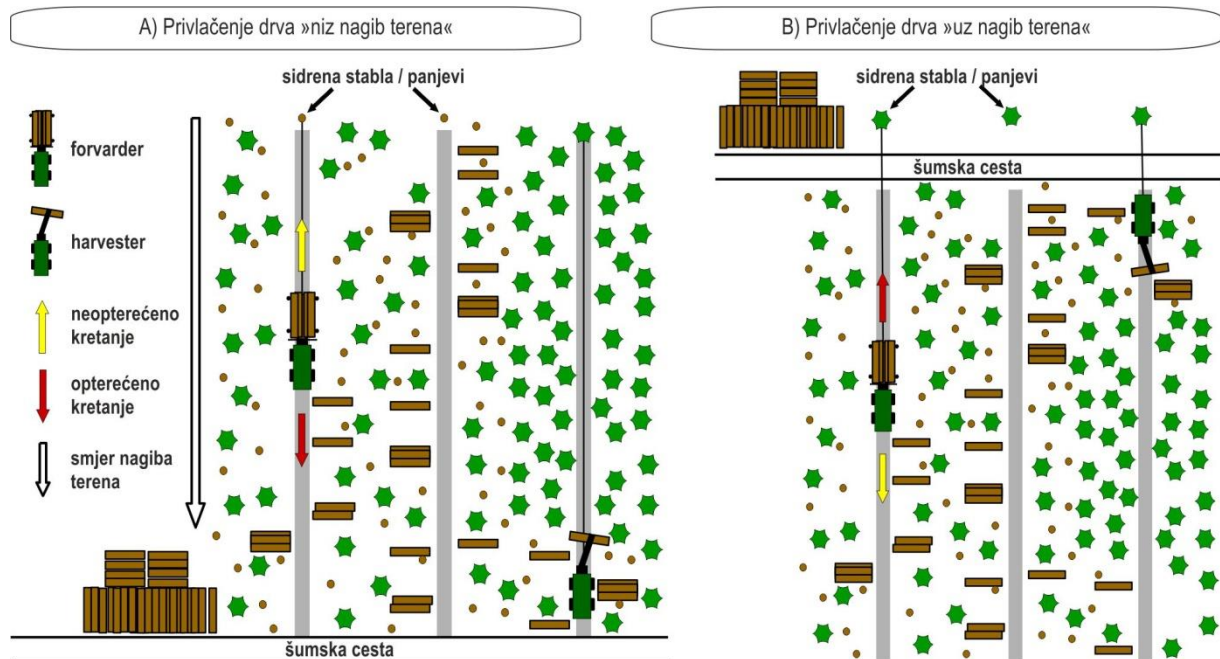
Uz uobičajene sigurnosne prijedloge za rad forvardera (izbjegavati prelaženja preko prepreka, ne podizati teret težine veće od mogućnosti vozila, osigurati što veću blizinu dohvata tereta), za vrijeme rada na nagibima ističu se oni prijedlozi vezani uz bočnu stabilnost forvardera. Zbog toga u preporukama za korištenje mehanizma sidreno – trakcijskog uža, FPInnovations priručnik navodi kako je kretanje forvardera dozvoljeno samo uz i niz nagib, a nikako paralelno sa slojnicama. Uz tu preporuku stoji i upozorenje za izbjegavanje okretanja vozila dok se ono nalazi na nagibu (Boswell i dr. 2018). Navedena upozorenja proizlaze iz spoznaje o visokoj točki težišta utovarenog forvardera i njenom nepovoljnom položaju u odnosu na točku prekretanja dok je vozilo pozicionirano okomito od smjera pružanja nagiba (Visser i Stampfer 2015).

### 3. Oblik pogodne sekundarne mreže šumskih prometnica

Forvarder sa sidreno- trakcijskim užem koristi se pri potpuno mehaniziranom sustavu pridobivanja drva, što uključuje i vozilo za sječu i izradbu drva – harvester. Prije početka rada forvardera, na predviđene trase budućeg prolaska vozila dolazi harvester koji vrši sječu stabala i time stvara negrađenu mrežu sekundarnih šumskih prometnica – traktorske vlake. Međusoban razmak paralelnih traktorskih vlaka određen je dvostrukim dosegom hidrauličnih dizalica harvestera i forvardera, a širina vlaka od 4 m širinom ovih vozila. Smjer pružanja traktorskih vlaka paralelan je sa smjerom pružanja nagiba i okomit na smjer pružanja slojnica, odnosno šumsku cestu (Holzfeind i dr. 2018).

Dolaskom na početak trase započinje sidrenje samog forvardera. U Europskoj inačici mehanizma sidreno – trakcijskog uža, za sidrenje se koriste sidrena stabla ili panjevi. Stabla ili panjevi predodređeni za sidrenje moraju se nalaziti iznad same predviđene trase kako bi kretanje po samoj trasi bilo moguće. Stabla ili panjevi koji će se koristiti za sidrenje vozila moraju biti pomno odabrani i prekontrolirani te se moraju nadgledati tijekom cijelog zahvata privlačenja kako bi se izbjegla moguća opasnost uzrokovana izvaljivanjem sidrenog stabla ili panja. Za sidrenje forvardera prilikom proreda u šumama koristi se nekoliko stabala zbog malih iznosa prsnih promjera, a tijekom

zahvata dovršnog sijeka koristi se odabrano stablo ili panj većih dimenzija (Boswell i dr. 2018, Holzfeind i dr. 2018).



Slika 7. Prikaz pravilnog paralelnog rasporeda sekundarnih šumskih prometnica i kretanja vozila A) niz nagib terena i B) uz nagib terena. (Poršinsky 2020 prema Holzfeindu i dr. 2018)

Sidrenje vozila obavlja se privlačenjem čeličnog uža do remena omotanog oko stabla pomoću sintetičkog uža kojeg postavlja radnik ili na način da se čelično uže privuče pomoću harvester (Holzfeind i dr. 2018).

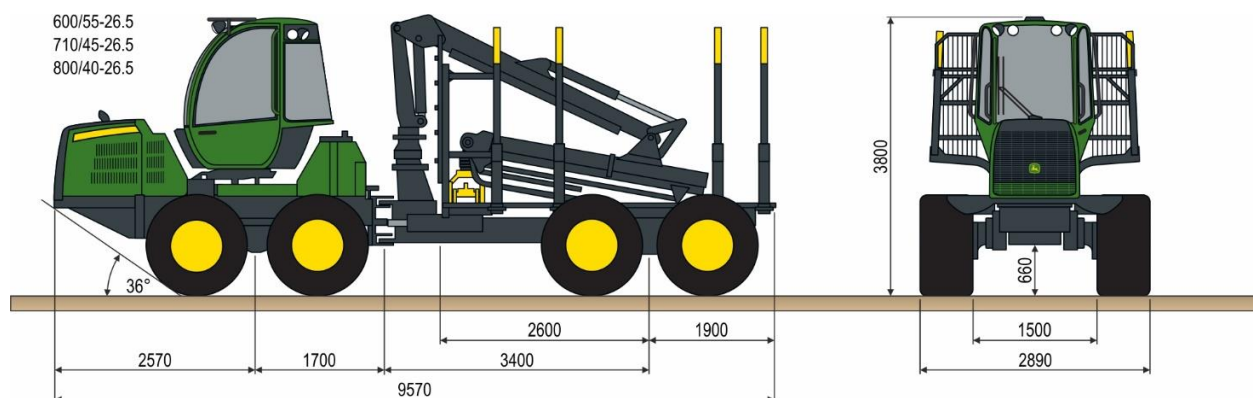
U slučaju da se tijekom izvoženja drva forwarderom želi prijeći u iduću traktorsku vlak, potrebno ga je otkopčati sa dosadašnjeg mjesta sidrenja i, ako je na radilištu osigurano, posebnim spojnim prolazom prijeći u iduću trasu. Ako prolaz između dviju trasa nije osiguran, onda forwarder mora vratiti na šumsku cestu i ponovno ući u željenu traktorsku vlak. Spojni prolazi uvijek se postavljaju dijagonalno zbog opasnosti koju predstavlja kretanje šumskih vozila paralelno sa smjerom pružanja slojnica (Holzfeind i dr. 2018).

Uslijed dolaska šumskih vozila na trase sekundarnih šumskih prometnica unutar sastojine, problem predstavlja savladavanje strmog pokosa iskopa šumske ceste. Pokos iskopa šumske ceste učestala je pojava u brdskim i gorskim predjelima iz razloga što je zasjek, kombinacija nasipa i iskopa, česta varijanta projektiranja šumskih prometnica u tim reljefnim područjima. Prevladavanje prepreke tog vida forwarderu je omogućeno pomoću kotača u tandem rasporedu udvojenih osovina forvardera (eng. boggie) zbog čega ne dolazi do nasjedanja vozila na vrhu pokosa, dok je stalna trakcija potrebna za savladavanje tog nagiba osigurana sidreno – trakcijskim užom kojim je forwarder usidren (Poršinsky 2020).

## 4. Djelotvornost izvoženja drva užetnim forvarderom

Prikaz djelotvornosti izvoženja drva užetnim forvarderom zasnovan je na istraživanju Holzfeind i dr. (2018). Istraživanje je provedeno u tri sastojine obične smreke s primjesom ariša, bora i bukve. Starosti prorednih sastojina iznosile su 40 i 50 godina, dok je starost sastojine u kojoj se je provodila čista sječa iznosila 100 godina.

Pri istraživanju korišten je forvarder John Deere 1110E, s ugrađenim vitlom i sidreno – trakcijskim užem proizvođača HAAS Maschinenbau GmbH & Co KG, model »Highgrade«.



Slika 8. Dimenzijske značajke forvardera John Deere 1110E

John Deere 1110E je srednje teški osmokotačni forvarder, nominalne nosivosti 12 t, mase 17.300 kg, čije su gabaritne dimenzije, te značajke standardih (užih) i opsijskih (širih) pneumatika, prikazane na slici 8. Forvarder je opremljen zakretno-žiroskopskom kabinom s kutovima zakretanja 290°/10°/6°.

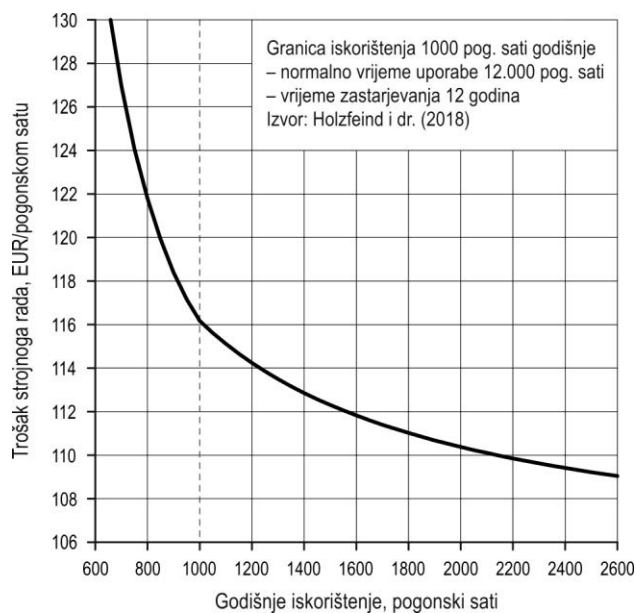
Vozilo pokreće šestocilindarski dizelski motor s prednabijanjem, zapremnine 6.800 cm<sup>3</sup>, nazivne snage 136 kW pri 1900 min<sup>-1</sup> i 780 Nm najvećega momenta pri 1400 min<sup>-1</sup>. Transmisija je hidrostatsko-mehanička. Forvarder je opremljen hidrauličnom dizalicom CF5, dosega 10 m i bruto podiznog momenta 102 kNm. Zakretni moment hidrauličke dizalice iznosi 24 kNm, dok je kut zakretanja 380°.

Forvarder John Deere 1110E opremljen je vitlom sa sidreno – trakcijskim užem Highgrade mase 1950 kg te nazivne vučne sile od 90 kN. Sidreno – trakcijsko uže promjera je 14 mm i duljine 450 m. Prekidna čvrstoća sidreno – trakcijskog uža iznosi 211 kN, a jedinična masa 0,94 kg/m'. Pomoćno sintetičko uže, promjera 6 mm i duljine 300 m, namjenjeno je isključivo kao pomoć pri razvlačenju sidreno – trakcijskog uža uzduž traktorske vlake.

Nabavna cijena forvardera John Deere 1110E iznosi 290.000 €, a vitla sa sidreno – trakcijskim užem Highgrade 75.000 €, što čini 365.000 € nabavne cijene ovog užetnog forvardera. Kalkulaciju troška strojnoga rada ovisno o broju pogonskih sati godišnje prikazuje slika 10.



Slika 9. Forvarder sa sidreno – trakcijskim užem u radu



Slika 10. Ovisnost troška strojnoga rada o broju pogonskih sati godišnje

Osim nabavne cijene, kalkulacija troška strojnoga rada zasnovana je na: 1) normalnom vremenu uporabe forvardera od 12.000 pogonskih sati, 2) vremenu zastarjevanja forvardera od 12 godina, 3) kamatne stope od 5 %, 4) faktora troška popravaka i održavanja forvardera od 0,8, 4) troška osiguranja forvardera od 600 € godišnje, 5) troška garažiranja od 1350 € godišnje te 6) potrošnja goriva od 8 dm<sup>3</sup> po pogonskom satu uz 7) cijenu dizel goriva od 1,3 € po dm<sup>3</sup>. Kalkulacija strojnog rada, zasnovana je i na pokazateljima pneumatika 710/45-26.5 kojima je opremljen ovaj užetni forvarder: 1) nabavnoj cijeni kompleta od 18.581 €, 2) normalnom vremenu uporabe od 5.800 pogonskih sati te 3) vremenu zastarjevanja od 12 godina. Isto tako, kalkulacija strojnoga rada užetnoga forvardera temeljila se i na ulaznim podacima vezanim za sidreno – trakcijsko uže (450 m, Ø 14 mm): 1) nabavna cijena od 1350 €, 2) normalno vrijeme uporabe od 500 pogonskih sati te 3) vremenu zastarjevanja od 4 godine.

Istraživanje proizvodnosti izvoženja drva užetnim forvarderom provedeno je primjenom metoda studija rada i vremena uz podjelu radnoga vremena na slijedeće radne sastavnice: 1) Neopterećeno kretanje forvardera, 2) Utovar drva hidrauličkom dizalicom s premeštanjem forvardera pri utovaru drva, 4) Opterećeno kretanje forvardera, 5) (De)montiranja sidreno – trakcijskog uža, 6) Prekida rada > 15 minuta, 7) Prekida rada < 15 minuta, 8) Razvrstavanja drva na pomoćnome stovarištu te 8) Čišćenja pomoćnoga stovarišta od granja i kamenja.

Ukupno vrijeme istraživanja iznosilo je 41,18 sati, pri čemu je izvezeno užetnim forvarderom 693.4 m<sup>3</sup> drva, odnosno 6825 izrađenih drvnih sortimenata u 75 turnusa (ciklusa) forvardera. Prosječan obujam izrađenoga drva iznosio je 0.10 m<sup>3</sup> po komadu (sortimenti su izrađivani u duljinama od 3 m, 4 m te 5 m), odnosno prosječan obujam tovara forvardera iznosio je 9.25 m<sup>3</sup>. Srednja udaljenost privlačenja drva iznosila je 111 m uz prosječan nagib traktorske vlake od 29 %. Prosječna duljina 18 traktorskih vlaka obuhvaćenih istraživanjem iznosila je 129.5 m sa prosječnim nagibom od 50,6 %. Prosječan nagib srednje udaljenosti privlačenja drva je niži od prosječnog nagiba

traktorskih vlaka iz razloga što se je tijekom izvoženja drva užetni forvarder kretao po pomoćnome stovarištu šumske ceste koji je imao manji nagib (prosječno 32 m duljine i 4,8 % uzdužnoga nagiba). Sječna gustoća po traktorskoj vlaci iznosila je 38.5 m<sup>3</sup>, odnosno 0,3 m<sup>3</sup> po metru tekućem traktorske vlake.

Od ukupnog istraživanoga vremena rada užetnoga forvardera (41,18 sati), na utrošak vremena (de)montiranja sidreno – trakcijskog uža na 18 traktorskih vlaka, otpalo je 3,89 sati, odnosno 9,45 % ukupnoga vremena rada. Prosječni utrošak vremena (de)montiranja sidreno – trakcijskoga uža po traktorskoj vlaci iznosio je 21,6 minuta.

Prosječni utrošak vremena kretanja neopterećenoga forvardera iznosio je 3,7 minute po turnusu, utovara drva 12 minuta po turnusu, kretanja opterećenoga forvardera 3 minute po turnusu te istovara drva 6,2 minute po turnusu. Prosječna proizvodnost užetnoga forvardera tijekom istraživanja iznosila je 16,84 m<sup>3</sup> po pogonskom satu rada.

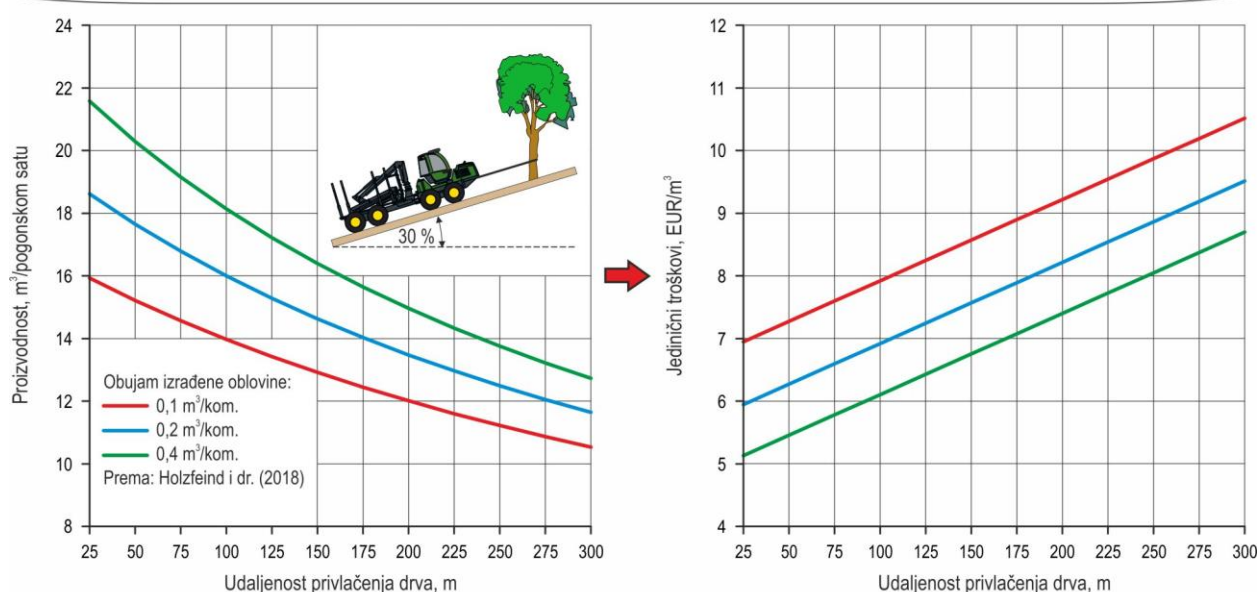
Na osnovi snimljenih podataka, Holzfeind i dr. (2018) razvijaju model proizvodnosti užetnoga forvardera John Deere 1110E (izraz 1), po sljedećim pretpostavkama: 1) utrošci vremena (ne)opterećenoga kretanja forvardera po m<sup>3</sup> ovisni su o srednjoj udaljenosti i nagibu privlačenja drva, nagibu traktorske vlake te obujmu tereta, 2) utrošci vremena utovara drva po m<sup>3</sup> ovisni su o prosječnom obujmu izrađenoga drva, udaljenosti premještanja forvardera pri utovaru drva te nagibu traktorske vlake, 3) utrošci vremena istovara drva po m<sup>3</sup> ovisni su o prosječnom obujmu izrađenoga drva.

$$Prod = \frac{60}{1,3 \cdot \left( \frac{0,05 \cdot s_1 + 0,037 \cdot n}{9,25} + 1,117 \cdot kom^{-0,3} + 0,012 \cdot s_2 \right)} \left[ \frac{m^3}{PMH_{15}} \right] \quad (1)$$

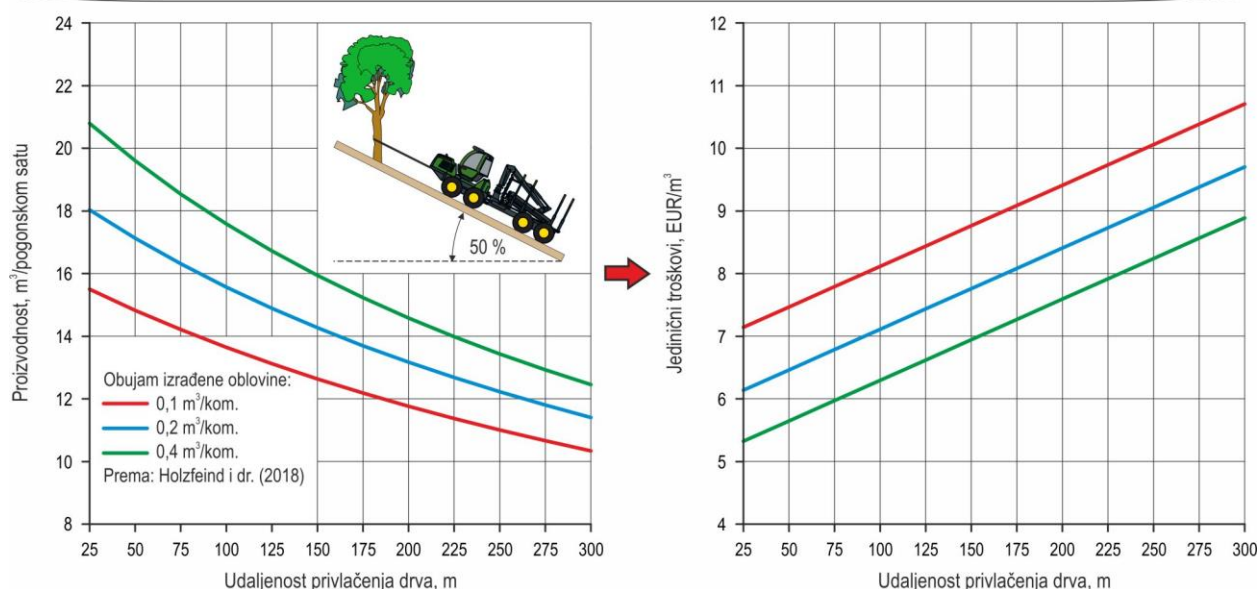
gdje su:

- $s_1$  Srednja udaljenost privlačenja drva, m
- $s_2$  Udaljenosti premještanja forvardera pri utovaru drva, m
- $n$  Nagib traktorske vlake, %
- $kom$  Prosječni obujam izrađenoga drva, m<sup>3</sup> po sortimentu

A) Djelotvornost užetnoga forvardera John Deree1110E na nagibu traktorske vlake od 30 %



B) Djelotvornost užetnoga forvardera John Deree1110E na nagibu traktorske vlake od 50 %



Slika 11. Prikaz djelotvornosti užetnoga forvardera John Deere 1110E

Na osnovi izraza 1, oblikovana je proizvodnost i jedinični troškovi izvoženja drva užetnim forvarderom John Deere 1110E s obzirom na udaljenost privlačenja drva od 25 m do 300 m, prosječne obujme izrađenoga drva od 0,1 m<sup>3</sup>/kom, 0,2 m<sup>3</sup>/kom i 0,4 m<sup>3</sup>/kom te nagibe traktorske vlake od 30 % (slika 11A) i 50 % (slika 11B).

Za izračun jediničnoga troška izvoženja drva užetnim forvarderom korištena je kalkulacija troška strojnoga rada ovoga šumskog vozila od 110,68 € po pogonskom satu koja odgovara iskorištenju forvardera pri 1900 pogonskih sati godišnje (slika 10).

Neovisno o nagibu traktorske vlake, povećanjem udaljenosti privlačenja drva, ali i smanjenjem obujma izrađenoga drva, proizvodnost užetnoga forvardera opada, a jedinični troškovi izvoženja drva rastu, što je u skladu s prethodnim istraživanjima.

Kod udaljenosti privlačenja drva 200 m i obujmu izrađenoga drva od 0,4 m<sup>3</sup>/kom. na traktorskoj vlaci nagiba 30 % proizvodnost forvardera iznosi 15,0 m<sup>3</sup>/PMH<sub>15</sub> uz jedinične troškove od 7,4 €/m<sup>3</sup> (slika 11A). Uspoređujući istu udaljenost privlačenja drva i obujam izrađenoga drva na traktorskoj vlaci nagiba 50 %, proizvodnost forvardera blago pada te iznosi 14,6 m<sup>3</sup>/PMH<sub>15</sub>, a jedinični troškovi su u blagome porastu od 7,6 €/m<sup>3</sup> (slika 11B). Navedenim, uočava se manji utjecaj porasta nagnutosti traktorskih vlaka na djelotvornost izvoženja drva užetnim forvarderom u odnosu na pad obujma izrađenoga drva, koji je u literaturi prepoznat kao nepovoljno djelovanje zakonitosti obujma komada.

Konvencionalan forvarder na nagnutim terenima postiže produktivnost do 7,8 m<sup>3</sup>/PMH<sub>15</sub> u proredama, do 18,9 m<sup>3</sup>/PMH<sub>15</sub> u prebornom sjeku, a pri novozelandskim čistim sječama proizvodnost konvencionalnog forvardera doseže 42,7 m<sup>3</sup>/PSH (Holzfeind i dr. 2018 prema Proto i dr. 2018).

U istraživanju kojim se usporedio rad konvencionalnog forvardera i forvardera opremljenog sidreno – trakcijskim užem, za iste uvjete i isti prosječni obujam komada (0,22 m<sup>3</sup>), utvrđeno je kako proizvodnost konvencionalnog forvardera doseže iznos od 19,7 m<sup>3</sup>/PMH<sub>15</sub>, dok za užetni forvarder ona iznosi maksimalno 16 m<sup>3</sup>/PMH<sub>15</sub>. Činioci koji utječu na proizvodnost su: 1) model vozila, 2) prosječni obujam komada, 3) srednja udaljenost privlačenja drva, 4) uzdužni nagib terena i 5) broj komada u tovaru; no u navedenom istraživanju glavnu prevagu u proizvodnosti između ova dva tipa forvardera činilo je sidreno – trakcijsko uže koje umanjuje proizvodnost užetnog forvardera naspram konvencionalnog forvardera radi utroška vremena na sidrenje vozila (Holzfeind i dr. 2018 prema Bacher – Winterhalter 2004).

Istraživanje usporedbe proizvodnosti privlačenja drva žičarom i forvarderom sa sidreno – trakcijskim užem, kod istog prosječnog obujma komada izrađenoga drva (0,15 m<sup>3</sup>), proizvodnost iznošenja drva žičarom iznosila je 17,7 m<sup>3</sup>/PMH<sub>15</sub>, a forvardera sa sidreno – trakcijskim užem 14,9 m<sup>3</sup>/PMH<sub>15</sub>. Iako je proizvodnost žičare veća, jedinični trošak užetnog forvardera je za 3,5 €/m<sup>3</sup> manji. Cijena troška jednog pogonskog sata žičare iznosi 196,4 €, što je znatno više od prosječne cijene troška pogonskog sata užetnog forvardera. Glavnu razliku u trošku privlačenja drva čine utrošci vremena (de)montiranja trase žičare, čije trajanje zna biti i do 18 sati. S obzirom na razliku u cijeni između žičare i forvardera sa sidreno – trakcijskim užem, postavlja se zaključak da je isplativije, u uvjetima gdje je to moguće, privlačenje drva obavljati forvarderom (Holzfeind i dr. 2018 prema Stampfer i Steinmüller 2004).

## **5. Okolišna pogodnost užetnog forvardera**

Djelotvornost i financijska isplativost čine važnu ulogu prilikom odlučivanja izbora sredstva privlačenja drva u određenim radnim uvjetima, no utjecaj rada na stanište, dugoročno gledajući zbog težnje za potrajnim gospodarenjem, predstavlja isto tako čimbenik odluke odabira sredstva. Šumsko tlo, kao jedan od temeljnih uvjeta kvalitetnog rasta i razvoja šuma, ne smije se dovesti u stanje ugroze ili trajnog



oštećenja jer dugoročno gledajući gubici proizišli iz narušenog stanja tla znatno su veći od kratkotrajne financijske isplativosti ostvarene nauštrb staništa.

Posljedice koje se javljaju za vrijeme korištenja šumskih vozila naizraženije su u vidu gaženja i sabijanja tla, dubine kolotruga vozila i erozijskih procesa. Sabijanje tla i kolotrži su oštećenja vidljiva odmah po prolasku vozila, dok se erozijski procesi na strmim terenima kao posljedica mogu pojaviti naknadno nakon viešegodišnjega djelovanja oborina.

Dosadašnja praksa zaštite i očuvanja šumskog tla iz perspektive privlačenja drva šumskim vozilima odnosila se na pravilnu uporabu radnih strojeva i korištenje dodatne opreme kojom bi se umanjio negativan utjecaj na tlo. Načini kojima su se postizali povoljniji uvjeti rada bili su odabir odgovarajućih pneumatika, korištenje lanaca radi povećanja trakcije, korištenje gusjenica i polugusjenica za postizanje veće dodirne površine vozila s tlom (Sutherland 2003). Pojavom vitla sa sidreno – trakcijskim užem, dolazi do nove razine okolišne pogodnosti rada šumskih vozila iz razloga što je sidrenjem vozila osigurana značajna trakcija između vozila i tla (Holzfeind id r. 2020) i na taj način osjetno smanjeno proklizavanje kotača vozila, koje je jedan od uzroka oštećenja šumskoga tla.

Istraživanje utjecaja užetnog forvardera na tlo pri čistoj sječi plantaže eukaliptusa u Brazilu (Garren i dr. 2019), provedeno je na uzdužnim nagibima terena između 27 % i 38 %, raspoređenim u tri razreda nagiba (manji nagib – 27° do 31°, srednji nagib – 31° do 35°, veliki nagib – 35° do 38°), pri izvoženju drva sa dva užetna forvardera (pasivan sustav – John Deere 1910E opremljen vitlom HAAS s sidreno – trakcijskim užem te aktivan sustav – John Deere 1910E sa samostojećim vitlom Ecofrost TW182 20.1 T-Winch). Na terenima većeg razreda nagiba (od 35° do 38°), nije se radio forvarder opremljen HAAS vitlom zbog preporuke proizvođača o najvećem dozvoljenom nagibu terena > 35°.

A) Polugusjenica Olofsfors SOFT »neagresivna polugusjenica«



B) Polugusjenica Olofsfors EX »agresivna polugusjenica«



Izvor: [www.olofsfors.com](http://www.olofsfors.com)

Slika 12. Polugusjenice Olofsfors SOFT i EX

Prednji i stražnji kotači udvojenih poluosovina užetnog forvardera, opremljeni su sa dva tipa polugusjenica (slika 12), koje su se razlikovale s obzirom na korak zgloba polugusjenice te oblik i širinu pločica polugusjenica. Polugusjenica Olofsfors SOFT

razvijena je za ravne terene ograničene nosivosti sa »neagresivnim« djelovanjem na šumsko tlo (slika 12A), dok je polugusjenica Olofsfors EX razvijena je za nagnute terene ograničene nosivosti, ali sa »agresivnim« djelovanjem na šumsko tlo (slika 12B).

Cilj ovog istraživanja bio je valorizirati utjecaj višekratnih prolazaka forvardera po traktorskoj vlaci na prirodnu gustoću tla, dubinu kolotruga i erozijske procese.

Područje na kojemu se istraživanje provodilo nalazi se između 500 i 1500 metara nadmorske visine, sa godišnjom količinom oborina od 1235 mm (kiše, najučestalije između listopada i ožujka), a po Koppenovoj klimatskoj klasifikaciji spada u kategoriju Aw (tropska savanska klima sa suhim zimama). Po granulometrijskom sastavu, šumsko tlo je bilo pjeskovita glina do pjeskovita ilovača. Uzorci šumskog tla u nenarušenom stanju (valjci) uzimani su sa dubine tla od 6,5 cm (prijelaz humusno – akumulativnog u eluvijalni horizont tla), i to: 1) izvan traktorskih vlaka (kontrolno mjerenje), 2) u kolotrugu traktorskih vlaka te 3) između kolotruga na traktorskim vlakama.

Uspoređujući polučene rezultate (Garren i dr. 2019) utvrđuju najveće razlike u odnosu na kontrolno mjerenje kod uzoraka uzetih iz kolotruga traktorskih vlaka. Na rezultate neznatan utjecaj imali su: 1) ukupna težina forvardera i tip sidreno – trakcijskog sustava, 2) vrsta korištenih polugusjenica te 3) broj prolazaka forvardera. Posebno valja istaknuti da je nagib terena bio najznačajniji utjecajni čimbenik promjena prirodne gustoće šumskog tla (Tablica 1). Na manjim nagibima, prirodna gustoća tla varira od 1,24 do 1,58 g/cm<sup>3</sup>. Na srednjim nagibima, dobivene vrijednosti izmjere nalaze se u rasponu od 1,32 do 1,54 g/cm<sup>3</sup>, a najmanja razlika u dobivenim rezultatima javlja se na velikim nagibima, čije se izmjerene vrijednosti kreću od 1,30 do 1,41 g/cm<sup>3</sup>

Tablica 1. Promjena prirodne gustoće tla nakon prolaska vozila (Garren i dr. 2019)

Prirodna gustoća tla (g/cm <sup>3</sup> )				
Kategorija nagiba terena	Korišteno sredstvo rada	Mjerenje van traktorske vlake	Mjerenje na kolotrugu	Mjerenje između kolotruga
Manji nagib terena (27° do 31°)	TWINCH SA SOFT	1,27	1,40	1,29
	TWINCH SA EX	1,24	1,45	1,35
	HAAS SA SOFT	1,33	1,54	1,37
	HAAS SA EX	1,31	1,58	1,35
Srednji nagib terena (31° do 35°)	TWINCH SA SOFT	1,46	1,54	1,45
	TWINCH SA EX	1,32	1,36	1,33
	HAAS SA SOFT	1,42	1,46	1,43
	HAAS SA EX	1,35	1,44	1,41
Veliki nagib terena (35° do 38°)	TWINCH SA SOFT	1,31	1,41	1,34
	TWINCH SA EX	1,30	1,39	1,34

U usporedbi sa rezultatima istraživanja u kojemu je ispitivan utjecaj privlačenja drva skiderom na nagnutim terenima, a čije dobivene vrijednosti ukazuju na povećanje prirodne gustoće tla s 0,91 na 1,23 g/cm<sup>3</sup> na nagibima većim od 11°, može se ustvrditi kako je izvoženje drva forvarderom s ugrađenim sidreno-trakcijskim užem na terenima

većeg nagiba pogodnije za tlo od privlačenja drva konvencionalnim skiderom (Garren i dr. 2019 prema Agherkakli i dr. 2010).

Širina polugusjenica od 1,1 metar, također je povoljno utjecala na rezultate istraživanja, jer se povećanjem dodirne površine s tlom smanjio ukupni dodirni tlak užetnog forvardera po jedinici površine. Najveće prosječno povećanje prirodne gustoće tla iznosilo je 13,80 %, dok je ukupna prosječna razlika u dobivenim rezultatima ispitivanja 9,44 %, a prosječna vrijednost prirodne gustoće u kolotrazima 1,46 g/cm<sup>3</sup>.

Takvi rezultati ispitivanja odgovaraju rasponu dozvoljenog sabijanja tla pjeskovite ilovače i pjeskovite gline na kojemu se istraživanje provodilo, a čije vrijednosti povećanja od 15 % prirodne gustoće ili do 1,6 g/cm<sup>3</sup>, predstavljaju granične vrijednosti iznad kojih dolazi do ozbiljnog oštećivanja tla i stvaranja nepovoljnih uvjeta za rast biljaka (Garren i dr. 2019 prema Daddow i Warrington 1983).

S obzirom na to da su uvjeti u kojima se istraživanje odvijalo bili pogodni za izvoženje drva forvarderom (ponajviše dobre vremenske prilike zbog prosječne zabilježene vlažnosti tla od 18,16 %), veće i zamjetne dubine kolotruga nisu zabilježene. Užetni forvarder u aktivnoj ili pasivnoj izvedbi, tip polugusjenica i broj prolazaka forvardera nisu činili značajnu razliku u rezultatima mjerenja dubina kolotruga. Promjena nagiba terena značajno je utjecala na postojanje i dubinu kolotruga te su tako veći rezultati mjerenja dobiveni na području manjih nagiba, a manji na području većeg nagiba terena. Najveća zabilježena dubina kolotruga iznosila je 9,5 cm i izmjerena je u području manjeg nagiba (27 – 31°), a čak 39 % svih mjerenja nije zabilježilo gotovo nikakve kolotrage na traktorskim vlakama (Tablica 2).

Tablica 2. Dubina kolotruga po sredstvima rada i nagibu terena (Garren i dr. 2019)

Dubina kolotruga (cm)					
Kategorija nagiba terena	Korišteno sredstvo rada	BROJ PROLAZAKA VOZILA	MIN. DUBINA KOLOTRAGA (cm)	MED. DUBINA KOLOTRAGA (cm)	MAKS. DUBINA KOLOTRAGA (cm)
Manji nagib terena (27°-31°)	TWINCH SA SOFT	18	0.0	5,0	8,0
	TWINCH SA EX	18	0.0	4,8	7,0
	HAAS SA SOFT	18	0.0	5,0	<b>9,5</b>
	HAAS SA EX	18	0.0	2,3	6,5
Srednji nagib terena (31°-35°)	TWINCH SA SOFT	18	0.0	0,0	4,5
	TWINCH SA EX	18	0.0	0,0	5,0
	HAAS SA SOFT	18	2.0	3,0	5,5
	HAAS SA EX	18	0.0	4,3	6,5
Veliki nagib terena (35°-38°)	TWINCH SA SOFT	18	0.0	0,0	4,0
	TWINCH SA EX	18	0.0	0,0	7,0

Uobičajena praksa privlačenja drva, kada govorimo o korištenju konvencionalnih radnih sredstava, prati porast dubine kolotruga s porastom nagiba terena (Garren i dr. 2019 prema Najafi i dr 2009). Nasuprot toga, za vrijeme korištenja forvardera sa sidreno – trakcijskim užem dolazi do obrnuto proporcionalnog odnosa dubine kolotruga i porasta nagiba terena. Razlog navedenome je što se koristeći sidreno – trakcijsko uže šumskom vozilu osigurava dodatna trakcija koja umanjuje proklizavanje kotača vozila i omogućuje lakše savladavanje uzdužnog nagiba terena.

Za razliku od prirodne gustoće tla i dubine kolotruga, erozijski procesi su u proporcionalnom odnosu sa porastom nagiba terena. Svi zabilježeni podaci istraživanja erozijskih procesa bili su veći od onih predviđeni USLE-om (eng. *Universal Soil Loss Equation*). U prilog tome ide činjenica da se istraživanje odvijalo u Brazilu, području dugih kišnih sezona (iako za vrijeme ispitivanja nije bila sezona kiše, njeno djelovanje je dugoročno stoga je utjecaj prijašnjih kišnih sezona vidljiv na tlu). Uz to, nagib na kojemu se istraživanje provodilo iznosio je 27° do 38°, a traktorske vlake su bile < 90 m neprekinute duljine.

Porastom nagiba terena povećava se i erodibilnost tla, pa je tako na manjim nagibima zabilježen iznos od 0,063 t h /MJ mm, na srednjim nagibima 0,146 t h/MJ mm i na najvećima 0,237 t h /MJ mm.

Medijan svih mjerenja erozijskih procesa zabilježenih izvan traktorskih vlaka iznosi 0,4 Mg/ha/godišnje, a najveća količina erozijskih procesa uočena je kod razreda većeg nagiba (35° – 38°), pod djelovanjem aktivnog sustava sidreno-trakcijskog uža s agresivnim polugusjenicama, u iznosu od 1014,3 Mg/ha/godišnje (Tablica 3).

Tablica 3. Količine sedimenata kao posljedica erozijskih procesa (Garren i dr. 2019)

Erozijski procesi (Mg/ha/godišnje)					
Kategorija nagiba terena	Korišteno sredstvo rada	BROJ PROLAZAKA VOZILA	MINIMALNA KOLIČINA	MEDIJALNA KOLIČINA	MAKSIMALNA KOLIČINA
Manji nagib terena (27° do 31°)	TWINCH SA SOFT	18	0,8	24,3	89,0
	TWINCH SA EX	18	0,7	30,0	73,5
	HAAS SA SOFT	18	6,6	26,3	49,8
	HAAS SA EX	18	<b>0,5</b>	38,0	78,5
Srednji nagib terena (31° do 35°)	TWINCH SA SOFT	18	2,2	93,3	346,0
	TWINCH SA EX	18	0,7	88,7	178,7
	HAAS SA SOFT	18	12,7	115,1	248,2
	HAAS SA EX	18	1,1	113,8	240,2
Veliki nagib terena (35° do 38°)	TWINCH SA SOFT	18	5,5	152,6	240,0
	TWINCH SA EX	18	2,1	129,7	<b>1014,3</b>

Podaci o gustoći tla i dubinama kolotruga na traktorskim vlakama daju pozitivnu sliku o korištenju užetnog forvardera pri izvoženju drva. Rezultati istraživanja erozijskih procesa tla ne izgledaju povoljno, no u usporedbi s ostalim načinima privlačenja drva šumskim vozilima na nagnutim terenima, izmjereni iznosi za užetni forvarder spadaju u prihvatljiv opseg erozijskog djelovanja tijekom privlačenja drva. Na erozijske procese, kao i na sabijanje tla i dubinu kolotruga, povoljan utjecaj može se ostvariti slaganjem zastora granjevine tijekom izradbe drva harvesterom po traktorskim vlakama i tako smanjiti oštećenja šumskog tla prolaskom vozila. Korištenjem vitla sa sidreno – trakcijskim užem nema potrebe za projektiranjem i gradnjom traktorskih putova jer je šumskom vozilu ugradnjom vitla s sidreno – trakcijskim užem omogućeno neometano kretanje šumskim bespućem po uzdužnom nagibu što na koncu rezultira financijskom uštedom i povoljnim djelovanjem na okoliš.

## 6. Zaključak

Forvarder opremljen vitlom sa sidreno – trakcijskim užem predstavlja pogodnu soluciju prilikom odabira sredstva privlačenja drva na nagnutim terenima. Prednost u odnosu na iznošenje drva stupnom kamionskom žičarom ogleda se u nižim jediničnim troškovima privlačenja drva, ali i daleko nižom troškovima vezanim za (de)montiranje sidreno – trakcijskog uža u odnosu na postavljanje žične linije. Sa stajališta sigurnosti, potpuno mehanizirani sustav pridobivanja drva na nagnutim terenima, u kojemu sudjeluju vozila opremljena vitlom i sidreno – trakcijskim užem, predstavljaju sigurniji sustav za razliku od djelomično mehaniziranog sustava uz značajno manji broj ozljeda na radu.

Uz sigurnosni aspekt korištenja užetnog forvardera pri izvoženju drva, do izražaja dolazi ergonomska pogodnost postavljanjem žiroskopske zakretne kabine koja kako užetnom forvarderu tako i svim ostalim vozilima predviđenima za rad na nagnutim terenima omogućuje ergonomske prihvatljive radne uvjete.

Za razliku od konvencionalnih šumskih vozila namjenjenih privlačenju drva, forvarder opremljen sidreno – trakcijskim užem, zahvaljujući osiguranoj dodatnoj trakciji pri kretanju vozila uz nagib (što rezultira umanjnim proklizavanjem kotača, manjim oštećenjem tla i lakšem savladavanju uzdužnog nagiba), implicira kao okolišno i operativno pogodnije rješenje za izvoženje drva.

Iako se naizgled čini da osmokotačni užetni forvarder opremljen polugusjenicama (radi postizanja bočne stabilnosti i veće dodirne površine s tлом) predstavlja idealno rješenje za izvoženje drva na nagnutim terenima i tlu smanjene nosivosti, veliki problem ovom radnom sredstvu predstavlja kamenitost i razvedenost terena. Kamenitost terena, odnosno površinske prepreke forvarderu predstavljaju ograničavajući čimbenik prilikom kretanja šumskim bespućem radi velikog utjecaja na bočnu stabilnost koja je umanjena zbog točke težišta smještene na višoj poziciji kod forvardera u odnosu na ostala šumska vozila.

Razvedenost terena onemogućava postavljanje adekvatne paralelne mreže sekundarnih šumskih prometnica na razmacima od 20 m čime se smanjuje optimalna iskorištenost užetnog forvardera kao sredstva za privlačenje drva na nagnutim terenima. Unatoč navedenim nedostacima, užetni forvarder prednjači nad konvencionalnim šumskim vozilima namjenjenim za privlačenje drva zbog mogućnosti obavljanja izvoženja drva za vrijeme nepovoljnih prilika (kiša, snijeg), kada je uobičajenim šumskim vozilima smanjena mogućnost djelovanja zbog nepovoljnog utjecaja na tlo.

Uzdužni nagib traktorskih vlaka i umjereno nepovoljni vremenski uvjeti nisu ograničavajući čimbenik djelatnosti izvoženja drva užetnim forvarderom i time ne utječu na njegovu proizvodnost, no kao i na proizvodnost svih šumskih vozila namjenjenih privlačenju drva, tako i na proizvodnost užetnog forvardera utječe srednja udaljenost privlačenja i prosječni obujam komada.

Dosadašnja praksa ukazuje da se većina posječenoga drva u hrvatskome šumarstvu, a pogotovo na nagnutim terenima, privlači skiderima s vitlom. S obzirom na strukturu

nagiba terena šuma i šumskog zemljišta u Republici Hrvatskoj, gdje se 60 % površine šuma nalazi na terenima nagiba većeg od 10 %, primjena forvardera s vitlom i sidreno – trakcijskim užem je osigurana, što treba potvrditi operativnom razredbom terena.

## 5. Literatura

Boswell, B., Amishev, D., Hunt, J., 2018: Best Management Practices for Winch-Assist Equipment – Version 1.0. FP Innovations, Canada

Enache, A., Kühmaier, M., Visser, R., Stampfer, K., 2015: Forestry Operations in the European Mountains: A study of current practices and efficiency gaps, *Scandinavian Journal of Forest Research*

FAO and UNEP. 2020. The State of the World's Forests 2020. Forests, biodiversity and people. Rome.

Garland, J., Belart, F., Crawford, R., Chung, W., Cushing, T., Fitzgerald, S., Green, P., Kincl, L., Leshchinsky, B., Morrissette, B., Sessions, J., Wimer, J., 2019: Safety in steep slope logging operations, *Journal of Agromedicine*, 24:2, 138-145

Garren, A.M., Bolding, M.C., Aust, W.M., Moura, A.C., Barrett, S.M., 2019: Soil Disturbance Effects from Tethered Forwarding on Steep Slopes in Brazilian Eucalyptus Plantations. *Forests* 2019, 10, 721

Heinimann, H.R., 1999: Ground-based harvesting technologies for steep slopes. In: *Proceedings of the International Mountain Logging and 10th Pacific Northwest Skyline Symposium*, Sessions and Chung (editors), March 28 – April 1, Corvallis, Oregon, USA, 1–19. Department of Forest Engineering. Oregon State University. Corvallis, OR 97331

Heinimann, H.R., 2000: Forest Operations under Mountainous Conditions. *Forests in Sustainable Mountain Development – a State of Knowledge Report for 2000*, M. F. Price and N. Butt, Editors. CABI Publishing: Wallingford, UK. Vol. IUFRO Research Series No. 5: 224–230.

Holzfeind, T., Stampfer, K., Holzleitner, F., 2018: Productivity, setup time and costs of a winch-assisted forwarder, *Journal of Forest Research*, 23:4, 196-203

Holzfeind, T., Kanzian, C., Stampfer, K., Holzleitner, F., 2019: Assessing Cable Tensile Forces and Machine Tilt of Winch-Assisted Forwarders on Steep Terrain under Real Working Conditions. *Croatian Journal of Forest Engineering*, Volume 40, No.2: 291-296

Holzfeind, T., Visser, R., Chung, W., Holzleitner, F., Erber, G., 2020: Development and Benefits of Winch-Assist Harvesting. *Current Forestry Reports* 6: 201–209.

Holzleitner, F., Kastner, M., Stampfer, K., Höller, N., Kanzian, C., 2018: Monitoring Cable Tensile Forces of Winch-Assist Harvester and Forwarder Operations in Steep Terrain. *Forests* 2018, 9

Längin, D., Ackerman, P., Krieg, B., Immelmann, A., Potgieter, C., van Rooyen, J., Upfold, S., 2010: *South African Ground Based Harvesting Handbook*. First Edition. Forest Engineering Southern Africa (FESA)

Lundbäck, M., Persson, H., Häggström, C., Nordfjell, T., 2020: Global analysis of the slope of forest land. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, Volume 94, Issue 1, January 2021, Pages 54–69

- Poršinsky, T., 2008: Predavanja iz kolegija Pridobivanje drva I. Fakultet šumarstva i drvne tehnologije u Zagrebu (<http://www.sumfak.unizg.hr>)
- Poršinsky, T., Moro, M., Đuka, A., 2016: Kutovi i polumjeri prohodnosti skidera s vitlom. Šumarski list 140(5–6): 259–272.
- Poršinsky, T., 2020: Predavanja iz kolegija Okolišno prihvatljive tehnologije. Fakultet šumarstva i drvne tehnologije u Zagrebu (<http://www.sumfak.unizg.hr>)
- Poršinsky, T., Matas, J., Horvat, D., Đuka, A., 2020: Pneumatici kotača šumskih vozila. Šumarski list 144 (9–10): 509–522.
- Sutherland, B. J. 2003: Preventing soil compaction and rutting in the Boreal Forest of Western Canada: a practical guide to operating timber-harvesting equipment. Forest Engineering Research Institute of Canada, Advantage Vol. 4 No. 7.
- Visser, R., Berkett, H., 2015: Effect of terrain steepness on machine slope when harvesting. International Journal of Forest Engineering 26(1): 1–9.
- Visser, R., Stampfer, K, 2015: Expanding Ground-based Harvesting onto Steep Terrain: A Review. Croat. j. for. eng. 36(2): 321–331.