

**ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU**

**ŠUMARSKI ODSJEK**

**SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ ŠUMARSTVA**

**SMJER: TEHNIKE, TEHNOLOGIJE I MENADŽMENT U ŠUMARSTVU**

**IVOR KOŠUTIĆ**

**USPOREDBA TEHNIČKIH ZNAČAJKI TRAKTORSKIH  
SKUPOVA I FORVARDERA NOSIVOSTI DO 10 TONA**

**DIPLOMSKI RAD**

**ZAGREB, 2018.**

**ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU**

**ŠUMARSKI ODSJEK**

**USPOREDBA TEHNIČKIH ZNAČAJKI TRAKTORSKIH SKUPOVA I  
FORVARDERA DO 10 TONA**

**DIPLOMSKI RAD**

Diplomski studij: Šumarstvo, smjer Tehnike, tehnologije i menadžment u šumarstvu

Predmet: Mehanizacija pridobivanja drva

Ispitno povjerenstvo: 1. Prof. dr. sc. Marijan Šušnjar

2. Prof. dr. sc. Željko Zečić

3. Doc. dr.sc. Zdravko Pandur

Student: Ivor Košutić

JMBAG: 0068220764

Broj indeksa: 754/2016

Datum odobrenja teme:

Datum predaje rada: 02.07.2018.

Datum obrane rada: 06.07.2018.

**Zagreb, srpanj, 2018.**

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Naslov	Usporedba tehničkih značajki traktorskih skupova i forvardera do 10 tona
Title	Comparison of technical characteristics between tractors with semi-trailers and forwarders with load capacity up to 10 tonnes
Autor	Ivor Košutić
Adresa autora	Jurja Vlahovca 2, Velika Pisanica
Mjesto izrade	Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	Prof. dr. sc. Marijan Šušnjar
Izradu rada pomogao	Mag. ing. silv. Marin Bačić, Doc. dr.sc. Zdravko Pandur
Godina objave	2018.
Obujam	I – V, 27 str., 2 tablice, 13 slika, 22 navoda literature
Ključne riječi	forwarder, traktorski skup, tehničke značajke, morfološka raščlamba
Keywords	forwarder, tractors with semi-trailers, technical characteristics, morphologic analysis
Sažetak	Drvo u prorednim sječinama nizinskih šuma, izvozi se prvenstveno traktorskim skupovima (poljoprivredni traktor sa šumskom prikolicom i dizalicom). Uslijed sve veće potražnje za energetske drvom dolazi do razvoja forvardera manjih dimenzija, nosivosti, mase. Na temelju izabranih geometrijskih, masenih i drugih veličina uspoređuje se pogodnost traktorskih skupova i forvardera nosivosti do 10 tona za izvoženje drva iz prorednih sastojina.

## KAZALO SADRŽAJA

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA .....	I
KAZALO SADRŽAJA .....	II
KAZALO SLIKA .....	III
KAZALO TABLICA .....	IV
PREDGOVOR .....	V
1.UVOD .....	1
2.TRAKTORSKI SKUPOVI .....	5
3.FORVARDERI .....	8
3.1. Forvarderi u sustavima pridobivanja drva .....	11
4. CILJ ISTRAŽIVANJA .....	15
5. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA .....	16
6. REZULTATI .....	19
6.1. Ovisnosti pojedinih morfoloških značajki o masi forvardera .....	19
6.2. Indeks oblika .....	22
7.ZAKLJUČAK .....	24
8.LITERATURA .....	26

## KAZALO SLIKA

Slika 1. Tehnologije privlačenja drva po tlu (Krpan i dr. 2003) .....	3
Slika 2. Traktorski skup "Pionir" .....	6
Slika 3. Forvarder PONSSE Buffalo .....	8
Slika 4. Forvarder John Deere 1210E bogie .....	9
Slika 5. Unutrašnjost kabine PONSSE Wisent .....	10
Slika 6. Sheme rada harvestera i forvardera u skupnom radu (Izvor:Krpan i Poršinsky 2002) .....	11
Slika 7. Forvarder PONSSE Elk prilikom istovara .....	12
Slika 8. Laki (proredni) forvarder HSM 208 F .....	14
Slika 9. Ovisnost duljine o masi.....	19
Slika 10. Ovisnost širine o masi .....	20
Slika 11. Ovisnost nosivosti o masi.....	21
Slika 12. Ovisnost podiznog momenta o masi .....	22
Slika 13. Indeks oblika .....	23

## KAZALO TABLICA

Tablica 1. Popis forvardera i njihove značajke.....	17
Tablica 2. Popis traktorskih skupova i njihove značajke .....	17

## **PREDGOVOR**

*Ovaj rad je izrađen na Zavodu za šumarske tehnike i tehnologije Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.*

*Zahvaljujem mentoru prof. dr. sc. Marijanu Šušnjaru, mag. ing. silv. Marinu Bačiću i Doc. dr.sc. Zdravku Panduru na ukazanoj pomoći i savjetima pri izradi ovoga rada.*

*Posebno se zahvaljujem svojoj obitelji i djevojci što su me podržavali tijekom studiranja i pisanja diplomskog rada.*

**Ivor Košutić**

## 1. UVOD

Eksploatacijom šuma nazivamo radni proces koji obuhvaća skup djelatnosti vezanih za pridobivanje drva. Eksploatacija se šuma sastoji od sječe i izradbe te transporta drva s polufazama privlačenja i prijevoza drva (Krpan 1992).

Pod privlačenjem smatramo micanje cijelih stabala ili djelova stabala (deblo, drvni sortiment) od mjesta sječe i izrade do pomoćnog stovarišta. Svrha privlačenja drva je prikupljanje veće količine drvnih sortimenata na pomoćnom stovarištu s kojeg utovarom počinje prijevoz drva. S utovarom drva u kamionske skupove na pomoćnome stovarištu, započinje faza daljinskoga transporta drva (Poršinsky, 2005.).

Razvoj tehnike, koji je naročito napredovao u 20. stoljeću, omogućio je razvoj mehaniziranih sredstava za izvođenje šumskih radova. Mehaniziranje radova pridobivanja drva u Hrvatskoj počinje 50-ih godina prošlog stoljeća, primjenom prvih motornih pila pri sječi i izradi stabala (1958. godine), primjenom poljoprivrednih traktora na privlačenju drva te kamiona za prijevoz drva (Sever 1980).

Mehaniziranje privlačenja oblog drva u šumama Hrvatske počinje 50-ih godina prošlog stoljeća, primjenom poljoprivrednih traktora. U početku su radili bez prilagodbi za privlačenje jednostavnim prihvatnim napravama. Zbog potrebitih tehničkih zahtjeva za izvođenje radova privlačenja u šumskim terenskim uvjetima, poljoprivredni traktori se dodatno opremaju zaštitnim konstrukcijama te šumskim vitlima za rad u brdskim uvjetima ili šumskim poluprikolicama s dizalicama za privlačenje u proredama nizinskih sastojina čime su prilagođeni izvoženju drva. No to ujedno predstavlja i njihov nedostatak jer nisu specijalizirana šumska vozila. Traktor sa vitlom omogućava privitlavanje stabla, debla ili drvnog sortimenta od mjesta sječe i izrade do traktora na vlaci. Ovako opremljeni poljoprivredni traktori za šumske radove nazivaju se adaptirani poljoprivredni traktori (Horvat i Šušnjar 2001).

Poljoprivredni traktori adaptirani za privlačenje drvnih sortimenata su pokazali nezadovoljavajuće radne značajke kao što su: velike dimenzije i veliki krug okretanja, slaba uzdužna stabilnost te veliko opterećenje zadnje osovine pri privlačenju tovara.

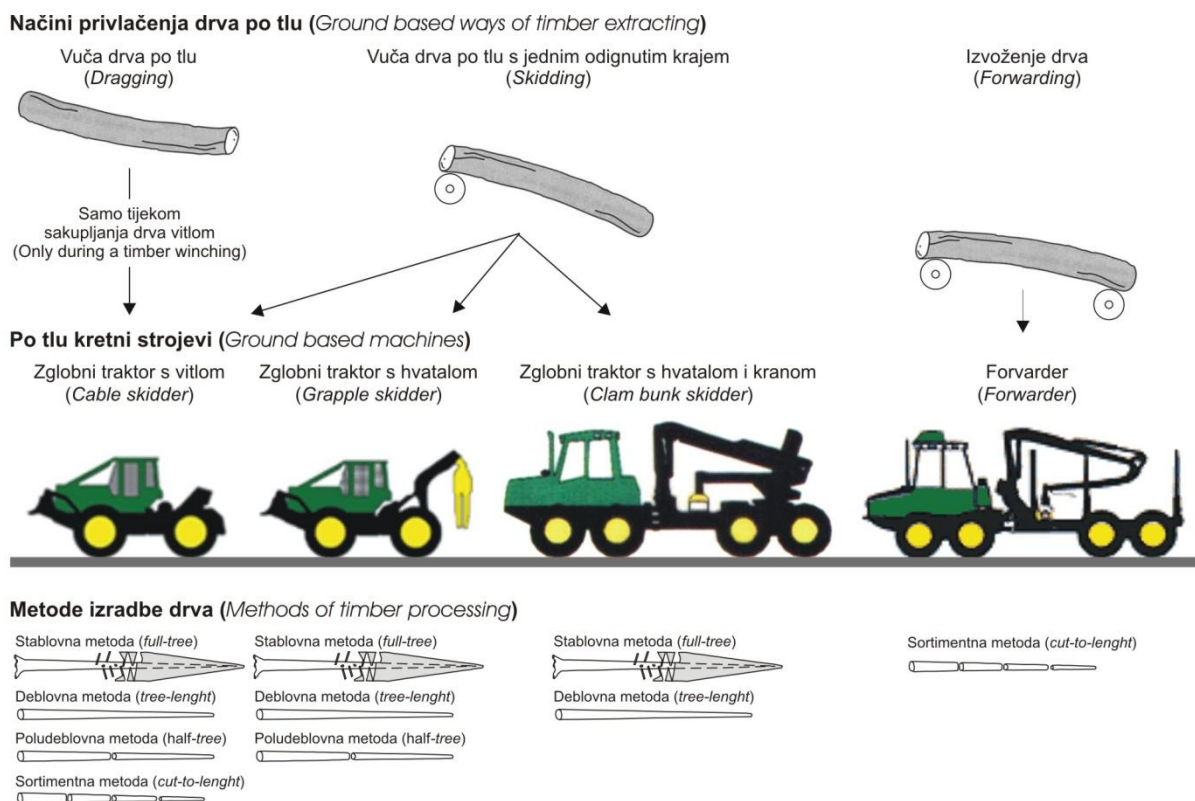


Zbog navedenih nedostataka adaptiranih poljoprivrednih traktora, za potrebe privlačenja drva razvijaju se specijalizirani šumski zglobni traktori - skideri i forvarderi. Početkom 70-ih godina u pridobivanju drva započinje primjena skidera i forvardera, što je ograničilo uporabu poljoprivrednih traktora uglavnom za radove u proredama te za uzgojne radove radi veće iskoristivosti.

Skider se definira kao šumsko zglobno samohodno vozilo za privlačenje stabala ili dijelova stabala (Šušnjar 2005). Rad privlačenja drva se odvija sa jednim krajem tovara odignutim od tla i oslonjenim na zadnji kraj vozila, dok se drugi kraj tovara vuče po tlu.

Osim opremanja šumskog zglobnog traktora s vitlom (eng. *cable skidder*) razvijaju se i različite konstrukcije prihвата (utovara) drva: s hvatalom okrenutim prema dolje (eng. *grapple skidder*) i s hvatalom okrenutim prema gore i dizalicom za utovar drva u hvatalo (eng. *clam-bunk skidder*).

Dogradnjom dizalice i poluprikolice s tovarnim prostorom iza zgloba nastaje forvarder. Primjenom forvardera nastaje novi način privlačenja drva. Za razliku od skidera koji vuče drvo po tlu s jednim odignutim krajem, kod rada forvardera drvo se nalazi utovareno na vozilu pa tada govorimo o izvoženju drva (slika 1).



**Slika 1. Tehnologije privlačenja drva po tlu (Krpan i dr. 2003)**

Mehanizirana sredstva za privlačenje drva možemo podijeliti s obzirom na njihovu primjenu prema metodama izradbe drva (sortimentna, poludeblovna, deblovna, stablovna metoda), prema vrsti sječe (prorede, oplodne i preborne sječe) te uvjetima terena (ravničarski i brdski tereni). Krpan i dr. (2003) navode da su različitosti sastojinskih i terenskih uvjeta hrvatskoga šumarstva utjecale na primjenu dviju bitno različitih metoda izradbe drva, a s time i vrste vozila za privlačenje drva.

Na području prigrorskih i brdskih šuma (tereni s manjim ili većim nagibom terena) u uporabi je (polu)deblovna metoda izradbe drva, a za privlačenje drva se koriste veliki skideri u oplodnim i prebornim sječinama, odnosno, srednji (proredni) skideri i adaptirani poljoprivredni traktori u prorednim sječinama.

Privlačenje drva iz proreda nizinskih šuma hrasta lužnjaka u istočnom dijelu Hrvatske vrlo je bitno zbog značajnih količina drva – oko 50% ukupnog etata, ekološke osjetljivosti i ekonomske učinkovitosti. Te su se šume razvile na dubokim pseudoglejnim tlima koje karakterizira slaba nosivost i veliki udio vode u tlu. Zbog navedenih značajki šumskih tala drvo se uglavnom izvozi kako bi se oštećivanje tla svelo na najmanju moguću mjeru. Pri izvoženju drva iz glavog prihoda zimi

upotrebljavaju se forvarderi, no srednji i teški forvarderi nisu prikladni za izvoženje drva iz prorednih sječa tijekom vegetacijskog razdoblja. Zbog svoje velike mase (uključujući i masu tovara) stvaraju veliki dodirni pritisak na tlo koje je u tome vremenu vrlo slabe nosivosti te se tlo uvelike oštećuje. S druge strane drvni su sortimenti iz proreda manjih dimenzija i kakvoće, a čine oko 50% ukupnoga godišnjega etata. Stoga je problem izvoženja drva iz proreda ne samo ekološki već i ekonomski problem jer se uporabom skupih strojeva (forvardera) povećava trošak izvoženja drva (Šušnjar i drugi, 2008).

Zbog navedenih nedostataka izvoženja drva srednjim i teškim forvarderima te traktorskim skupovima, teži se uvođenju lakih forvardera mase do 10 tona koji bi se uklopili u izvoženje drva u proredama zbog svoje nosivosti te veličine.

## 2. TRAKTORSKI SKUPOVI

Temeljem iskustva šumarskih stručnjaka uz opće prihvaćeni stav o potrebitosti primjene izvoženja drva iz nizinskih šuma od početaka mehaniziranja radova privlačenja drva u proredama navedenih šuma koriste se traktorski skupovi.

Traktorskim skupom se podrazumijeva adaptirani poljoprivredni traktor s šumskom poluprikolicom i ugrađenom dizalicom.

Prednost uporabe traktorskih skupova pri izvoženju drva iz proreda nizinskih šuma se ogleda u masi vozila te time manjim dodirnim tlakovima na šumsko tlo u uvjetima njegove slabe nosivosti tijekom vegetacijskog perioda (perioda izvođenja proreda) čime se umanjuju štete na šumskome tlu i preostalim dubećim stablima i pomlatku. Ujedno je traktorski skup jeftinije vozilo od specijalizanih šumskih vozila – forvardera, što utječe na smanjenje troška po jedinici proizvoda.

Jedan od glavnih problema kod proučavanja šumskih traktorskih skupova je postavljanje što boljih uvjeta da se:

- drvo ne vuče po podlozi već se izvozi na kotačima (manji otpori)
- radi što manjeg oštećivanja tla, postojećih stabala i pomlatka strojem što manje ulazi u sastojinu, a što više se kreće postojećim i/ili novo načinjenim prosjekama

Ovi se zahtjevi dijelom temelje na uvjetima okolišne prihvatljivosti, odnosno zaštite tla i sastojine, ali i jasnoj ekonomskoj računici izbjegavanja dugoročnih nepovoljnih učinaka koji se mogu odraziti na šumskome tlu, umanjenoj kakvoći i količini glavnih šumskih proizvoda, te iznimno visokih troškova vezanih uz prirodnu obnovu nizinskih šuma.

Primjena traktorskih skupova pri izvoženju drva iz proreda nizinskih šuma je započela početkom 70-tih godina prošloga stoljeća. Godine 1972. započela je proizvodnja i primjena domaćeg traktorskog skupa. Prvi takav skup bio je tzv. "Pionir" koji je imao mehaničku dizalicu i mehanički pogonjeno vitlo (slika 2). Zbog tehničkih nedostataka "Pionir-a" ovakav je rad bilo teško provesti pa su oni ulazili u sastojinu praktički do panja, čime su narušena i ekološka i ekonomska svojstva.



**Slika 2.** Traktorski skup "Pionir"

Početakom 90-tih godina počinje intenzivno traženje optimalnog traktorskog skupa. Na temelju iskustava u korištenju ovih skupova donesene su preporuke za osnovne tehničke karakteristike traktorskog skupa (Horvat i dr. 2004):

- nosivost poluprikolice 6 t,
- traktor snage oko 60 kW,
- hidraulička dizalica neto podiznoga momenta  $> 40\text{kNm}$ ,
- isti trag kotača traktora i poluprikolice  $< 1,7\text{ m}$ ,
- ukupna duljina skupa  $< 9\text{ m}$ ,
- klirens  $> 300\text{ mm}$ ,
- smanjivanje radiusa okretanja pomoću zglobne rude ili okretnih bogi kotača,
- dvobubanjnsko vitlo vučne sile  $> 50\text{ kN}$

Pri tome se mehaničke dizalice na traktorskom skupu zamjenjuju hidrauličkim dizalicama čime se omogućuje dizanje težih drvnih sortimenata te ergonomski povoljnije hidrauličko, a kasnije elektro-hidrauličko upravljanje. Dodatnim opremanjem traktorskih skupova šumskim vitlom omogućilo se da traktorske ekipe

ne moraju ulaziti u sastojinu do svakog izrađenog drvnog sortimenta na udaljenost dosega dizalice već se isključivo kreću po paralelnim vlakama međusobne udaljenosti od 37,5 m na koje se vrši privitlavanje drvnih sortimenata te utovar dizalicama. Navedenom tehnologijom se smanjuje mogućnost oštećenja šumskog tla, pomlatka i preostalih stabala pri izvođenju eksploatacijskih radova u proredama, poglavito tijekom perioda velike vlažnosti tla, odnosno njegove slabe nosivosti.

### 3.FORVARDERI

Forvarder je specijalno šumsko vozilo namijenjeno izvoženju drva iz šume na pomoćno stovarište te za prijevoz drva na kraće udaljenosti po javnim cestama.



**Slika 3.** Forvarder PONSSE Buffalo

Pri eksploataciji nizinskih i prigorskih jednodobnih šuma Hrvatske, česta je primjena izvoženja drva. U vremenu snažnog ulaska mehanizacije u eksploataciji šuma nakon 1960. godine uz traktore se počinje primjenjivati traktor-(polu)prikolica. Istovremeno se uvoze forvarderi (1971) za izvoženje drva pretežno u nizinskom području.

Danas se drvo izvozi forvarderima i traktorima s poluprikolicom. Osim na izvoženju, forvarder se može upotrijebiti i u polufazi prijevoza na kraćim udaljenostima, čime se isključuje pretovar na pomoćnom stovarištu.

Primjena forvardera u izvoženju drva uvjetuje i primjenu tehnologiju izradbe šumskih sortimenata u šumi, odnosno sortimentnu metodu izradbe drva.

Bojanin i Sever (1987) određuju forvarder kao specijalno šumsko vozilo III generacije te navode da je prvi stvarni forvarder konstruiran u Švedskoj 1962. godine. Prema izvedbi voznog sustava forvarderi se dijele na kotačne i gusjenične (Sever 1988), a kotačni prema broju kotača na četverokotačne, šesterokotačne, osmerokotačne forvardere i deseterokotačne. S obzirom na ukupan broj i broj pogonskih kotača postoji više konstrukcija forvardera 4 x 4, 6 x 4, 6 x 6, 8x8.

Snaga pogonskog motora za kotačne forvardere kreće se od 17 do 120 kW, a vlastita masa od 2 do 20 tona, dok je nosivost u opsegu od 3 do 18 tona (Poršinsky). S

obzirom na masu forvarderi se dijele na: lake, srednje i teške. Prema vlastitoj masi Horvat (1993) forvardere dijeli na lake (< 10 t), srednje (10-20 t) i teške (>12 t).

Upravljanje forvarderima vrši se preko zgloba, promjenom kuta prednjeg i stražnjeg dijela vozila u vodoravnoj ravnini, što omogućuje najčešće dva hidraulička cilindra. Ovakav način upravljanja forvarderima omogućuje vanjske polumjere okretanja veličine od 4m do 9m što poboljšava samu kretnost, osim samog upravljanja zglobna veza omogućava svladavanje terenskih prepreka pri radu forvardera gibljivošću u uspravnoj ravnini.

Forvarderi koji imaju više od 4 kotača upotrebljavaju tzv. bogie most, kod kojega su dva kotača smještena jedan blizu drugoga. Primjenom bogi mosta omogućava se amortiziranje traktora pri kretanju. Kotači povezani bogie mostom dobro slijede površinske neravnine ublažujući visinske razlike terena (Sever 1988, Horvat 1993).



**Slika 4.** Forvarder John Deere 1210E bogie

Za prienos pogonskog motora forvardera na kotače najčešće se koriste mehaničko-hidrodinamička, hidrostatsko-mehanička, te hidrostatska transmisija (Sever 1988).

Hidrauličkom dizalicom s rotatorom i hvatalom ugrađenom na poluprikolicu forvardera vrši se utovar i istovar drva. Doseg ugrađenih hidrauličkih dizalica vrši se utovar i istovar drva. Doseg ugrađenih hidrauličkih dizalica kreće se u opsegu od 5 do 10



(15)m, uz nazivni podizni moment između 50 i 100 kNm. Upravljanje dizalicama vrši se iz kabine forvardera upravljačkim ručicama.



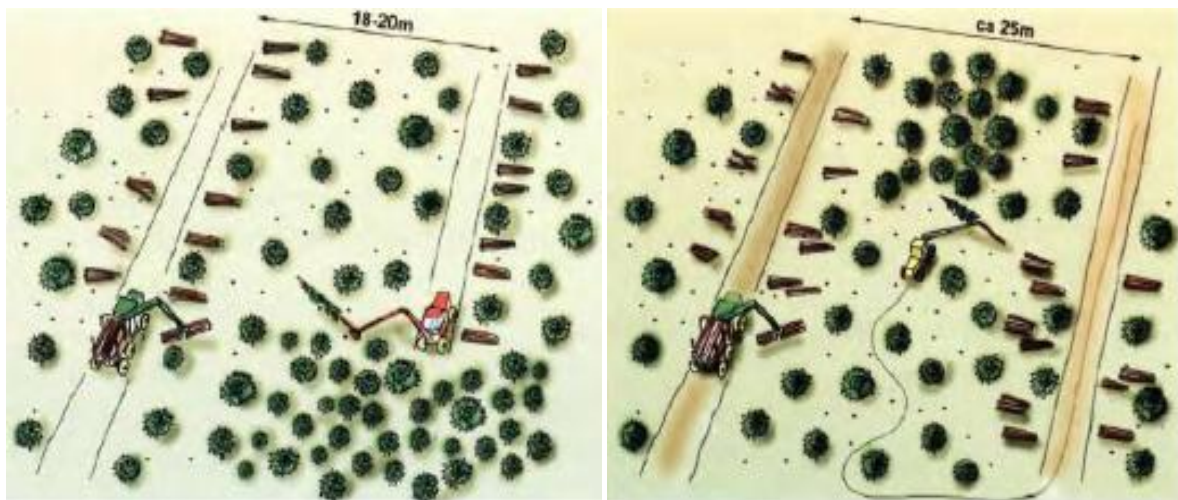
**Slika 5.** Unutrašnjost kabine PONSSE Wisent

Proizvođači sve više pri gradnji posebnu pažnju poklanjaju izradi kabine vozila sa svrhom da bude što lakše i sigurnije rukovanje samim strojem. Najznačajniji ergonomske elementi za forvardere su: razina buke i vibracije pri radu, položaj rukovatelja pri radu, rukovateljevo sjedalo, dostupnost upravljačkih uređaja, preglednost mjerne opreme, klimatski uvjeti u kabini, vidljivost iz kabine, osvjetljenje radnog okoliša, uvjeti penjanja i silaženja iz kabine, količina ispušnih plinova i prašine u kabini, radovi na održavanju (Sever 1988).

### 3.1. Forvarderi u sustavima pridobivanja drva

Sustav pridobivanja drva je sveobuhvatnost tehnologija i alata koji se koriste prilikom eksploatacije neke sječne jedinice, pri čemu se pojedine sastavnice sustava pridobivanja drva mogu mijenjati, a da se ne mijenja metoda izradbe drva.

Sustav potpuno mehaniziranog pridobivanja kratkog drva, razvijen je u skandinavskim zemljama, zasniva se na grupnom radu jednozahvatnog harvestera i forvardera usklađenih proizvodnih mogućnosti.



**Slika 6.** Sheme rada harvestera i forvardera u skupnom radu (Izvor: Krpan i Poršinsky 2002)

Skupni rad harvestera i forvardera sortimentnom metodom predstavlja zaokruženu cjelinu. Harvester izvodi sječu stabala, kresanje grana, trupljenje debla, mjerenje sortimenata i njihovo slaganje u hrpe koje će forvarder utovariti i izvesti do pomoćnog stovarišta.

Kod čistih sječa, harvester se kreće slobodno po sječini dok druge vrste sječa (prorede, preborne) zahtijevaju šumsku infrastrukturu. Vlake širine 3,5 do 4 metra harvester si tijekom rada prosijeca na određenim međusobnim razmacima. Najjednostavniji međusobni razmak je 20 metara, pri kojem harvesteri hidrauličkom rukom dohvata 10 metara, krećući se po vlaci, mogu dosegnuti i oboriti sva stabla. Kod ovakvog načina rada, harvester okresane grane polaže pred kotače vozila čim poboljšava nosivost podloge odnosno smanjuje oštećenja tla na vlakama tijekom

izvoženja drva forvarderom. Sustav je okolišno prihvatljiv jer nakon sječe u sastojini važna hranjiva ostaju čime se potiče stvaranje humusa i stabilnost staništa. Ukoliko je razmak šumskih vlaka veći od 20 metara, tada se rad harvestera kombinira s ručno strojnom sječom ili se harvester kreće po površini između šumskih vlaka. Pri izvoženju sortimenata forvarderima, omogućuje se razvrstavanje i slaganje oblog drva u visoke složajeve uz rubove šumske ceste kako bi se smanjila potreba za prostranim pomoćnim stovarištima duž šumske ceste. Izvoženje drva forvarderima predstavlja poseban oblik privlačenja drva, kod kojeg je teret potpuno izdignut od tla te se pri kretanju vozila svladavaju samo otpori kotrljanja.

U odnosu na ručno-strojnu sječú i izradbu stabala te privlačenje drva zglobnim traktorima vučom drva po tlu, rad harvesterata i forvardera spada u okolišno prihvatljive tehnologije proizvodnje oblog drva.



**Slika 7.** Forvarder PONSSE Elk prilikom istovara

U hrvatskom šumarstvu sječa i izradba obavlja se ručno strojnim radom. Motornim pilama se ruše stabla, krešu grane te izrađuju trupci i prostorno drvo. U Hrvatskoj uporaba strojeva za sječú nije u primjeni radi prirodnosti šuma, vrste drveća, dimenzija stabala, reljefa, metodama uzgajanja i uređivanja šuma (Krpan 1992). Pri

eksploataciji nizinskih i prigorskih jednodobnih šuma Hrvatske, forvarderima se izveze prosječno 15 do 20 % neto godišnjeg etata (Poršinsky 2000).

Forvarderi su u Hrvatskoj ponajprije namijenjeni za izvoženje glavnog prihoda tijekom zimske sječe, u sječinama s visokom sječnom gustoćom po jedinici površine (oplodne sječe). Tijekom razdoblja ljetne sječe koriste se za izvoženje prethodnog prihoda, odnosno pri čistim sječama topole, jasena na pruge te sanitarnim sječama. U sječini se forvarder kreće po izvoznom pravcu koji višekratnim prolaskom vozila prima izgled traktorske vlake. U dovršnim sječama forvarder se kreće slobodno po sječini jer pri utovaru drva svojim jednokratnim prolaskom ne oštećuje šumsko tlo i pomladak drveća.

Nakon utovara forvarderi izvoze drvo na pomoćno stovarište. Kod istovara trupci se slažu u složajevе s obje strane šumske ceste te se odmah razvrstavaju po vrstama drva i razredima kakvoće. Pri tome se mora voditi računa sa se trupci slažu s označenim pločicama okrenuti prema putu. Visina složaja doseže 3 do 4 metra kako bi se smanjili zahtjevi za prostranim stovarištima. Slaganje i razvrstavanje privučene oblovine forvarderima prilikom istovara na pomoćnom stovarištu vrši se u odvojene složajevе po vrstama drveća i razredima kakvoće što pogoduje skraćenju vremena utovara drva u kamione (Krpan 1992). U uvjetima loše nosivosti tla na stražnje kotače forvardera montiraju se polugusjenice, a na prednje kotače lanci.

Kako Horvat (1993) forvardere na temelju njihove vlastite mase do 10 t svrstava u kategoriju lakih, takvi forvarderi bi vrlo lako mogli zamjeniti traktorske ekipaže u poslovima izvoženja drva iz prorednih sastojina. Pa tako su i „Hrvatske šume d.o.o.“ kao državno poduzeće počele razmišljati da umjesto nabavke poljoprivrednih traktora koje treba prilagođavati za rad u šumi (zaštita kabine i podvozja, ugradnja vitla i sl.) te nabavke poluprikolica sa hidrauličnom dizalicom kako bi se oformile traktorske ekipaže, bilo jednostavnije nabaviti gotovi forvarder mase do 10 tona. Takav forvarder predstavlja kompletan stroj kod kojeg nema nikakvih prilagodbi i koji bi trebao biti znatno pouzdaniji stroj u odnosu na traktorske ekipaže. U ovom radu predstavljen je prikaz morfoloških značajki traktorskih ekipaža i lakih prorednih forvardera te međusobna usporedba istih.



**Slika 8.** Laki (proredni) forvarder HSM 208 F

## 4. CILJ ISTRAŽIVANJA

Morfološka raščlamba jedna je od metoda proučavanja strojeva koji se rabe u eksploataciji šuma na temelju izabranih geometrijskih, masenih i drugih veličina pomoću koji se izražavaju odnosi i donosi sud o samom izboru stroja. Morfološkom raščlambom utvrđuje se trenutno stanje, svojstva i zakonitosti. Rezultati dobiveni morfološkom raščlambom služe šumskim stručnjacima pri odabiru novih strojeva, izboru stroja za razne uvjete rada, definiranju parametara pri konstrukciji novih strojeva unutar poznate skupine. Intezivni razvoj specijalnih šumskih strojeva započinje u drugoj polovici prošlog stoljeća, a dosadašnje iskustvo pokazuje da su se njihove konstrukcije danas ujednačile u smislu dimenzijskih, masenih i energijskih značajki koje su postale karakteristične za pojedinu grupu strojeva u ovom slučaju prorednih forvardera.

Morfološka raščlamba na Šumarskom fakultetu u Zagrebu rabi se više od 25 godina zbog čega su stvorene razne baze podataka bitnih značajki (dimenzije stroja, mase, snage motora, podiznog momenta, dohvati šumske dizalice i sl.) najvažnijih grupa šumskih strojeva. Ove baze podataka se stalno nadopunjavaju i šire novim strojevima čime se omogućuje praćenje promjena u osnovnim obilježjima njihovih konstrukcija.

Cilj ovog diplomskog rada je usporedba i analiza morfoloških značajki kako bi lakše odredili vozilo koje je po svojim karakteristikama pogodnije za naše potrebe, uvjete na terenu i ima veću učinkovitost pri izvoženju drva tijekom proreda. Isto tako cilj je potaknuti uvođenje lakih forvardera u hrvatsko šumarstvo koji bi zamijenili traktorske skupove prilikom proreda.

## 5. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

Podatci o forvarderima na temelju kojih je provedeno istraživanje su preuzeti sa internetskih baza podataka, te službenih internetskih stranica i kataloga proizvođača forvardera. Podatci o traktorskim skupovima preuzeti su iz rada „Osovinsko opterećenje traktorskih skupova“ (M.Šušnjar i dr. 2009). Istraživanje se temelji na sedam odabranih morfoloških značajki na uzorku od 13 tipova forvardera (tablica 1.) i 9 tipova traktorskih skupova (tablica 2.). U bazi podataka nisu pronađene sve odabrane tehničke značajke za nekoliko tipova traktorskih skupova, te su se ovisnosti s tim tehničkim značajkama izračunale na manjem broju podataka. Tehničke značajke koje su korištene u ovom istraživanju su:

- masa –  $m$  (kg)
- nosivost –  $m$  (kg)
- podizni moment –  $M$  (kNm)
- duljina –  $L$  (mm)
- širina –  $B$  (mm)
- visina –  $H$  (mm)
- indeksi oblika –  $H/L$  i  $B/L$

**Tablica 1.** Popis forvardera i njihove značajke

Br.	Naziv	L (mm)	B (mm)	H (mm)	H/L	B/L	m (kg)	Nosivost m (kg)	Podizni moment, M (kNm)
1	VIMEK 610 SE	6900	1900	2650	0,38	0,28	4700	5000	26
2	VIMEK 610 SE	6700	2000	2650	0,40	0,30	4700	5000	26
3	VIMEK 610 SE	7600		2650	0,35	0,00	4700	5000	26
4	VIMEK 606 TT	6200	1800	2650	0,43	0,29	2960	3000	21
5	VIMEK 606 TT	6700	1800	2650	0,40	0,27	2960	3000	21
6	ENTRACON EF 60	7682	2070	3051	0,40	0,27	5650	6000	46
7	FALCON F40	6600	2310	3080	0,47	0,35	3950	4000	30
8	MALWA 560F	6300	1950	2850	0,45	0,31	5400	5500	45,6
9	BIZON 10000 6WD	6100	1550	2300	0,38	0,25	1520	2500	45,6
10	TERRI 34C 8WD	6700	2050	3100	0,46	0,31	5630		37
11	FORWARDER LVS 511	7750	1860	2960	0,38	0,24	4475	5000	43
12	ENTRACON EF 75	8212	2300	3385	0,41	0,28	8150	7500	53
13	FORWARDER LVS 720	8323	2400	3034	0,36	0,29	8500	7500	53

**Tablica 2.** Popis traktorskih skupova i njihove značajke

Br.	Naziv	L (mm)	B (mm)	H (mm)	H/L	B/L	m (kg)	Nosivost, m (kg)	Podizni moment, M (kNm)
1	PIONIR TIGAR 42	7890	1880	3685	0,47	0,24	3573		
2	PIONIR IMT 541	8380	1820	3415	0,41	0,22	3870		
3	PIONIR TIGAR 49DV	8230	1850	3450	0,42	0,22	4136		
4	PIONIR IMT 549	8320	1800	3081	0,37	0,22	4186		
5	FMV STEYR 964	9300	1940	2844	0,31	0,21	6478	5000	47
6	FORMET BELARUS 920	10480	2060	2995	0,29	0,20	8758	6000	52
7	FORMET BELARUS 952	10420	1930	2780	0,27	0,19	8774	6000	52
8	VINKUM BELARUS 952	10230	2130	3190	0,31	0,21	8811	8000	56
9	VINKUM STEYR 9094	10310	2200	3790	0,37	0,21	8824	8000	60



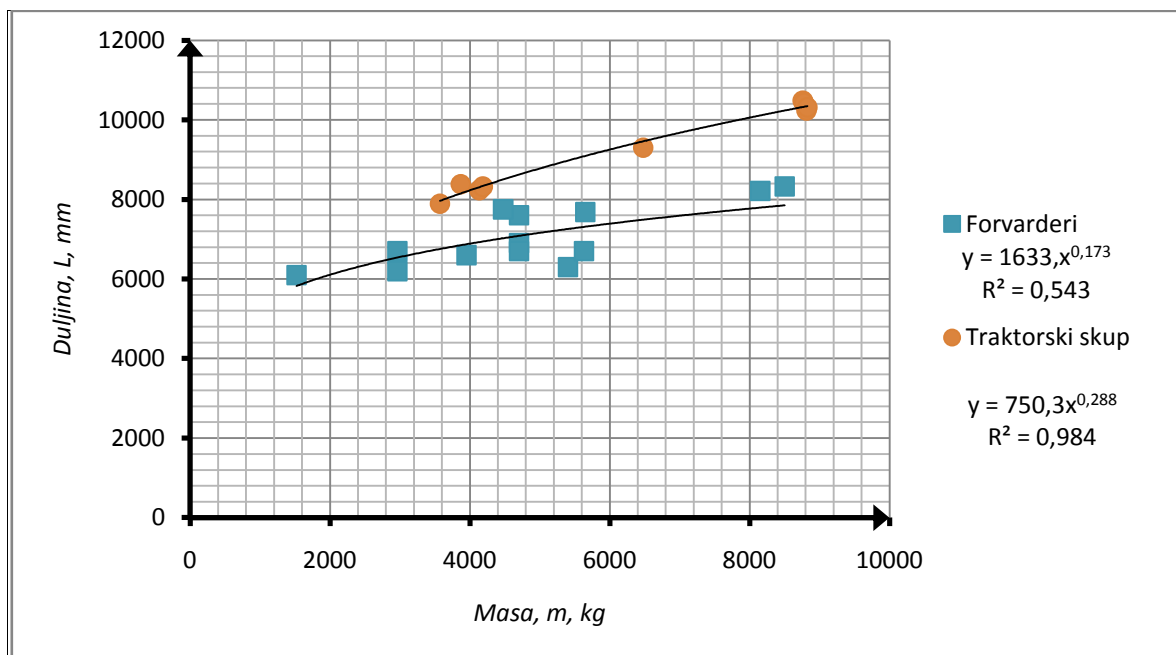
Podatci su tablično razvrstani i statistički obrađeni u računalnom programu Microsoft Office Excel 2007 pomoću kojega su određene postojeće ovisnosti i dobivene regresijske jednadžbe koje predstavljaju rezultate istraživanja. Čvrstoću odabranih regresijskih modela program prikazuje pomoću parametra  $R^2$  – kvadrat indeksa korelacije, pomoću njega određena je čvrstoća povezanosti između zadanih parametara.

## 6. REZULTATI

Provedenom morfološkom analizom polučile su se određene ovisnosti između morfoloških i ostalih značajki usporedbe lakih forvardera i traktorskih skupova. Na temelju usporedbe dobiti će se podatci o efikasnijem i sigurnijem izvoženju drva u proredi.

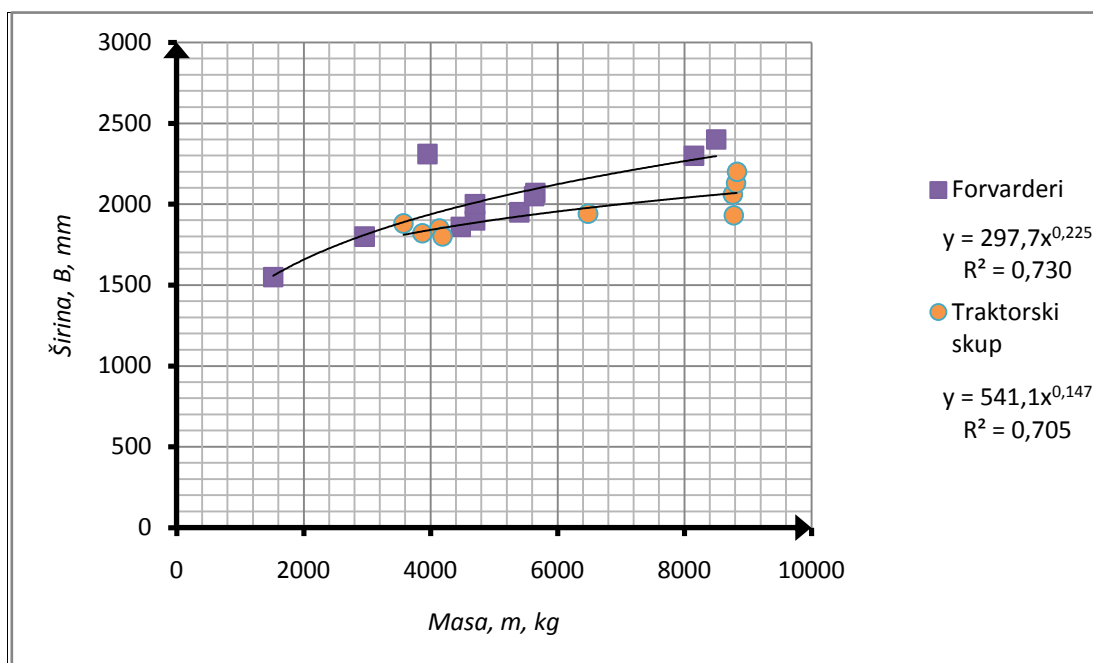
### 6.1. Ovisnosti pojedinih morfoloških značajki o masi forvardera

Kako je masa važan parametar u morfologiji forvardera ostali parametri poput duljine, širine, visine, nosivosti i podiznog momenta dizalice prikazani su u ovisnosti o njoj. Za izjednačavnje ovisnosti svih navedenih veličina po masi korišten je eksponencijalni regresijski model iz razloga što se polazi od pretpostavke da ako nema mase nema ni ostalih značajki vozila.



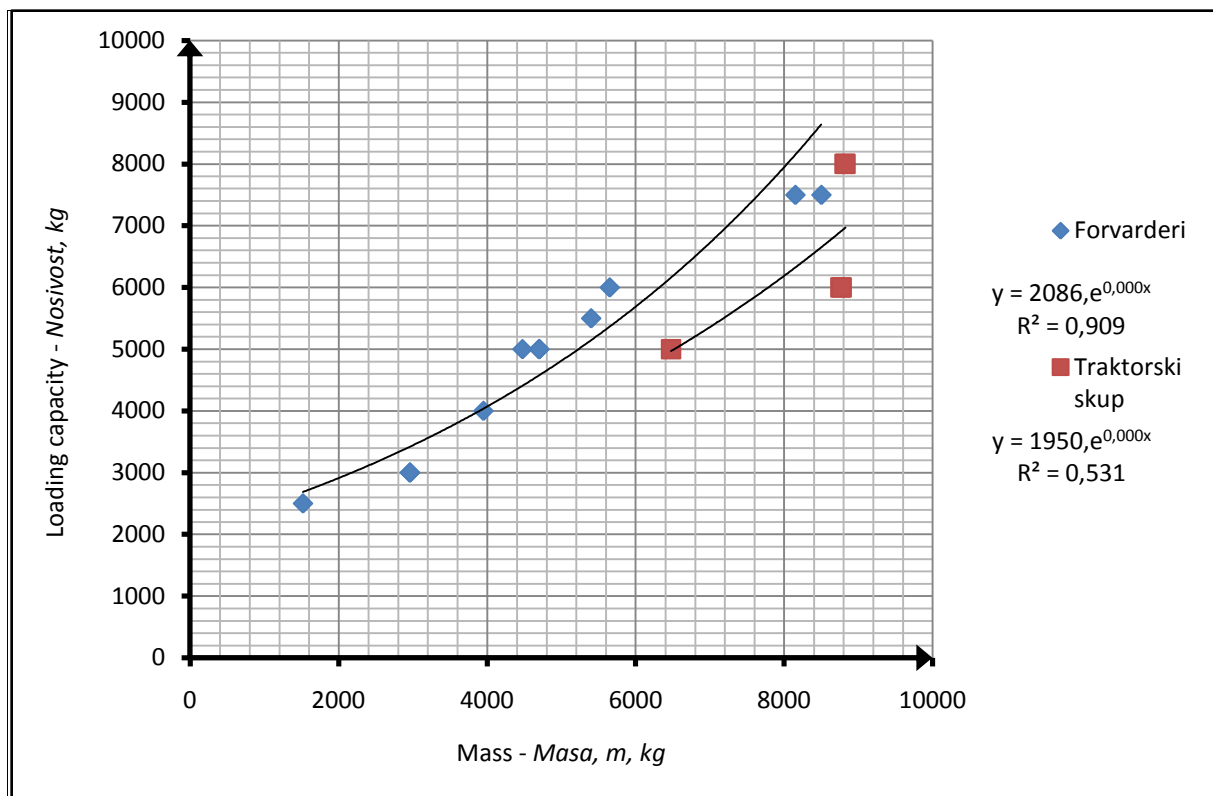
Slika 9. Ovisnost duljine o masi

Kod izjednačenja ovisnosti duljine i mase vidljivo je da su forvarderi pogodniji iz razloga što je njihova duljina kraća u odnosu na duljinu traktorskih skupova te im to omogućava bolju kretnost po šumskom bespuću. Veća duljina podrazumijeva veći polumjer okretanja, te posljedično, manju kretnost. Svrishodno tome smanjuje se vjerojatnost oštećenja dubećih stabala.



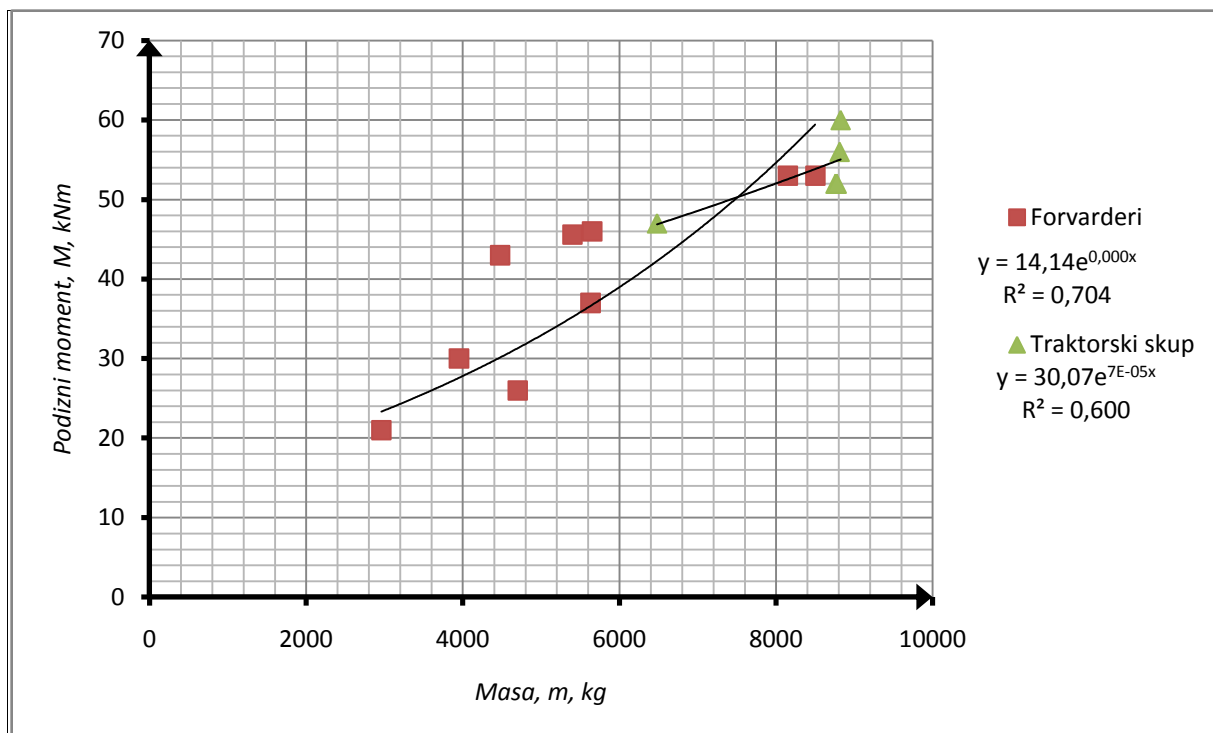
**Slika 10.** Ovisnost širine o masi

Porast širine u odnosu na masu nužan je zbog bočne stabilnosti, forvarderi imaju neznatno veću širinu od traktorskih skupova što je i vidljivo iz korelacijskih vrijednosti. Kod forvardera iznosi 0,730, dok kod traktorskih skupova iznosi 0,705. Od istraživanih forvardera ističe se Falcon F40 koji ima veću širinu u odnosu na promatrane traktorske skupove i forvardere približne ili iste mase.



**Slika 11.** Ovisnost nosivosti o masi

Na slici 11 iskazana je ovisnost nosivosti o masi. Zbog nedostatka podataka obrađeno je 5 traktorskih skupova što dovodi do razlike u korelacijskim vrijednostima. Nosivost forvardera je približna njegovoj masi, u većini slučajeva je i veća. Nosivost traktorskih skupova mase 8 tona veća je od nosivosti forvardera jednake mase. Kod ostalih vozila jednakih masa nosivost forvardera je veća.



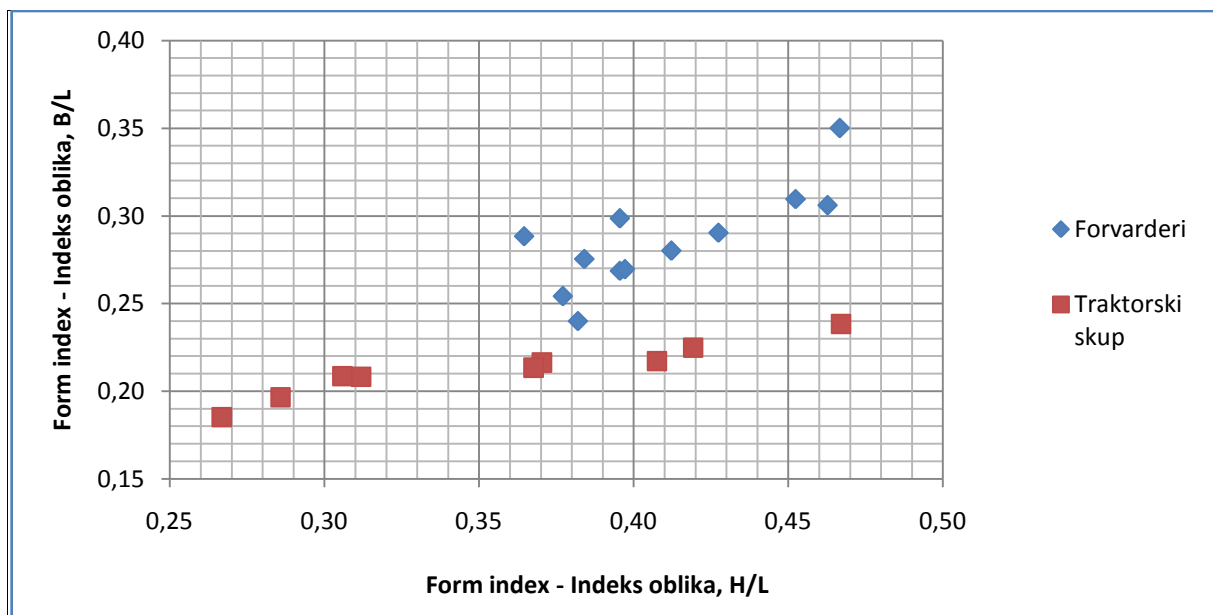
Slika 12. Ovisnost podiznog momenta o masi

Utovar i istovar drva vrši se hidrauličnom dizalicom ugrađenom na poluprikolicu forvardera i traktorskog skupa. Na Pionir ekipažama koristi se mehanička dizalica te zbog toga vrijednosti podiznog momenta nisu prikazane na grafikonu. Podizni moment kod forvardera kreće se između 21 i 53 kNm dok se te vrijednosti za traktorske skupove kreću između 47 i 60 kNm. Bitno je napomenuti da su korištene vrijednosti hidrauličnih dizalica standardna oprema forvardera te da postoji mogućnost ugradnje jačih dizalica.

## 6.2. Indeks oblika

Bekker (1956, 1960 i 1969) iznosi mišljenje da vozila trebaju poprimiti oblik čijem kretanju okoliš pruža najmanji otpor, tj. vozila trebaju imati što veću probojnost. Ako se vozilo prikaže u obliku prizme, tada omjeri  $H/L$  (visina/duljina) i  $B/L$  (širina/duljina) iskazuju važne obujmne značajke i nazivaju se indeksima oblika. Omjeri  $H/L$  i  $B/L$  nazivaju se indeksi oblika te služe kao početna obavijest o proučavanom vozilu i njegovom svrstavanju u već poznatu obitelj vozila.

Na grafikonu se jasno razlučuju laki forvarderi od traktorskih skupova, samim time indeks oblika nam je najbolji pokazatelj prilagođenosti specijaliziranih šumskih vozila (forvardera) od prilagođenih traktorskih skupova.



Slika 13. Indeks oblika

## 7.ZAKLJUČAK

Forvarderi su specijalna, zglobna upravljana šumska vozila, namijenjena izvoženju drva po traktorskim putevima i vlakam koje se isključivo koriste u sortimentnoj metodi izradbe drva, gdje se duljina oblovine prilagođava duljini utovarnog prostora poluprikolice.

Analizom karakteristika može se lakše odrediti stroj koji je po svojim karakteristikama pogodniji za naše potrebe i uvjetima na terenu, te ima veću učinkovitost od ostalih prorednih forvardera iz iste skupine te promatranih traktorskih skupova.

Za sve proredne forvardere znakovito je da s porastom mase eksponencijalno rastu gabaritne dimenzije vozila snaga motora, nosivost, podizni moment hidrauličke dizalice.

Rast duljine forvardera u odnosu na njegovu masu odražava se na njegovu kretnost po šumskom bespuću, zbog toga su konstruirani laki forvarderi kako bi u potpunosti odgovarali potrebama izvoženja drva tokom proreda, koji su ujedno i kraći od traktorskih skupova.

Širina forvardera se povećava sa njegovom masom, međutim zbog potreba kretnosti porast širine je ograničen. Veća širina je nužna zbog bočne stabilnosti stroja koja je narušena visoko pozicioniranim tovarom, tj. visokom točkom težišta. Zbog korištenja lakih forvardera u proredama njihova širina je ograničena te je neznatna razlika u odnosu na traktorske skupove.

Nosivost forvardera se smatra jednom od njegovih najbitnijih eksplotacijskih značajki, koja ovisi o njegovoj masi i u pravilu nosivost bi trebala biti približno jednaka masi forvardera, što je vidljivo iz korištenih primjera u ovome diplomskom radu.

Podizni moment dizalica sa standardnom opremom je manji kako bi forvarderi bili cjenovno pristupačniji, kod većine modela forvardera moguće je dodatno opremanje sa jačom dizalicom ovisno o dimenzijama sortimenata i željama kupca.

Analizom odnosa indeksa oblika dolazi se do zaključka da su forvarderi vozila koja imaju povoljniji indeks što mu omogućava lakšu kretnost, veću nosivost i manje oštećivanje dubućih stabala.



## 8.LITERATURA

1. Bekker, M., G., 1956: Theory of Land Locomotion, Univ. of Michigan Press, 1-499.
2. Bekker, M., G., 1960: Off-the-road locomotion, Univ. of Michigan Press, 1-215.
3. Bekker, M., G., 1969: Introduction to Terrain-Vehicle Systems, Univ. of Michigan Press, 1-846.
4. Bojanin, S.,S. Sever, 1987: Traktor. Šumarska enciklopedija, 3, JLZ „ Miroslav Krleža“ Zagreb, 513- 519
5. Horvat, D., 1993: Prilog proučavanja prohodnosti vozila na šumskom tlu. Disertacija, Fakultet Strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 1-234.
6. Horvat, D., Šušnjar, M., 2001: Morphological analysis of farming tractors used in forest works, FORMEC 2001, Mendel University of Agriculture and Forestry, Brno, 27-38.
7. Horvat, D., Šušnjar, M.,Tomašić, Ž., 2004: New technical and technological solutions in thinning operations of lowland forests, Poster br. 410, Prvi kongres hrvatskih znanstvenika iz domovine i inozemstva; Zagreb – Vukovar, 15. – 19. studenog 2004, Zbornik sažetaka postera znanstvenih novaka izlaganih u inozemstvu 2002., 2003. i 2004. godine, Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta Republike Hrvatske, I dio, str. 427.
8. Krpan, A.P.B, 1992: Iskorišćivanje šuma (Forest exploitation). Monografija “Šume u Hrvatskoj”, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i „Hrvatske šume“ p.o. Zagreb, 153 – 170.
9. Krpan, A.P.B., Poršinsky, T., Zečić, Ž., 2003: Studija o potrebnoj veličini zglobnog traktora (skidera) temeljem sastojinskih prilika glavnoga prihoda i primjenjene tehnologije. Znanstvena studija izrađena u sklopu tehnološkog projekta Ministarstva znanosti i tehnologije “Razvoj, ispitivanje i proizvodnja specijalnog šumskog vozila skidera mase do 7 t ( TP – C37/2002)”, Šumarski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 1 – 41.

10. Poršinsky, T., 2000: Čimbenici učinkovitosti forvardera Timberjack 1210 pri izvoženju oblog drva glavnog prihoda nizinskih šuma Hrvatske ( Efficiency factors of Timberjack 1210 at forwarding the main felling roundwood in Croatian lowland forests). Magistarski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1-140.
11. Poršinsky, T., 2005: Djelotvornost i ekološka pogodnost forvardera Timberjack 1710 pri izvoženju oblovine iz nizinskih šuma Hrvatske. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb 1-170.
12. Sever, S., 1980: Istraživanje nekih eksplotacijskih parametara traktorakod privlačenja drva. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1-301.
13. Sever, S., 1988: Produktivnost i performanse forvardera u radovima privlačenja drva (Productivity and performance of forwarders in hauling operations). Mehanizacija šumarstva 18(5-6): 59-87.
14. Šušnjar, M., 2005: Istraživanje međusobne ovisnosti značajki tla traktorske vlake i vučne značajke skidera Doktorska disertacija. Šumarski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 1-146.
15. Šušnjar, M., Horvat, D., Kristić, A., Pandur, Z., 2008: Morphological analysis of forest tractor assemblies. Croatian Journal of Forest Engineering 29 (1): 41-51.
16. Šušnjar, M., Kristić, A., Jambrek, N., 2009: Osovinsko opterećenje traktorskih skupova. Nova mehanizacija šumarstva 30(2009)
17. <https://vimek.se/>
18. <http://entracon.cz/en/>
19. <https://www.malwaforest.com/>
20. <http://www.kranman.com/en/products/bison>
21. <http://www.terri.se/sv/startsidea/>
22. <http://www.loader.cz/>