

# Određivanje faktora raspodjele mase tereta i privlačenja

Tomislav Poršinsky, Marijan Šušnjar, Andreja Đuka

## Nacrtak – Abstract

Na kretnost skidera pri privlačenju drva na nagnutom terenu značajno utječe raspodjela opterećenja po njegovim osovinama. Na raspodjelu opterećenja po osovinama skidera utječu: 1) dimenzijske značajke skidera (težina vozila, položaj točke težišta i horizontalnih valjaka), 2) smjer i nagib terena, 3) značajke vučenoga tereta koji je ovješten o vučno užice te 4) faktori raspodjele tereta i privlačenja.

U radu je analiziran, na primjeru skidera Ecotrac 120V, utjecaj nagiba terena i njegova smjera te značajki tereta – privlačenoga drva (masa, težina, obujam, površina poprečnoga presjeka, duljina, broj komada) na vrijednosti faktora raspodjele tereta i privlačenja. Korelacijom je utvrđena statistički značajna povezanost utjecajnih čimbenika s navedenim faktorima, nakon čega je regresijskom analizom utvrđena njihova ovisnost.

Korelacijski su koeficijenti sa statističkom značajnošću pokazali: 1) faktor raspodjele tereta obrnuto je proporcionalan masi, težini i obujmu privlačenoga tereta ( $r = -0,51$ ), 2) faktor privlačenja negativno je koreliran isključivo sa smjerom i iznosom nagiba terena ( $r = -0,71$ ). Na osnovi dobivenih spoznaja regresijskom analizom ustanovljena je ovisnost faktora raspodjele tereta o masi tereta, odnosno faktora privlačenja o nagibu terena i njegovu smjeru.

Uz poznavanje dimenzijskih značajki skidera Ecotrac 120V otvoren je put modeliranju kretnosti istraživanoga skidera radi određivanja njegova sigurnoga, učinkovitoga i okolišno prihvatljivoga područja rada s obzirom na smjer i nagib terena, nosivost podloge te veličinu vučenoga tereta.

Ključne riječi: faktor raspodjele tereta, faktor privlačenja drva, kretnost skidera

## 1. Uvod – Introduction

Prometnost je terena (eng. *terrain trafficability*) svojstvo terena da omogućuje prolazak (kretanje) vozila, pri čemu dolazi do izražaja utjecaj terenskih čimbenika (nagib terena, površinske prepreke i nosivost podloge) na kretnost vozila (Eichrodt 2003, Suvinen 2006, Lubello 2008). Pri privlačenju drva vozilima, zbog primarne zadaće – transporta drva, utjecaj na prometnost terena svakako ima i otvorenost šuma (neposredno preko srednje udaljenosti privlačenja drva koja je ekonomski parametar) i značajke transportiranoga tereta (obloga drva) zbog kretanja opterećenoga vozila. Između svih čimbenika prometnosti terena postoji izrazita međuovisnost.

Kretnost je vozila (eng. *vehicle mobility*) sposobnost prolaska vozila s jednoga na drugo mjesto u prostoru

uz zadržavanje mogućnosti izvršavanja svoje primarne zadaće – privlačenja drva. Mnogi parametri opisuju kretnost vozila za privlačenje drva, od kojih Šušnjar i dr. (2010) izdvajaju četiri najvažnija:

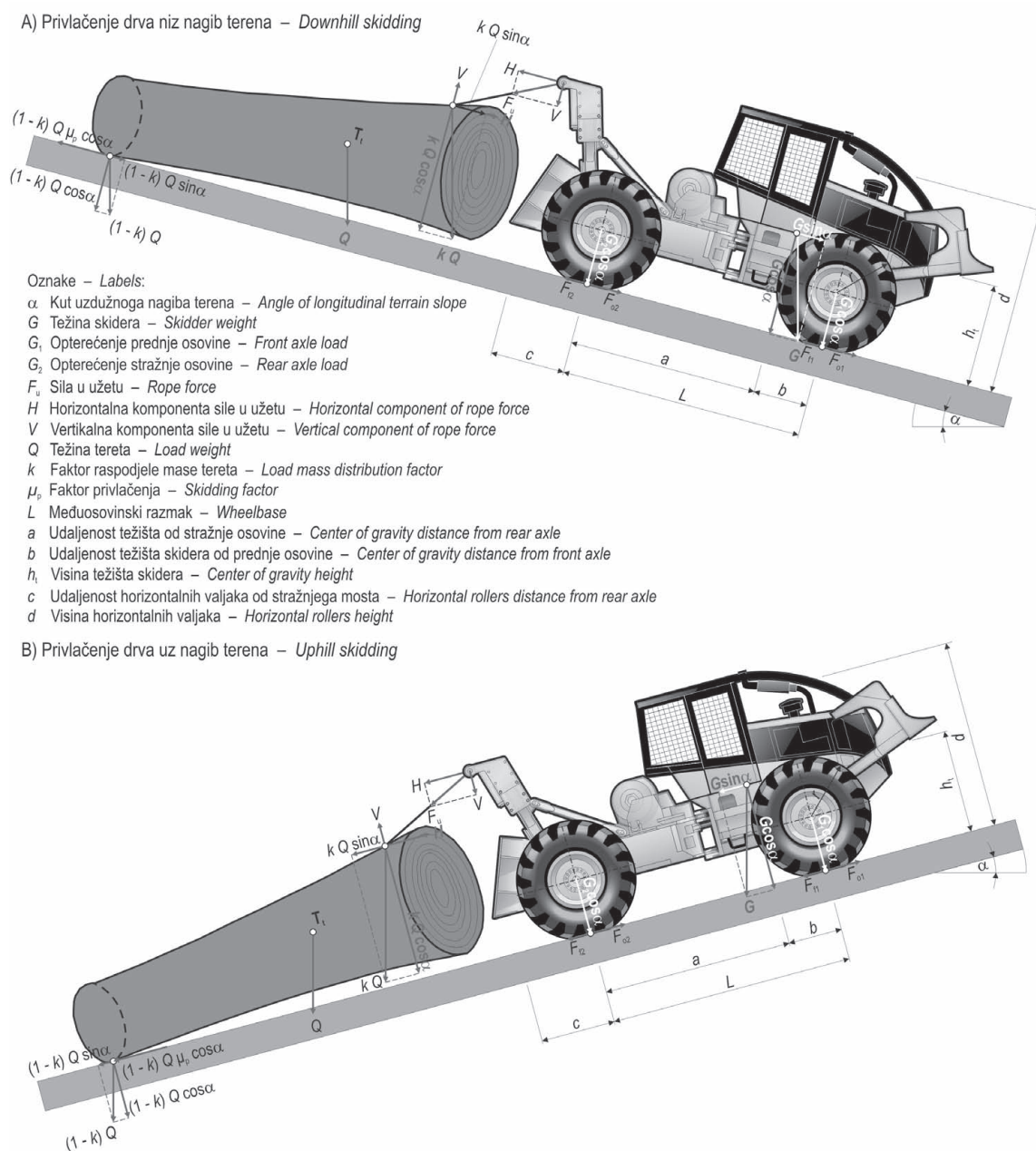
- ⇒ dimenzijske značajke (gabaritne mjere, polumjer okretanja, masa vozila i položaj točke težišta, uzdužni i bočni kut stabilnosti vozila, visina prohodnosti – klirens, kut zakretanja zgloba i kut oscilacije prednje osovine, rasterećenje prednje osovine, nosivost stražnje osovine, nosivost guma)
- ⇒ sposobnost svladavanja površinskih prepreka pri kretanju (visina prohodnosti – klirens, bočna stabilnost vozila)
- ⇒ vučne značajke (ovisnost klizanja, vučne snage i stvarne brzine o vučnoj sili te nosivosti podloge)

⇒ okolišna pogodnost (granični nominalni tlak vozila na podlogu i njegova izvedenica minimalni konusni indeks tla).

Primarni transport drva u hrvatskom šumarstvu zasnovan je na privlačenju drva vozilima, pri čemu je naznačajnije sredstvo rada skider opremljen s vitlom, kojim se prosječno godišnje privuče 59 % izrađenoga drva (Beuk i dr. 2007). Značenje skidera s vitlom, kao sredstva privlačenja drva, za hrvatsko šumarstvo

potvrđuje i Čavlović (2010) koji u sklopu analize podataka »Prve nacionalne inventure šuma Republike Hrvatske« navodi da se na 67,35 % površine šuma u Republici Hrvatskoj drvo privlači skiderom. To svakako valja poimati uz spoznaju da nagib terena > 10 % zauzima 60 % površine šuma u Hrvatskoj (Poršinsky i dr. 2012).

Skider s vitlom zgloбно je upravljano šumsko vozilo, namijenjeno privlačenju drva po traktorskim puto-



**Slika 1.** Raspodjela sili pri privlačenju drva skiderom s obzirom na smjer nagiba terena

**Fig. 1** Distribution of forces during downhill and uphill timber skidding

**Tablica 1.** Izrazi pojedinih parametara privlačenja drva skiderom s obzirom na smjer nagiba terena

**Table 1** Equations of some parameters of downhill and uphill timber skidding

Privlačenje drva niz nagib terena – Downhill skidding	Privlačenje drva uz nagib terena – Uphill skidding
Adhezijska težina – Adhesive weight	
$G_a = G \cdot \cos \alpha + V$	
Okomita sastavnica sile u užetu – Vertical component of rope force	
$V = k \cdot Q \cdot \cos \alpha$	
Horizontalna sastavnica sile u užetu – Horizontal component of rope force	
$H = Q \cdot (1 - k) \cdot \cos \alpha \cdot \mu_p - Q \cdot \sin \alpha$	$H = Q \cdot (1 - k) \cdot \cos \alpha \cdot \mu_p + Q \cdot \sin \alpha$
Opterećenje prednje osovine – Front axle load	
$G_1 = \frac{G \cdot \cos \alpha \cdot a + G \cdot \sin \alpha \cdot h_t - H \cdot d - V \cdot c}{L}$	$G_1 = \frac{G \cdot \cos \alpha \cdot a - G \cdot \sin \alpha \cdot h_t - H \cdot d - V \cdot c}{L}$
Opterećenje stražnje osovine – Rear axle load	
$G_2 = \frac{G \cdot \cos \alpha \cdot b - G \cdot \sin \alpha \cdot h_t + H \cdot d + V \cdot (L + c)}{L}$	$G_2 = \frac{G \cdot \cos \alpha \cdot b + G \cdot \sin \alpha \cdot h_t + H \cdot d + V \cdot (L + c)}{L}$
Kut uzdužne stabilnosti vozila – Angle of longitudinal vehicle stability	
$\operatorname{tg} \alpha = \frac{G \cdot b + Q \cdot (1 - k) \cdot \mu_p \cdot d + k \cdot Q \cdot (L + c)}{Q \cdot d - G \cdot h_t}$	$\operatorname{tg} \alpha = \frac{G \cdot a - Q \cdot (1 - k) \cdot \mu_p \cdot d - k \cdot Q \cdot c}{Q \cdot d + G \cdot h_t}$
Granični teret prema uzdužnoj stabilnosti vozila – Critical load according to longitudinal vehicle stability	
$Q_{\text{crit}} = \frac{G \cdot (a \cdot \cos \alpha + h_t \cdot \sin \alpha)}{d \cdot \sin \alpha + k \cdot c \cdot \cos \alpha + d \cdot (1 - k) \cdot \mu_p \cdot \cos \alpha}$	$Q_{\text{crit}} = \frac{G \cdot (a \cdot \cos \alpha - h_t \cdot \sin \alpha)}{d \cdot \sin \alpha + k \cdot c \cdot \cos \alpha + d \cdot (1 - k) \cdot \mu_p \cdot \cos \alpha}$
Vučna sila – Drawbar pull	
$F_v = H - G_a \cdot \sin \alpha$	$F_v = H + G_a \cdot \sin \alpha$
Faktor neto vuče – Net traction factor	
$\mu = \frac{F_v}{G_a} = \frac{H - G_a \cdot \sin \alpha}{G_a}$	$\mu = \frac{F_v}{G_a} = \frac{H + G_a \cdot \sin \alpha}{G_a}$

vima i vlakama te šumskomu bespuću, za koje je znakovito da vučena oblovinu jednim krajem dodiruje tlo, iz čega izlazi njegova osnovna namjena – dosezanje vučne sile koja se ostvaruje preko oboda kotača (Sever 1980, Sever i Horvat 1985). Šasije se većine zglobnih šumskih traktora sastoje od dvaju odvojenih okvira, prednjega pogonskoga dijela vozila i stražnjega (nosača zaštitne daske i vitla) koji su spojeni zglobno, s mogućnošću gibanja samo u vodoravnoj ravnini, dok se poprečno prilagođavanje terenu omogućuje njihanjem prednje osovine (potrebno radi povećanja njegove kretnosti po šumskom bespuću). Osim zglobnoga upravljanja osnovna je značajka skidera pogon na sva četiri kotača istih dimenzija te opterećenje prednje osovine neopterećenoga vozila s približno 2/3 ukupne mase,

što mu omogućuje bolju kretnost pri privlačenju drva na nagnutim terenima (Sever i Horvat 1985, Sever 1990, Šušnjar 2005). Osim za skupljanje drva vučnim užetom vitla (drvo ide k vozilu) te za privlačenje drva, služi i za uhrpavanje drva prednjom daskom na pomoćnom stovarištu, odnosno uklanjanje prepreka na traktorskim putovima ili vlakama (Sever 1992). Pogodan je za rad u svim uzgojnim zahvatima i metodama izradbe drva, iako valja istaknuti da uporaba skidera u sortimentnoj metodi izradbe drva nepovoljno djeluje na njegovu proizvodnost zbog djelovanja zakona obujma komada (Sabo i Poršinsky 2005). Općeprihvaćeno područje rada skidera su tereni  $< \pm 30\%$  nagiba na udaljenostima privlačenja drva  $< 400$  m (MacDonald 1999, Kühmaier i Stampfer 2010).

Privlačenje se drva skiderima odvija s jednim krajem tereta odignutim od tla i preko užeta vitla ovješanim na zadnji kraj vozila, dok se drugi oslonjeni kraj tereta vuče po tlu. S obzirom na to da se jedan dio tereta nalazi oslonjen na tlo, na užetu se drži samo određeni dio težine tereta. Zbog vuče po tlu oslonjenoga dijela tovara javlja se otpor privlačenja određen težinom tovara oslonjenim na tlo i faktorom privlačenja.

Zbog toga što se dinamika kretanja skidera značajno razlikuje sa smjerom privlačenja drva (Sever i Horvat 1985, Horvat 1990, Šušnjar i Horvat 2006, Tomašić i dr. 2007, Tomašić i dr. 2009), prikaz raspodjele sile i izraza za njezin izračun pri privlačenju drva niz nagib i uz nagib terena dan je na slici 1, odnosno u tablici 1.

Iz prikaza izraza pojedinih parametara privlačenja drva skiderom s obzirom na nagib (i njegov smjer) terena te težinu (masu, obujam) tereta (slika 1, tablica 1) uočavaju se potrebne ulazne veličine za njihov izračun:

- ⇒ masa (težina) neopterećenoga vozila
- ⇒ položaj točke težišta (visina i udaljenost od prednje, odnosno stražnje osovine)
- ⇒ položaj horizontalnih valjaka (visina i udaljenost od stražnje osovine)
- ⇒ faktor raspodjele tereta
- ⇒ faktor privlačenja.

Osim faktora raspodjele tereta i privlačenja drva za skidere hrvatske šumske strojogradnje Ecotrac 120V i Ecotrac 55V, na osnovi prethodnih istraživanja (Šušnjar 2005, Tomašić 2007) poznate su sve ostale ulazne veličine potrebne za izračun navedenih parametara.

Faktor raspodjele mase tereta pokazuje kolika je masa tereta odignuta od tla, odnosno ovješena na užu, a kolika se vuče oslonjena na tlo (izraz 1). Ako faktor raspodjele mase tereta iznosi 0,5, to znači da je jednak dio mase odignut od tla i istodobno oslonjen na tlo, odnosno da teret ima oblik geometrijskoga tijela valjka. Značenje faktora raspodjele mase tereta na privlačenje drva ogleda se u nastojanju da se što veći dio tereta (vučenoga drva) odigne od tla kako bi se povećala adhezijska težina vozila, smanjilo oštećenje tla, ali i smanjila vučna sila potrebna za svladavanje otpora privlačenja. Dosadašnja su istraživanja (Hassan i Gustafson 1983, Horvat 1987) pokazala da faktor raspodjele mase tereta ne ovisi samo o dimenzijama tereta, već i o visini hvatišta sile u užetu kojim je teret pričvršćen za skider.

$$k = \frac{V}{Q \cdot \cos \alpha} \quad (1)$$

$$\mu_p = \frac{H \pm Q \cdot \sin \alpha}{Q \cdot (1 - k) \cdot \cos \alpha} \quad (2)$$

gdje su:

- $k$  faktor raspodjele mase tereta
- $\mu_p$  faktor privlačenja
- $V$  okomita sastavnica sile u užetu
- $H$  horizontalna sastavnica sile u užetu
- $Q$  težina tereta
- $\alpha$  uzdužni kut nagiba terena

Zbog vuče po tlu dijela tovara javlja se otpor privlačenja određen težinom tereta oslonjenoga na tlo i faktorom privlačenja. Horizontalna sastavnica sile u užetu svladava otpore privlačenja između dijela težine tereta i tla te se stoga na osnovi poznatih vrijednosti sile, težine i faktora raspodjele tovara i nagiba terena izračunava faktor privlačenja (izraz 2). Šušnjar (2005) navodi da faktor privlačenja osim o težini tereta ovisi o obliku tereta, veličini dodirne površine tereta s tlom i mikroreljefu traktorske vlake (neravnine tla). Oblik se tereta razlikuje s obzirom na metodu izrade (stablovna, deblovna, sortimentna), ali i oblik pojedinih komada u tovaru (zakrivljenost drvnih sortimenta, hrapavost kore, učestalost i veličina kvrga). Veličina dodirne površine između tovara i tla ovisi o visini vezanja tovara, orijentaciji vuče i broju komada u teretu. Porastom točke vezanja tereta smanjuje se dodirna površina tereta s tlom i otpor privlačenja.

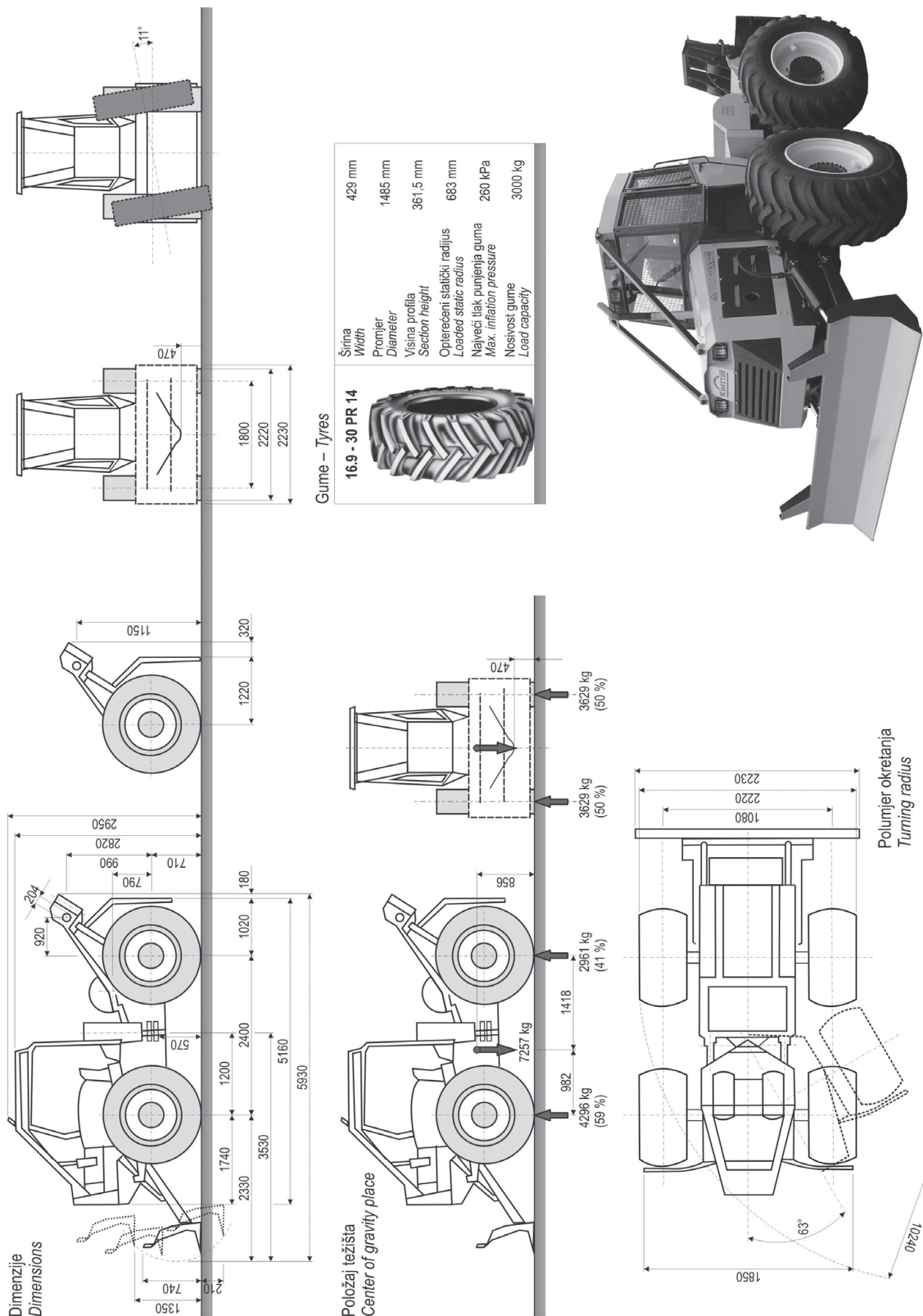
Istražujući vučne značajke skidera Kockums 821 na ravnoj vlaci, pri privlačenju drva sortimentnom, deblovnom i stablovnom metodom izradbe, Sever (1980) utvrđuje približno iste prosječne vrijednosti faktora raspodjele mase tereta  $0,462 \pm 0,118$  ( $0,232 - 0,673$ ), odnosno faktora privlačenja  $0,442 \pm 0,120$  ( $0,310 - 0,789$ ). Na osnovi analize rezultata sa statističkom značajnošću utvrđuje da na faktor raspodjele mase tereta djeluje orijentacija vezanja tereta (deblji, odnosno tanji kraj), ali i da je obrnuto proporcionalan s masom i duljinom privlačenoga drva. Ni jedan parametar tereta nije ukazao na statističku značajnu povezanost s faktorom privlačenja.

Cilj je ovoga rada, na osnovi mjerenja na skideru Ecotrac 120V, istražiti utjecaj značajki vučenoga tereta te nagiba (i njegova smjera) terena na vrijednosti faktora raspodjele tereta i privlačenja.

## 2. Materijal i metode – *Material and methods*

Za istraživanje čimbenika koji djeluju na faktore raspodjele mase tereta i privlačenja korišteni su rezultati prethodnoga istraživanja vučnih značajki skidera Ecotrac 120V (Šušnjar 2005), koje je provedeno na traktorskim vlakama nagiba 15 % i 30 %, pri kretanju opterećenoga skidera u oba smjera nagiba.





**Slika 2.** Tehničke značajke skidera Ecotrac 120V  
**Fig. 2** Technical data of Ecotrac 120V skidder

**Tablica 2.** Podaci vezani uz mjerenje sile horizontalne i okomite sastavnice sile u užetu (Šušnjar 2005)**Table 2** Data related to measured horizontal and vertical component of rope force (Šušnjar 2005)

Uzdužni nagib terena Longitudinal terrain slope	Masa tereta Load mass	Obujam tereta Load volume	Težina tereta Load weight	Trupaca u teretu No. of logs in the load	Poprečni presjek tereta Cross-cut area of load	Duljina tereta Load length	Horizontalna sastavnica sile u užetu Horizontal component of rope force	Okomita sastavnica sile u užetu Vertical component of rope force	Faktor raspodjele mase tereta Load mass distribution factor	Faktor privlačenja Skidding factor
$\alpha$ , %	$Q$ , t	$Q$ , m <sup>3</sup>	$Q$ , kN	$Q$ , kom. (pcs)	$Q$ , m <sup>2</sup>	$Q$ , m	$H$ , kN	$V$ , kN	$k$	$\mu_p$
15	2,519	2,373	24,711	2	0,297	8,0	8,602	13,063	0,53	0,43
15	3,868	3,605	37,945	3	0,470	7,7	13,238	19,684	0,52	0,43
15	3,868	3,605	37,945	3	0,470	7,7	15,243	17,586	0,47	0,48
15	1,627	1,513	15,961	2	0,393	3,8	5,985	8,628	0,55	0,51
15	2,567	2,377	25,182	3	0,589	4,0	13,608	10,643	0,43	0,69
15	2,972	2,777	29,155	4	0,708	3,8	10,178	12,905	0,45	0,37
30	0,929	0,896	9,113	1	0,119	7,5	3,832	5,275	0,60	0,35
30	2,272	2,159	22,288	2	0,264	8,1	11,079	7,473	0,35	0,34
30	1,627	1,513	15,961	2	0,393	3,8	5,853	10,208	0,67	0,25
–15	2,519	2,373	24,711	2	0,297	8,0	3,440	13,738	0,56	0,66
–15	3,868	3,605	37,945	3	0,470	7,7	3,905	19,35	0,52	0,52
–15	3,868	3,605	37,945	3	0,470	7,7	4,136	21,598	0,58	0,61
–15	2,972	2,777	29,155	4	0,708	3,8	3,792	13,404	0,46	0,53
–30	2,519	2,373	24,711	2	0,297	8,0	1,118	9,421	0,40	0,58
–30	3,868	3,605	37,945	3	0,470	7,7	2,379	13,49	0,37	0,58
–30	4,797	4,501	47,059	4	0,589	7,7	–0,247	14,176	0,31	0,43
–30	1,627	1,513	15,961	2	0,393	3,8	0,305	8,746	0,57	0,75
–30	2,567	2,377	25,182	3	0,589	4,0	1,533	10,908	0,45	0,66
–30	2,972	2,777	29,155	4	0,708	3,8	2,538	11,942	0,43	0,68

Skider Ecotrac 120V četverokotačno je zglobno vozilo (pogona 4 × 4) opremljeno dvobubanjskim šumskim vitlom Hittner 2 × 80, nazivne vučne sile od 80 kN. Skider je pogonjen šestocilindričnim dizelskim motorom DEUTZ, nazivne snage 84 kW pri 2300 min<sup>–1</sup> te najvećega zakretnoga momenta od 400 Nm pri 1500 min<sup>–1</sup>. Osnovne tehničke značajke skidera Ecotrac 120V prikazane su na slici 2.

Faktori raspodjele mase tereta i privlačenja izračunati su na osnovi rezultata mjerenja: 1) horizontalne i okomite sastavnice sile u užetu vlačno-tlačnim dinamometrima HBM 50 kN i HBM 20 kN postavljenim točno u okomitij i usporednoj ravnini s obzirom na podlogu pri potpuno podignutoj zadnjoj prihvatno-zaštitnoj dasci skidera, 2) težine privlačenoga tereta i

3) nagiba terena (traktorske vlake). Obujam je tereta iskazan na osnovi mjerenja duljine te promjera s kojom na debljem kraju, sredini duljine i tanjem kraju svakoga pojedinoga komada hrastove oblovinu u teretu, a obujam je procijenjen Riecke-Newtonovim izrazom. Masa pojedinih komada hrastove oblovinu mjerenja je prijenosnim vagama TELUB. Tijekom istraživanja nije se pazilo na smjer vezanja tereta (deblji, odnosno tanji kraj) zbog ograničenja vezanja većega broja komada oblovinu za držač veznoga užeta isključivo s prednjim ili tanjim krajem sortimenta odignutim od tla zbog položaja mjerne opreme.

Privlačeni tereti međusobno su se razlikovali s obzirom na broj i dimenzije izrađene lužnjakove oblovinu u teretu, odnosno njihov obujam, masu i težinu

(tablica 2). Gustoća tereta (hrastove oblovine) iznosila je  $1,07 \pm 0,01 \text{ t/m}^3$ .

Obrada i analiza podataka provedena je uz pomoć Microsoft Excela i statističkoga paketa Statistica 8.0. Nakon deskriptivne obrade podataka provedena je korelacija između analiziranih varijabli radi utvrđivanja postojanja povezanosti utjecajnih čimbenika s istraživanim faktorima, nakon čega su regresijskom analizom utvrđene njihove ovisnosti. Pri svim analizama pogreška od 5 % smatrala se statistički značajnom.

### 3. Rezultati – Results

Slika 3 prikazuje deskriptivnu statističku analizu faktora raspodjele mase tereta i faktora privlačenja. Uzorak podataka mjerenja faktora raspodjele mase tereta kretao se u rasponu od 0,31 do 0,67, s prosječnom vrijednošću  $0,485 \pm 0,093$  (medijan 0,470). Kod faktora

privlačenja utvrđen je veći raspon vrijednosti ( $0,25 - 0,75$ ), ali i veće rasipanje podataka. Prosječna vrijednost faktora privlačenja ( $0,518 \pm 0,138$ ) koincidira s medijanom (0,520). Ostvareni su rezultati pod utjecajem mjerenja na različitim nagibima i smjerovima nagiba terena ( $-30\%$ ,  $-15\%$ ,  $+15\%$ ,  $+30\%$ ), privlačenju tereta sastavljenoga od različitoga broja oblovine (1 – 4), ali i različite duljine (3,8 – 8 m) te samim time obujma ( $0,9 - 4,5 \text{ m}^3$ ), mase ( $0,9 - 4,8 \text{ t}$ ), odnosno težine (9 – 47 kN), ali i različite orijentacije oblovine u tovaru.

U tablici 3 prikazani su rezultati dvosmjerne korelacije između svih varijabli obuhvaćenih istraživanjem radi određivanja njihove međusobne povezanosti.

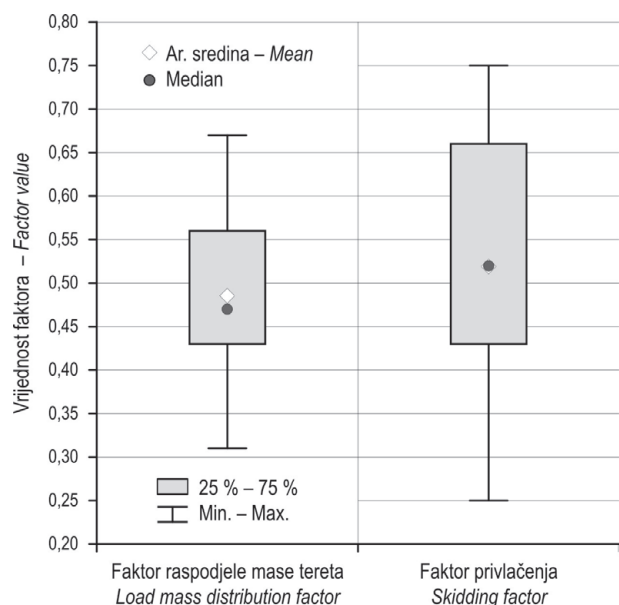
Faktor raspodjele tereta statistički je značajno ( $p < 0,05$ ) i dobro obrnuto proporcionalno ( $r = -0,51$ ) povezan s masom, obujmom te težinom tereta, odnosno brojem komada oblovine u privlačenom teretu. Iste vrijednosti koeficijenta korelacije ( $r = -0,51$ ) i navedenih

**Tablica 3.** Korelacija podataka

**Table 3** Correlation

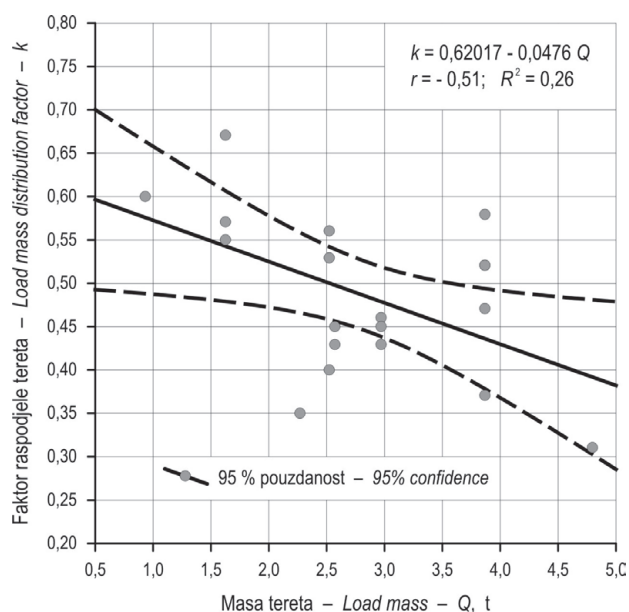
	Faktor raspodjele mase tereta <i>Load mass distribution factor</i>	Faktor privlačenja <i>Skidding factor</i>	Nagib terena <i>Terrain slope</i>	Masa tereta <i>Load mass</i>	Obujam tereta <i>Load volume</i>	Težina tereta <i>Load weight</i>	Broj trupaca u teretu <i>No. of logs in the load</i>	Poprečni presjek tereta <i>Load cross-cut area</i>	Duljina tereta <i>Load length</i>
Faktor raspodjele mase tereta <i>Load mass distribution factor</i>	1,0000	-0,1211	0,3576	-0,5106*	-0,5157*	-0,5106*	-0,5147*	-0,3754	-0,1718
Faktor privlačenja <i>Skidding faktor</i>	-0,1211	1,0000	-0,7139*	0,0862	0,0790	0,0862	0,1759	0,2749	-0,2159
Nagib terena <i>Terrain slope</i>	0,3576	-0,7139*	1,0000	-0,4039	-0,4019	-0,4039	-0,4044	-0,3701	0,0211
Masa tereta <i>Load mass</i>	-0,5106*	0,0862	-0,4039	1,0000	0,9998*	1,0000*	0,7204*	0,5070*	0,3948
Obujam tereta <i>Load volume</i>	-0,5157*	0,0790	-0,4019	0,9998*	1,0000	0,9998*	0,7161*	0,4987*	0,4057
Težina tereta <i>Load weight</i>	-0,5106*	0,0862	-0,4039	1,0000*	0,9998*	1,0000	0,7204*	0,5070*	0,3948
Broj trupaca u teretu <i>No. of logs in the load</i>	-0,5147*	0,1759	-0,4044	0,7204*	0,7161*	0,7204*	1,0000	0,9451*	-0,2763
Poprečni presjek tereta <i>Load cross-cut area</i>	-0,3754	0,2749	-0,3701	0,5070*	0,4987*	0,5070*	0,9451*	1,0000	-0,5572*
Duljina tereta <i>Load length</i>	-0,1718	-0,2159	0,0211	0,3948	0,4057	0,3948	-0,2763	-0,5572*	1,0000

\* Korelacija je značajna za  $p < 0,05$  – Correlations are significant at  $p < 0,05$



Slika 3. Deskriptivna statistika istraživanih faktora

Fig. 3 Descriptive statistics of researched factors



Slika 4. Ovisnost faktora raspodjele tereta o masi tereta

Fig. 4 Load distribution factor vs. load mass

značajki privlačenoga tereta s faktorom raspodjele mase tereta posljedica su čvrste povezanosti mase, težine i obujma drva kao fizikalnih veličina zbog konstantne gustoće drva. Posebno valja istaknuti da rezultati korelacije nisu ukazali sa statističkom značajnošću očekivanu povezanost duljine privlačenoga tereta te nagiba terena i njegova smjera s faktorom raspodjele mase

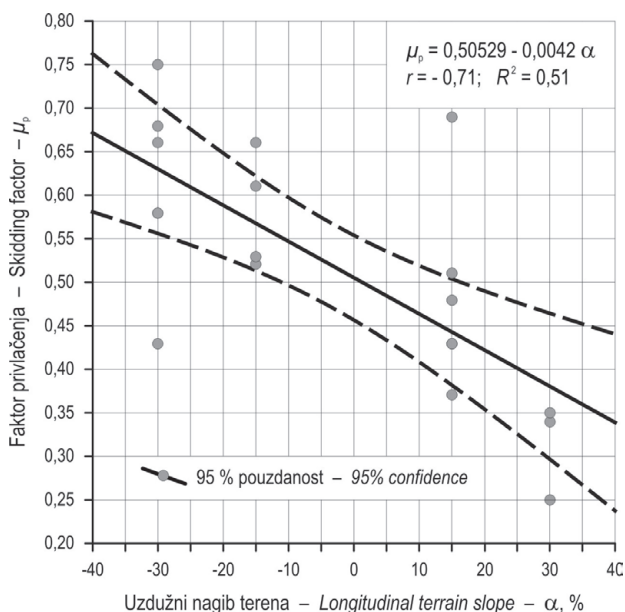
tereta. Navedeno očekivanje nalazi potvrdu u jednostavnim spoznajama:

⇒ obujam (masa, težina) tereta privlačenoga obloga drva raste s porastom promjera i duljine obloga drva te broja komada vezane oblovinu u formiranom teretu, što dovodi do pada vrijednosti faktora raspodjele mase tereta porastom duljine privlačenoga tereta

⇒ porastom nagiba terena, ali i promjene smjera privlačenja drva (niz nagib i uz nagib) dolazi do rasta vertikalne sastavnice sile u užetu (Šušnjar 2005, Tomašić 2007), što u konačnici rezultira porastom faktora raspodjele mase tereta.

Na izostanak statistički značajne koreliranosti faktora raspodjele mase tereta i nagiba terena te duljine privlačenoga tereta utječe duljina tereta od 4 m (sortimentna metoda) i 8 m (duga oblovinu), koje su duljine obuhvaćene istraživanjem, ali i nevaloriziranje orijentacije vezanja tereta (deblji, odnosno tanji kraj). Sve se to odrazilo i na faktor determinacije ( $R^2 = 0,26$ ) linearne ovisnosti faktora raspodjele tereta o masi privlačenoga drva (slika 4).

Faktor privlačenja statistički je značajno ( $p < 0,05$ ) i vrlo dobro te obrnuto proporcionalno ( $r = -0,71$ ), povezan isključivo s nagibom terena i sa smjerom privlačenja drva (tablica 3). Statistički značajna koreliranost značajki tereta (masa, duljina) s faktorom privlačenja drva izostaje zbog činjenice da su one već sadržane u njemu preko faktora raspodjele mase tereta. Ostvarenu kore-



Slika 5. Ovisnost faktora privlačenja o nagibu terena

Fig. 5 Skidding factor vs. terrain slope



laciju potvrđuju istraživanja vučnih značajki skidera (Šušnjar 2005, Tomašić 2007) u rastu horizontalne sastavnica sile u užetu s porastom nagiba terena pri privlačenju drva uz nagib, odnosno njezin pad pri porastu pada nagiba terena (privlačenje nizbrdo). Navedeno potvrđuju istraživanja Severa (1980), koji kod privlačenja drva skiderom Kockums 821 na ravnom terenu utvrđuje da ni jedan parametar tereta nije pokazao statističku značajnu povezanost s faktorom privlačenja. Linearna ovisnost faktora privlačenja o uzdužnom nagibu terena i smjeru privlačenja drva ( $R^2 = 0,51$ ) prikazana je na slici 5.

#### 4. Umjesto zaključka – *Instead of conclusion*

Poznavanjem utjecajnih čimbenika faktora raspodjele mase tereta i faktora privlačenja drva te dimenzijskih značajki skidera otvoren je put modeliranju kretnosti skidera radi određivanja njegova sigurnoga, učinkovitoga i okolišno prihvatljivoga područja rada s obzirom na nagib terena i smjer privlačenja drva, nosivost podloge, veličinu vučenoga tereta, uz poštivanje ograničenja iz prethodnih istraživanja:

- ⇒ rasterećenja prednje osovine vozila (Weise i Nick 2003)
- ⇒ preopterećenja stražnje osovine vozila (Horvat 1990)
- ⇒ graničnoga tereta prema uzdužnoj stabilnosti vozila (Sever 1980, Sever i Horvat 1985)
- ⇒ kutu bočne stabilnosti vozila (Sever 1980, Sever i Horvat 1985)
- ⇒ graničnoga nagiba terena pri kojem teret počinje gurati vozilo nizbrdo (Šušnjar i dr. 2010)
- ⇒ nosivosti guma kojima je vozilo opremljeno
- ⇒ graničnoga nagiba kretnosti vozila (Eichrodt i Heinimann 2001, Eichrodt 2003)
- ⇒ okolišne pogodnosti – nominalnoga tlaka vozila na podlogu (Mellgren 1980), odnosno najmanjega konusnoga indeksa tla (Wronsky i Humpreys 1994).

#### 5. Literatura – *References*

Beuk, D., Ž. Tomašić, D. Horvat, 2007: Status and development of forest harvesting mechanization in Croatian state forestry. *Croat. j. for. eng.*, 28(1): 63–82.

Čavlović, J., 2010: Prva nacionalna inventura šuma Republike Hrvatske. Ministarstvo regionalnog razvoja, šumarstva i vodnoga gospodarstva Republike Hrvatske i Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, str. 1–300.

Eichrodt, A. W., 2003: Development of a spatial trafficability evaluation system. Dissertation, ETH, Zürich, str. 1–165.

Eichrodt, A. W., H. R. Heinimann, 2001: Mobility of Timber Harvesting Vehicles. Proceedings »Appalachian Hardwoods: Managing Change«, Council on Forest Engineering (COFE), July 15–18, 2001, Snowshoe, USA, str. 1–6.

Hassan, A. E., M. L. Gustafson, 1983: Factors Affecting Tree Skidding Forces. *Transaction of the ASAE*, 26(1): 47–53.

Horvat, D., 1987: Skidder Wheel Torque Measuring. Proceedings of 9th ISTVS International Conference, Barcelona, Vol II: 531–541.

Horvat, D., 1990: Predviđanje vučnih karakteristika šumskog zglobnog traktora – skidera. *Meh. šumar.*, 15(7–8): 113–118.

Horvat, D., R. Spinelli, M. Šušnjar, 2005: Resistance Coefficients on Ground-based Winching of Timber. *Croat. j. for. eng.*, 26(1): 3–11.

Inoue, M., T. Tsujii, 2003: Management, technology and system design of mechanized forestry in Japan. Textbook of forestry mechanization technology, Forestry Mechanization Society, Akasaka, Minato-ku, Tokyo, Japan, Forestry Machine Series, 92: 1–122.

Kühmaier, M., K. Stampfer, 2010: Development of a Multi-Attribute Spatial Decision Support System in Selecting Timber Harvesting Systems. *Croat. j. for. eng.*, 32(2): 75–88.

Lubello, D., 2008: A rule based SDSS for integrated forest harvesting planning. Dissertation, Università degli studi di Padova, Padova, Italia, str. 1–213.

MacDonald, A. J., 1999: Harvesting Systems and Equipment in British Columbia. *FERIC, Handbook No. HB-12*, str. 1–197.

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

Poršinsky, T., T. Pentek, A. Đuka, 2012: Opisna i namjenska klasifikacija terena za pridobivanje drva i otvaranje šuma. Studija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, str. 1–64.

Sever, S., 1980: Istraživanje nekih eksploatacijskih parametara traktora kod privlačenja drva. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, str. 1–301.

Sever, S., Horvat, D., 1985: Šumski zglobni traktor snage oko 60 kW. Studija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, str. 1–187.

Sever, S., 1990: Skidder traction factors. *Journal of Forest Engineering*, 1(2): 15–23.

Sever, S., 1992: Šumarski strojevi. Tehnička enciklopedija, 12, Leksikografski zavod »Miroslav Krleža«, Zagreb, str. 519–531.

Suvinen, A., 2002: Terrain mobility model and determination of optimal off-road route. Department of forest resource management, University of Helsinki, Finland, Publications, 30: 1–33.

Suvinen, A., 2006: A GIS-based simulation model for terrain tractability. *Journal of Terramechanics*, 43(4): 427–449.

Šušnjar, M., 2005: Istraživanje međusobne ovisnosti značajki tla traktorske vlake i vučne značajke skidera. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, str. 1–146.

Šušnjar, M., D. Horvat, 2006: Dinamičko opterećenje kotača skidera pri privlačenju drva. Glas. šum. pokuse, posebno izd., 5: 601–616.

Šušnjar, M., A. Bosner, T. Poršinsky, 2010: Vučne značajke skidera pri privlačenju drva niz nagib. Nova meh. šumar., 31: 3–14.

Tomašić, Ž., 2007: Istraživanje tehničko-eksploatacijskih značajki skidera za prorede. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, str. 1–316.

Tomašić, Ž., D. Horvat, M. Šušnjar, 2007: Raspodjela opterećenja kotača skidera pri privlačenju drva. Nova meh. šumar., 28(2007): 27–36.

Tomašić, Ž., M. Šušnjar, D. Horvat, Z. Pandur, 2009: Forces Affecting Timber Skidding. Croat. j. for. eng., 30(2): 127–139.

Weise, G., L. Nick, 2003: Determining the performance and the environmental impact of forest machines – Classification numbers and performance diagrams. Proceedings of Austro 2003 – High Tech Forest Operations for Mountainous Terrain, October 5–9, 2003, Schlägl, Austria, University of Natural Resources and Applied Life Sciences Vienna, CD-ROM, str. 1–10.

Wronski, E. B., N. Humphreys, 1994: A method for evaluating the cumulative impact of ground-based logging systems on soils. Journal of Forest Engineering, 5(2): 9–20.

---

## Abstract

---

### *Determination of Load Mass Distribution and Skidding Factors*

*Axle load distribution has a great influence on skidder mobility during timber extraction on sloped terrain. Axle load distribution is affected by: 1) dimension parameters (skidder weight, center of gravity position and placement of horizontal rollers), 2) orientation and slope of terrain, 3) load characteristics and 4) factors of load distribution and skidding.*

*This paper investigates the impact of terrain slope and orientation (direction of transport) as well as load characteristics (described through: mass, weight, volume, area of lateral cut, length, number of loaded pieces) on factors of load distribution and skidding of skidder Ecotrac 120V.*

*Statistically significant correlation coefficients have shown as follows: 1) load distribution factor is inversely proportional to mass, weight and volume of transported timber ( $r = -0.51$ ), 2) skidding factor is negatively correlated only with terrain orientation (transport direction) and slope ( $r = -0.71$ ). From this regression analysis, a clear dependence was observed of load distribution factor on load mass, as well as of skidding factor on terrain slope and orientation.*

*Knowing the dimensions of the skidder Ecotrac 120V, the paths was open to modeling the mobility of the investigated skidder with the aim of defining its safe, efficient and environmentally sound working range considering terrain slope and orientation, soil strength and varying load.*

*Keywords: load distribution factor, timber extraction factor, skidder's mobility.*

---

#### Adresa autorâ – Authors' addresses:

Prof. dr. sc. Tomislav Poršinsky  
e-pošta: porsinsky@sumfak.hr  
Izv. prof. dr. sc. Marijan Šušnjar  
e-pošta: susnjar@sumfak.hr  
Andreja Đuka, dipl. inž. šum.  
e-pošta: bosner@sumfak.hr  
Zavod za šumarske tehnike i tehnologije  
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
Svetošimunska 25  
HR – 10 000 Zagreb

Primljeno (Received): 5. 9. 2012.

Prihvaćeno (Accepted): 29. 11. 2012.