

Raspodjela opterećenja kotača skidera pri privlačenju drva

Željko Tomašić, Dubravko Horvat, Marijan Šušnjar

Nacrtak – Abstract

Istraživanje raspodjele opterećenja kotača skidera pri privlačenju drva provedeno je na traktorskom putu na kojem su metodom niveliranja utvrđeni uzdužni nagibi te pojedine udaljenosti traktorskoga puta jednolikoga nagiba. Skiderom su se izvodili vučni pokusi privlačenja devet različitih tovara uzbrdo i nizbrdo. Tenzometrijskom su metodom mjerene veličine okomite i usporedne sastavnice sile u užetu te opterećenja na kotačima u svakom vučnom pokusu.

Pri privlačenju uz nagib s povećanjem težine tovara i nagiba terena povećava se opterećenje stražnjega mosta. Pri privlačenju niz nagib okomita sastavnica sile u užetu uvijek ima veće vrijednosti od usporedne sastavnice sile, a usporedna sastavnica težine skidera ($G \sin \alpha$) pri donosi prijenosu opterećenja sa stražnjega mosta na prednji.

Rezultati pokazuju da najveći utjecaj na opterećenje kotača ima okomita sastavnica sile u užetu, koja punim iznosom opterećuje skider te povećava adhezijsku težinu. Zbog te je činjenice opravdano deblji kraj drvnih sortimenata u tovaru odignuti od tla, a tanji kraj vući po tlu, jer se povećava adhezijska težina, a istodobno smanjuje otpor privlačenja.

Ključne riječi: skider, opterećenje kotača, adhezijska težina, privlačenje drva, uzdužni nagib

1. Uvod – Introduction

Skideri su zglobna šumska vozila za privlačenje drva. U prigorskim i brdskim predjelima u Hrvatskoj upotrebljavaju se kotačni skideri opremljeni šumskim vitlom. Drvo se privlači s jednim krajem tovara odignutim od tla i preko užeta vitla oslonjenim na zadnji kraj vozila, dok se drugi kraj tovara vuče po tlu. Sila koja se javlja u užetu služi za nošenje težine dijela tovara odignuta od tla (vertikalna sastavnica – V) te za svladavanje otpora vuče dijela težine tovara oslonjena na tlo (horizontalna sastavnica – H).

Na vučnu značajku skidera utječe odnos između ostvarenih sila na kotaču i sila koje se opiru njihovu djelovanju, pri čemu iznimno važnu ulogu ima adhezijska težina stroja. Pod adhezijskom se težinom (G_a) razumijeva zbroj okomitih opterećenja na pogonskim kotačima skidera u uvjetima pridobivanja drva. Adhezijska težina ovisi o težini skidera, nagibu terena te veličini vertikalne sastavnice sile u užetu na koju ponajprije utječe veličina i orijentacija komada drva u tovaru:

$$G_a = G \cdot \cos \alpha + V$$

Prema tomu je adhezijska težina različita od težine praznoga skidera (G) jer se stražnji most dodatno opterećuje punim iznosom vertikalne sastavnice sile u užetu, koja se raspoređuje na stražnje kotače preko horizontalnih valjaka vitla. Mnogi autori koji su istraživali utjecaj opterećenja kotača vozila na moguću vučnu silu na određenoj podlozi navode povećanje adhezijskoga opterećenja kao mogući način povećanja vučne sile (Sever 1980, Šušnjar 2005). Iz tih se razmatranja može zaključiti da je pri privlačenju drva skiderom povoljniji način vuče ako je deblji kraj tovara podignut na stražnji most jer se većom vrijednošću okomite sastavnice sile u užetu povećava njegova adhezijska težina, a time i omogućuje veća vučna sila.

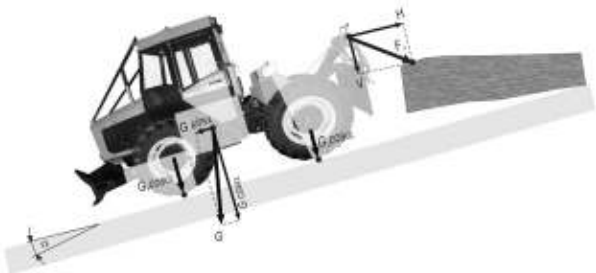
No, raspodjela se opterećenja po mostovima skidera mijenja s obzirom na obujam i težinu tovara, orijentaciju sortimenata u tovaru, smjer kretanja i veličinu nagiba terena. Zbog postavljanja vitla na stražnjem dijelu podvozja vertikalno opterećenje uzrokuje rasterećenje prednjega i dodatno opterećenje stražnjega mosta.

Pri privlačenju drva na nagnutom terenu raspodjela se opterećenja na kotačima mijenja i zbog djelo-



Slika 1. Raspodjela sila pri privlačenju skiderom uz nagib
Fig. 1 Distribution of forces during uphill timber skidding

vanja horizontalne sastavnice težine skidera ($G \sin \alpha$). Kretanjem po uzdužnom nagibu dodatno se opterećuje stražnji most jer dolazi do prijenosa opterećenja težine skidera s prednjega mosta zbog djelovanja usporedne sastavnice težine skidera ($G \sin \alpha$). Pri kretanju niz nagib zbog djelovanja te sile opterećenje se težine skidera prenosi na prednji most (slika 2).



Slika 2. Raspodjela sila pri privlačenju skiderom niz nagib
Fig. 2 Distribution of forces during downhill timber skidding

Na osnovi navedenih razmatranja očekuje se najveće opterećenje stražnjega mosta skidera pri privlačenju uz nagib. Konstrukcijskim rješenjima na prednjoj se osovini praznoga skidera raspodjeljuje oko 2/3 ukupne mase. Time se u radnim uvjetima osigurava uzdužna stabilnost skidera, povećava sigurnosti rada i izbjegava mogućnost prekomjernoga opterećivanja stražnjega dijela vozila. No, kod određenoga graničnoga tovara dolazi do najmanjega opterećenja prednjega mosta te narušavanja uzdužne stabilnosti skidera ili do najvećega dopuštenoga opterećenja stražnjega mosta (Horvat 1990). Sever (1980) iznosi zaključak da je upitna uzdužna stabilnost skidera kada odnos opterećenja prednjega i stražnjega mosta dosegne vrijednost 1:3,5. Prema Weiseu i Nicku (2003) najmanje 10 % ukupnoga dinamičkoga opterećenja treba ostati na prednjoj osovini kako bi se omogućilo upravljanje vozilom. Horvat (1990) u razmatranju dopuštenoga opterećenja (nosivosti) stra-

žnjega mosta navodi da nosivost stražnjega mosta traktora namijenjenoga privlačenju drva treba biti jednaka ukupnoj težini traktora. Pri konstrukciji stražnjega mosta skidera uvjetuje se da nosivost stražnje osovine treba iznositi najmanje 1,5 cjelokupne vlastite mase do dvostruke ukupne mase.

Cilj je rada utvrđivanje ovisnosti sastavnica sila u užetu, adhezijske težine skidera i raspodjele opterećenja kotača skidera o težini tovara i nagibu terena, što predstavlja bitan odnos za mogućnost procjene utjecaja kotača na tlo i vučnih (eksploatacijskih) značajki skidera pri privlačenju drva.

2. Skider ECOTRAC 55V – Skidder ECOTRAC 55V

Skider ECOTRAC 55V opremljen šumskim vitlom Hittner 2×35 kN četverokotačno je vozilo, formule pogona 4×4 (slika 1). Masa skidera iznosi 3483 kg (62 % na prednjoj osovini te 38 % na stražnjoj) (Horvat i dr. 2004). Skider je pogonjen 3-cilindričnim dizelskim motorom DEUTZ, hlađen zrakom, radnoga obujma 3236 cm³, stupnja kompresije 20:1, nazivne snage 40 kW pri 2300 min⁻¹ te najvećega zakretnoga momenta od 207 Nm pri 1600 min⁻¹. Prijenos se snage obavlja mehaničkom transmisijom: pogonski motor → spojka → mjenjač → razdjelnik pogona → prednji i stražnji diferencijali s pojedinačnom blokadom → završni (planetarni) reduktori u kotačima traktora.



Slika 3. Raspored mase skidera Ecotrac 55V
Fig. 3 Mass distribution of skidder Ecotrac 55V

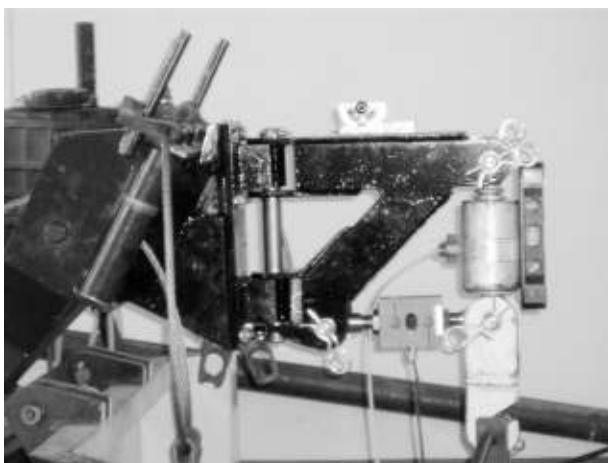
3. Metode istraživanja – Research methods

Za mjerenje dinamičkoga opterećenja skidera konstruirana su ili primijenjena mjerila za istodobno određivanje sastavnica sile u užetu i opterećenja na svim pogonskim kotačima.

Osnovna je metoda mjerenja mehaničkih veličina tenzometrija. Heidl i Husnjak (1992) tenzometriju opisuju kao mehaničku metodu kojom se na konstrukciji ili modelu određuje duljinska deformacija da bi se odredilo naprezanje na površini konstrukcije. Pri tome se upotrebljavaju mjerni pretvornici na osnovi promjenjivoga električnoga otpora, do kojega dolazi promjenom njegove duljine (tzv. elektrootporna mjerna traka ili »strain gauge«). Tom je metodom omogućeno električno mjerenje neelektričnih veličina. Primjena tenzometrijske metode omogućuje mjerenje bez narušavanja konstrukcije vozila, ali zahtijeva pretvorbu elemenata vozila u mjerila. Tenzometrijskom se metodom koriste Sever (1980, 1987), Marklund (1987), Horvat (1987, 1993), Marenče (2005) i Šušnjar (2005) pri mjerenju zakretnih momenata na kotačima i opterećenja kotača skidera i forvardera.

Dinamičko je opterećenje na kotačima mjereno pomoću mjernih traka postavljenih iza kotača na gornju stranu kućišta vratila koje izlazi iz diferencijala prema kotaču, a mjerne su trake povezane pomoću vodiča do spojnoga mjesta. Signal se promjene otpora traka prenosi kablovima do pojačala.

Horizontalna se i vertikalna sastavnica sile u užetu pri privlačenju drva odredila pomoću dvaju vlačno-tlačnih dinamometra HBM 50 kN i HBM 20 kN. Dinamometri su međusobno spojeni pod kutom od 90 stupnjeva te postavljeni na nosač zglobno učvršćen na mjestu vertikalnih valjaka vitla (slika 2). Dinamometri su se nalazili točno u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini s obzirom na podlogu pri potpuno podignutoj zadnjoj prihvatno-zaštitno-sidrenoj dasci skidera, upravo kakav je njezin položaj pri privlačenju drva. Svi mjerni pretvornici (mjerne trake, dinamometri) spojeni su s mjernim pojačalima HBM Spider 8 koja su smještena na skideru.



Slika 4. Nosač s vlačno-tlačnim dinamometrima
Fig. 4 Carrier with force transducers

Daljinski je prijenos podataka omogućen primjenom radijskoga modema ELPRO 805 U (ELPRO Technologies Pty Ltd.). Radijski je modem bio postavljen na skideru i spojen s mjernim pojačalom HBM Spider 8 te je primao analogno pojačane mjerne signale i odašiljao ih preko antene postavljene na krovu kabine skidera. Drugi je radijski modem primao mjerne signale te ih prenosio na terensko računalo. Računalnim su programom Catman 4.0 (Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH) bilježeni podaci mjerenja. U računalni su program po kanalima označeni mjerni pretvornici i unošene mjerne konstante dobivene umjeravanjem mjernih pretvornika. Daljnja obrada rezultata mjerenja provedena je računalnim programom Microsoft Excell.

Pri vučnim pokusima mjerene su promjene opterećenja na kotačima prema opterećenjima na kotačima praznoga skidera na ravnoj podlozi. U slučaju rasterećivanja kotača rezultat izmjere odbit će se od opterećenja na kotaču neopterećenoga skidera, odnosno zbrojiti u suprotnom slučaju povećanja opterećenja na kotaču. Zbog opisanoga načina mjerenja bilo je potrebno ustanoviti masu i opterećenje na kotačima neopterećenoga skidera. Iako su ovi podaci poznati prema tvorničkim podacima i rezultatima mjerenja (Horvat i dr. 2004), postavljanjem mjerne opreme, nosača te pomoćnih konstrukcija i uređaja povećala se osnovna masa skidera te opterećenje na kotačima. Masa i opterećenje na kotačima praznoga skidera određeni su s četiri prerađene samostalne vage švedskoga proizvođača TELUB spojene s mjernim pojačalom HBM Spider 8 koji je izravno povezan s prijenosnim računalom te su pomoću računalnoga programa Catman 4.0 očitani rezultati mjerenja.

Mjerenjem je utvrđeno da masa opremljenoga skidera iznosi 3647 kg, odnosno da se masa povećala za 164 kg u odnosu na osnovnu masu. Prednji su kotači jednako dodatno opterećeni, po 36 kg na svakom kotaču. Stražnji kotači imaju nešto veće dodatno opterećenje (45 kg i 47 kg), što je uzrokovano postavljanjem vlačno-tlačnih dinamometara za mjerenje okomite i vodoravne sile u užetu na stražnji kraj. Dinamometri su postavljeni na nosač vezan za osovinice valjaka vitla na zaštitno-sidrenoj dasci skidera, a zbog pretpostavke mogućih većih opterećenja nosač dinamometara izveden je masivnom konstrukcijom.

Raspodjela opterećenja po kotačima ostala je gotovo nepromijenjena u odnosu na raspodjelu tvorničko mjerenih vrijednosti. Prednji je most skidera opremljen mjernim uređajima opterećen s 61 % ukupne težine skidera, a stražnji most s 39 %, dok su odnosi opterećenja prednji/stražnji most tvornički isporučena stroja 62 % : 38 %. Raspodjela opterećenja na kotačima s obzirom na lijevu i desnu stranu skidera iznosi 50 % : 50 %.

4. Rezultati istraživanja – Research results

Istraživanja su provedena na traktorskom putu u odjelu 29b gospodarske jedinice Krndija gazijska na području Uprave šuma Našice – Šumarije Đurđeno-

vac. Jednim je dijelom traktorski put izrađen u zasjeku s blagim nagibom terena, a zatim se postupno razvija u smjeru okomitom na slojnice terena. Metodom su niveliranja utvrđeni uzdužni nagibi traktorskoga puta te pojedine udaljenosti traktorskoga puta

Tablica 1. Sastavnice sile u užetu
Table 1 Components of rope force

Nagib Slope	Težina tovara Load weight Q kN	Privlačenje uz nagib - Uphill skidding		Privlačenje niz nagib - Downhill skidding	
		Sastavnica sile u užetu - Component of rope force		Sastavnica sile u užetu - Component of rope force	
		Okomita - Vertical V kN	Usporedna - Horizontal H kN	Okomita - Vertical V kN	Usporedna - Horizontal H kN
2,3 %	2,49	1,494	0,613	1,468	0,357
	3,11	1,646	1,020	1,576	0,589
	3,69	2,125	0,732	2,010	0,703
	6,72	3,813	1,796	3,689	0,973
	7,83	4,055	2,024	3,777	1,706
	9,55	4,471	3,140	4,126	1,944
	12,03	6,621	3,407	6,265	2,418
	14,91	7,018	4,133	7,239	3,345
14,9 %	17,38	9,472	5,593	7,815	5,656
	2,49	1,496	0,769	1,450	0,147
	3,11	1,674	1,278	1,564	0,303
	3,69	2,264	1,302	1,984	0,499
	6,72	3,858	2,082	3,502	0,450
	7,83	4,520	2,814	3,584	1,295
	9,55	4,686	3,397	3,824	1,091
	12,03	7,027	4,142	6,234	1,643
18,3 %	14,91	7,714	5,434	7,055	2,329
	17,38	10,444	6,461	7,647	4,217
	2,49	1,502	0,942	1,496	0,215
	3,11	1,651	1,285	1,681	0,421
	3,69	2,235	1,319	1,971	0,473
	6,72	3,618	2,432	3,369	0,343
27,0 %	7,83	4,070	3,775	3,881	1,084
	9,55	4,240	3,960	3,326	0,640
	2,49	1,485	1,125	1,426	0,029
	3,11	1,583	1,420	1,487	0,259
	3,69	2,202	1,503	1,828	0,182
	6,72	3,664	3,083	3,350	0,118
35,5 %	7,83	3,917	4,190	3,523	0,803
	9,55	4,285	4,816	3,498	0,454
	2,49	1,503	1,384	1,151	0,030
	3,11	1,618	1,732	1,234	0,187
	3,69	2,229	1,730	1,424	0,312
	6,72	3,734	3,857	3,134	0,103
35,5 %	7,83	3,978	4,647	3,480	0,258
	9,55	4,545	5,926	3,164	0,930

jednolikoga nagiba. Uzdužni se nagibi povećavaju s udaljenosti od početka traktorskoga puta. Početni dio traktorskoga puta ima najmanji nagib trase (2,3 %), a zatim uzastopno slijede dijelovi puta sa sve većim uzdužnim nagibom: 15 %, 18,3 %, 27,0 % i 35,5 %.

Prije samoga mjerenja traktorski je put obilježen brojčanim stupovima 1 – 7 na mjestima gdje počinje i završava pojedini uzdužni nagib.

U istraživanju je korišteno 8 bukovich trupaca srednjih promjera od 27 cm do 39 cm. Temeljem izmjerenih dimenzija izračunati su obujmi trupaca. Obujmi su se trupaca kretali u veličinama od 0,32 m³ do 0,50 m³. Masa je pojedinih trupaca izmjerena vaganjem pomoću dviju vaga TELUB spojenih s mjernim pojačalom HBM Spider 8 i prijenosnim računalom.

Temeljem poznatoga obujma i mase trupaca određene su značajke tovara koje će se koristiti u vučnim pokusima. Odabrano je 9 vrsta tovara, s 1 do 4 komada u tovaru, veličinom od 0,27 do 1,8 m³ te težinom od 2,49 kN do 17,38 kN.

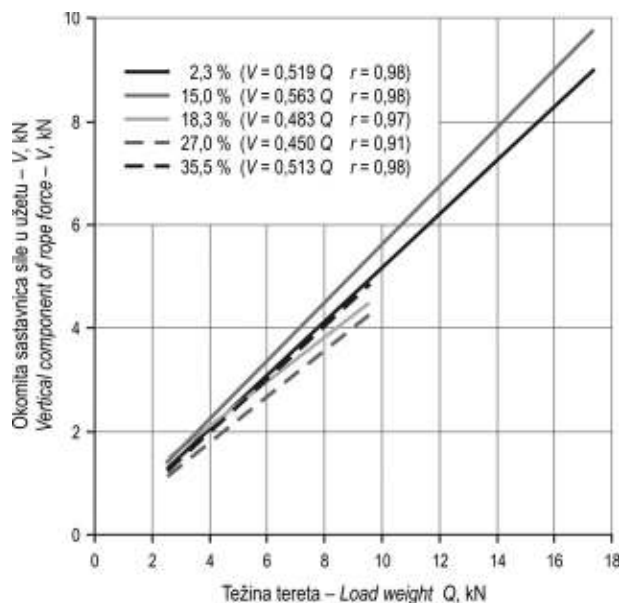
Skiderom su se izvodili vučni pokusi privlačenja različitih tovara uzbrdo i nizbrdo. Vučni se pokus sastojao od privlačenja određenoga tovara od polaznoga mjesta na početku traktorskoga puta preko dijelova traktorskoga puta s rastućim uzdužnim nagibima do kraja puta. Ako se nisu mogli svladati svi nagibi terena zbog prevelikoga tovara, vučni se pokus prekidao na ostvarenoj veličini nagiba. Privlačenje niz nagib počinjalo je od najvećega nagiba prema dolje.

Od 9 vučnih pokusa uz nagib, odnosno privlačenja 9 vrsta tovara, skider je svladao sve uspone u 6 prolazaka. Pri privlačenju triju najvećih tovara vučni su pokusi uspješno načinjeni na prva 2 nagiba u usponu. Isto se ponovilo i pri vučnim pokusima niz nagib: privlačenje triju najvećih tovara snimljeno je samo za 2 najmanja nagiba. Na završetku vučnih pokusa obavljeno je i mjerenje opterećenja kotača pri kretanju neopterećenoga skidera traktorskim putem uzbrdo i nizbrdo.

Svi su rezultati mjerenja izraženi u srednjim vrijednostima mjerenja po vučnom pokusu s pojedinim tovarom i određenim uzdužnim nagibom traktorskoga puta.

Rezultati mjerenja okomite i usporedne sastavnice sile u užetu pri privlačenju drva skiderom Ecotrac 55V prikazani su prema uzdužnomu nagibu traktorskoga puta, smjeru privlačenja i veličini tovara u tablici 1.

Pri privlačenju uz nagib okomita sastavnica sile u užetu ima veće vrijednosti od usporedne na svim uzdužnim nagibima do 18,3 % za sve vučene toware. Na uzdužnim nagibima od 27,0 % i 35,5 % usporedna je sastavnica veća od okomite za veće toware koji



Slika 5. Ovisnost okomite sastavnice sile u užetu o težini tovara i nagibu traktorskoga puta pri privlačenju uzbrdo

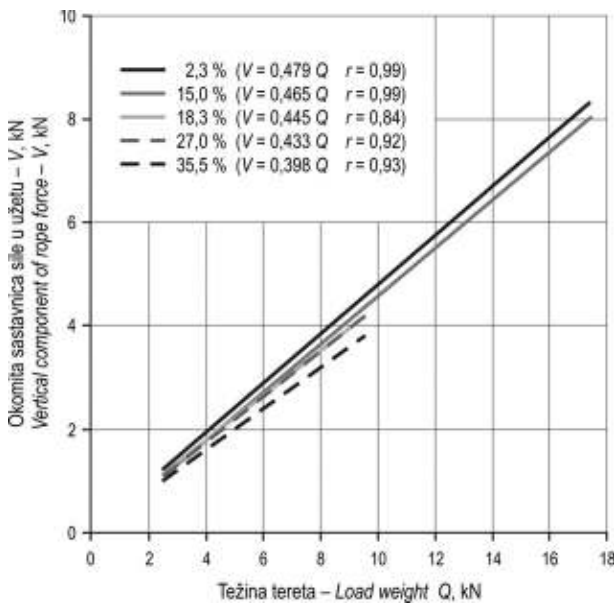
Fig. 5 Dependence of vertical component of rope force on load weight and slope of skid road during uphill skidding

su mogli svladati te nagibe (7,83 kN i 9,55 kN). Samo je kod najmanjih tovara okomita sastavnica sile u užetu ostala veća od usporedne. Ti rezultati pokazuju da se s povećanjem nagiba smanjuje težina dijela tovara nošenoga na užetu, tj. povećava se dio težine tovara koji se oslanja na tlo. Stoga je potrebna veća usporedna sastavnica sile za svladavanje otpora vuče dijela tovara po tlu.

Pri privlačenju niz nagib okomita je sastavnica sile u užetu u svakom vučnom pokusu veća od usporedne sastavnice. Povećanjem nagiba u padu smanjuje se veličina obiju sastavnica sile u užetu, a opisana je pojava izraženija kod usporedne sastavnice.

Najmanja vrijednost usporedne sastavnice sile u užetu (0,03 kN) zabilježena je pri privlačenju niz nagib od 27 % i 35 % najmanjega tovara od 2,49 kN. Pri privlačenju se niz veće uzdužne nagibe prednji kraj tereta približava stražnjemu kraju skidera čime raste okomita sastavnica sile u užetu koja tovar drži odignutim od tla. Pri tome je potrebna manja usporedna sastavnica sila jer je manja težina tovara oslonjena na tlo.

Tovare sastavljene od tri ili četiri drvena sortimenta nije bilo moguće vezati na držač veznoga užeta s dinamometrima isključivo s debljim krajem odignutim od tla. S obzirom na položaj drvnih sortimenta u tovaru i položaj tovara u odnosu na stražnji kraj skidera uočeno je nepravilno nizanje vrijednosti usporedne sastavnice sile pri privlačenju niz dva najveća uzdužna nagiba.



Slika 6. Ovisnost okomite sastavnice sile u užetu o težini tovara i nagibu traktorskoga puta pri privlačenju nizbrdo

Fig. 6 Dependence of vertical component of rope force on load weight and slope of skid road during downhill skidding

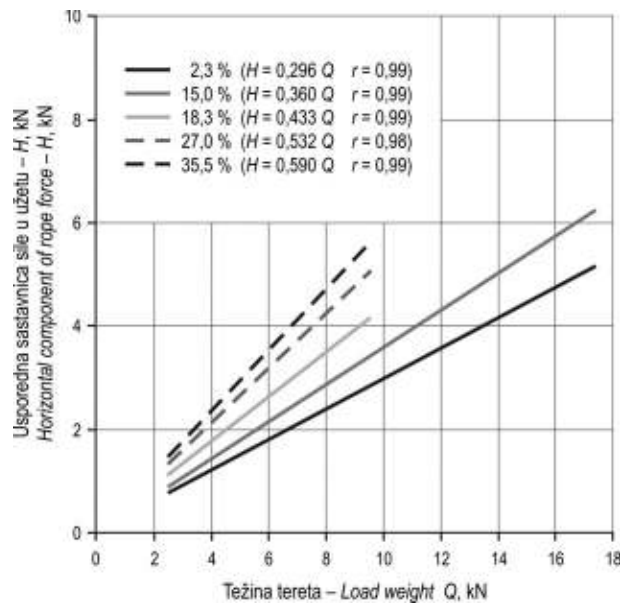
Ovisnosti sastavnica sile u užetu o težini tovara i nagibu terena prikazane su na slikama 5 do 8. U podatke mjerenja uklopljene su linije izjednačenja opisane regresijskom jednadžbom i indeksom regresije. Linije izjednačenja pokazuju da se pri istom nagibu povećavaju vrijednosti sastavnica sile s povećanjem težine tovara.

No, istodobno zbog malih razlika u nagibima linija izjednačenja ne može se donijeti sud o značajnoj ovisnosti veličine okomite i usporedne sastavnice sile u užetu o veličini uzdužnoga nagiba pri privlačenju uzbrdo. Pri tome se uočava nepravilan slijed linija izjednačenja okomite sastavnice sile po nagibima pri privlačenju uzbrdo. Najmanje su izjednačene vrijednosti određene na nagibu od 27 %, a najveće na nagibu od 15 %.

Slijed je linija izjednačenja usporedne sastavnice sile pravilan po nagibima pri privlačenju uzbrdo. Pri istoj težini tovara najveće vrijednosti usporedne sastavnice sile pojavljuju se na najmanjem uzdužnom nagibu od 2,3 %, a zatim neznatno opadaju s povećanjem nagiba.

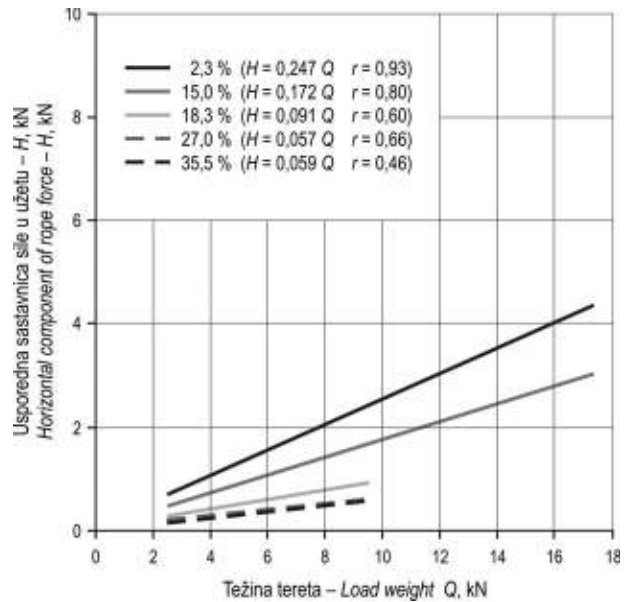
Objašnjenje se navedenih položaja linija izjednačenja nalazi u činjenici da nije razmatran položaj drvnih sortimenata u tovaru, jer veći broj komada u tovaru nije bilo moguće vezati na uže isključivo s debljim krajem odignutim od tla.

Pri privlačenju nizbrdo vidljive su značajne razlike vrijednosti sastavnica sile u užetu o veličini tovara i nagibu traktorskoga puta. Vrijednosti su okomi-



Slika 7. Ovisnost usporedne sastavnice sile u užetu o težini tovara i nagibu traktorskoga puta pri privlačenju uzbrdo

Fig. 7 Dependence of horizontal component of rope force on load weight and slope of skid road during uphill skidding



Slika 8. Ovisnost usporedne sastavnice sile u užetu o težini tovara i nagibu traktorskoga puta pri privlačenju nizbrdo

Fig. 8 Dependence of horizontal component of rope force on load weight and slope of skid road during downhill skidding

te sastavnice sile veće na većim nagibima, dok usporedna sastavnica sile u užetu pokazuje veće vrijednosti na manjim nagibima.

U provedenom je istraživanju opterećenje na kotačima određeno iz podataka dinamičkih mjerenja

Tablica 2. Adhezijska težina i raspodjela opterećenja po osovina
Table 2 Adhesive weights and axle load distribution

Nagib Slope	Težina tovara Load weight	Privlačenje uz nagib – Uphill skidding			Privlačenje niz nagib – Downhill skidding		
		Adhezijska težina Adhesive weight	Raspodjela opterećenja Axle load distribution		Adhezijska težina Adhesive weight	Raspodjela opterećenja Axle load distribution	
			Prednji most Front axle	Stražnji most Rear axle		Prednji most Front axle	Stražnji most Rear axle
	Q, kN	G _a , kN	P _r , %	S _r , %	G _a , kN	P _r , %	S _r , %
0 %	0	35,777	61	39	35,777	61	39
2,3 %	0	35,479	60	40	38,040	66	34
	2,49	37,556	58	42	36,369	59	41
	3,11	37,433	57	43	36,460	58	42
	3,69	38,032	57	43	36,616	60	40
	6,72	39,220	52	48	39,311	54	46
	7,83	42,444	46	54	39,509	49	51
	9,55	40,835	47	53	39,294	49	51
	12,03	44,871	43	57	41,394	44	56
	14,91	43,971	40	60	44,872	42	58
17,38	46,439	34	66	45,100	37	63	
14,9 %	0	35,142	57	43	34,593	68	32
	2,49	37,125	55	45	37,719	68	32
	3,11	37,754	53	47	37,537	67	33
	3,69	39,080	52	48	37,188	65	35
	6,72	40,498	46	54	37,342	58	42
	7,83	41,974	42	58	39,287	54	46
	9,55	42,512	41	59	38,699	57	43
	12,03	43,686	37	63	42,862	50	50
	14,91	44,714	31	69	42,463	48	52
17,38	45,613	24	76	45,291	43	57	
18,3 %	0	34,661	56	44	35,271	67	33
	2,49	37,398	53	47	37,314	69	31
	3,11	38,189	50	50	36,743	66	34
	3,69	39,395	50	50	37,366	63	37
	6,72	39,643	47	53	37,318	59	41
	7,83	41,547	39	61	37,606	57	43
	9,55	40,201	37	63	37,337	59	41
27,0 %	0	36,695	53	47	34,989	69	31
	2,49	37,838	50	50	35,729	73	27
	3,11	37,617	46	54	35,062	71	29
	3,69	39,188	48	52	36,694	64	36
	6,72	38,497	42	58	36,659	66	34
	7,83	40,161	34	66	37,172	59	41
	9,55	37,736	33	67	38,068	65	35
35,5 %	0	36,306	48	52	33,742	73	27
	2,49	37,588	46	54	35,388	76	24
	3,11	37,088	43	57	36,698	71	29
	3,69	36,612	44	56	35,846	67	33
	6,72	39,444	37	63	36,295	69	31
	7,83	39,863	30	70	37,343	66	34
	9,55	38,228	31	69	36,187	67	33

odstupanja opterećenja na kotačima u vučnim pokusima od prije utvrđenih vrijednosti statičke raspodjele težine neopterećenoga skidera.

U tablici 2 prikazane su izmjerene adhezijske težine skidera i raspodjela opterećenja po mostovima u vučnim pokusima. Radi analize utjecaja težine tovara i nagiba traktorskoga puta na raspodjelu opterećenja po mostovima prikazani su rezultati mjerenja pri kretanju neopterećenoga skidera.

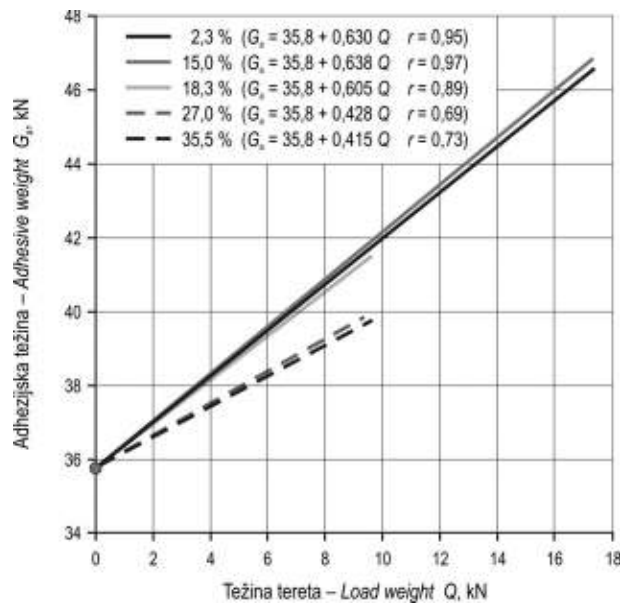
Pri kretanju neopterećenoga skidera uzbrdo opterećenje se prednjega mosta smanjuje s povećanjem uzdužnoga nagiba. Na najvećem nagibu od 35,5 % i kod neopterećenoga skidera veće je opterećenje na stražnjem mostu zbog djelovanja usporedne sastavnice težine skidera $G \sin \alpha$, koja pridonosi prijenosu opterećenja težine s prednjega na stražnji most.

U vučnim se pokusima opterećenje stražnjega mosta povećava s povećanjem težine tovara i nagiba. Povećanjem težine tovara povećava se okomita sastavnica sile u užetu koja drži dio tovara odignutim od tla te dodatno opterećuje stražnji most. Na najmanjem je nagibu prednji most opterećeniji kod 4 najmanja tovara, na sljedećem nagibu od 15 % kod tri najmanja tovara, na nagibima 18,3 % i 27 % jedino kod najmanjega tovara. Na najvećem nagibu u svim vučnim pokusima zabilježeno je veće opterećenje stražnjega mosta.

Sever (1980) navodi da je upitna uzdužna stabilnost skidera kada odnos opterećenja prednjega i stražnjega mosta dosegne vrijednost 1 : 3,5 odnosno 22 % : 78 %. Najveće je opterećenje stražnjega mosta zabilježeno pri privlačenju najvećega tovara od 17,38 kN na nagibu od 18,3 % i iznosi 76 % ukupne adhezijske težine. Pri tome je na prednjem mostu preostalo 24 % ukupne adhezijske težine, što je vrlo blizu graničnoj vrijednosti kada se narušava uzdužna stabilnost skidera. Iz toga izlazi objašnjenje zbog čega tri najveća tovara skider nije mogao vući na sljedećem nagibu traktorskoga puta od 18,3 %. Veće vrijednosti okomite sastavnice sile kod tih tovara uz djelovanje usporedne sastavnice težine skidera $G \sin \alpha$ pri tom uzdužnom nagibu dovelo bi do rasterećenja prednjega mosta ispod granične vrijednosti od 22 % od ukupne adhezijske težine i narušavanja uzdužne stabilnosti skidera.

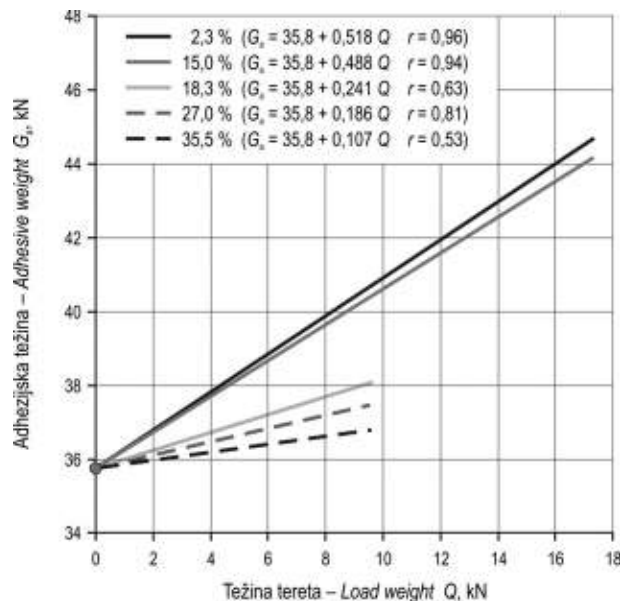
U raščlambi mjernih rezultata vučnih pokusa niz nagib uočava se jače opterećivanje prednjega mosta s povećanjem nagiba pri privlačenju istoga tovara, ali i isto tako povećava se opterećenje prednjega mosta sa smanjenjem težine tovara na istom nagibu.

U svim vučnim pokusima, uključujući i neopterećeni skider, na nagibima većima od 18,3 % u padu zabilježeno je veće opterećivanje prednjega mosta skidera. Zanimljivo je primijetiti da pri vući najvećih tovara niz manje nagibe opterećenje stražnjega mosta



Slika 9. Ovisnost adhezijske težine o težini tovara i nagibu traktorskoga puta pri privlačenju uzbrdo

Fig. 9 Dependence of adhesive weight on load weight and slope of skid road during uphill skidding



Slika 10. Ovisnost adhezijske težine o težini tovara i nagibu traktorskoga puta pri privlačenju nizbrdo

Fig. 10 Dependence of adhesive weight on load weight and slope of skid road during downhill skidding

premašuje ono na prednjoj osovini skidera, odnosno dolazi do rasterećenja prednje osovine u odnosu na stražnju. Zaključak je da horizontalna sastavnica težine skidera ($G \sin \alpha$) pridonosi prijenosu opterećenja sa stražnjega mosta na prednji, ali prevladava djelo-

vanje vertikalne sastavnice sile iz užeta (V) tako da je veće opterećenje na stražnjem mostu.

Ovisnost adhezijske težine o težini tovara i nagibu traktorskoga puta pri privlačenju drva prikazana je na slikama 9 i 10. Kao oblik izjednačenja odabrana je jednadžba pravca, s tim što je za sjecište pravca izjednačenja odabran odsječak na osi zavisne varijable s vrijednošću od 35,8 kN, što je vrijednost težine skidera u statičkom mjerenju. Kretanjem opterećenoga skidera po vlaci, odnosno vučom tovara raste adhezijska težina. Iz slike se može zaključiti da se najveći rast adhezijske težine s povećanjem težine tovara javlja pri privlačenju niz nagib od 2,3 % i 14,9 %, dok je najmanji rast adhezijske težine pri privlačenju uz nagib od 35,5 %. Iz izjednačenja podataka vidi se da su koeficijenti regresije na manjim nagibima razmjerno visoki (od 0,94 do 0,97), dok je zbog manjega broja ostvarenih vučnih pokusa na većim nagibima (manje podataka mjerenja) slabija združenost podataka.

5. Zaključci – Conclusions

Utvrđivanje ovisnosti sastavnica sila u užetu o težini tovara i nagibu terena predstavlja bitan odnos za mogućnost procjene vučnih značajki skidera pri privlačenju drva. Poznavajući navedeni odnos te težinu tovara može se procijeniti veličina sastavnica sila u užetu te daljnjom analizom njihov utjecaj na vučnu silu i adhezijsko opterećenje skidera u uvjetima pridobivanja drva.

Pri privlačenju uz nagib s povećanjem težine tovara i nagiba terena povećavaju se opterećenja stražnjega mosta te vrijednost usporednih sastavnica sile u užetu (vučnoga otpora) i težine skidera ($G \sin \alpha$) koje vučna sila treba svladati. Pri privlačenju niz nagib okomita sastavnica sile u užetu uvijek ima veće vrijednosti od usporedne sastavnice sile, a usporedna sastavnica težine skidera ($G \sin \alpha$) pridonosi prijenosu opterećenja sa stražnjega mosta na prednji.

Na veličinu adhezijske težine, osim vlastite težine stroja, najveći utjecaj pri dinamičkom opterećivanju skidera tijekom vuče ima okomita sastavnica sile u užetu, koja se cjelokupnom veličinom prenosi na vozilo. Zbog te je činjenice opravdano deblji kraj drvnih sortimenata u tovaru odignuti od tla, a tanji kraj vući po tlu, jer se povećava adhezijska težina, a istodobno smanjuje otpor privlačenja.

6. Literatura – References

- Heidl, I., M. Husnjak, 1992: Tenzometrija. Tehnička enciklopedija, Leksikografski zavod »Miroslav Krleža«, Svezak 12, 685–690.
- 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. Mehanizacija šumarstva, 15(7–8): 113–118.
- Horvat, D., 1993: Prilog proučavanju prohodnosti vozila na šumskom tlu. Disertacija, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 1–234.
- Horvat, D., V. Goglia, M. Šušnjar, I. Đukić, 2004: Izvješće o ispitivanju nekih tehničkih i ergonomskih značajki prorednog skidera „Ecotrac 55V«. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–13.
- Marenče, J., 2005: Spreminjanje tehničnih parametara traktora pri vlačanju lesa – kriterij pri izbiri delovnega sredstva. Disertacija, Biotehniška fakulteta Univerze u Ljubljani, Slovenija, 1–271.
- Marklund, B., O., 1987: Torque distribution on wheeled vehicles affects damage on the forest ground. Proceedings of 9th ISTVS International Conference, Barcelona, Vol. 1, 347–354.
- Sever, S., 1980: Istraživanje nekih eksploatacijskih parametara traktora kod privlačenja drva. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–301.
- Sever, S., 1987: Dynamic loading of skidder axles at wood skidding. Proceedings of the 9th International Conference of the ISTVS, Barcelona, Vol. II, 531–540.
- Šušnjar, M., 2005: Istraživanje međusobne ovisnosti značajki tla traktorske vlake i vučne značajke skidera. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–135.
- Tomašić, Ž., 2007: Istraživanje tehničko-eksploatacijskih značajki skidera za prorede. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–316.
- Weise, G., L. Nick, 2003: Determining the performance and the environmental impact of forest machines – Classification numbers and performance diagrams. Proceedings of Austro2003 – High Tech Forest Operations for Mountainous Terrain, October 5–9, 2003, Schlaeggl, Austria, University of Natural Resources and Applied Life Sciences Viena, CD-ROM, 1–10.

Abstract

Wheel load distribution of skidders in timber extraction

Research of wheel load distribution of skidders in timber extraction was carried out on a skid road where longitudinal slopes were determined by levelling method as well as distances on a skid road with the same slope. A skidder was used for timber extraction of 9 different loads in two directions – uphill and downhill. Values of vertical and horizontal component of rope force and wheel loads were measured by tensiometric method in each skidding test.

Wheel loads on the rear axle increase with increase of load weight and slope during uphill skidding. Vertical component of rope force always has higher values than horizontal component during downhill skidding while horizontal component of skidder weight ($G \sin \alpha$) transfers the weight from rear axle to front axle.

According to the results, vertical component of winch rope force seriously affects wheel load, because this force burdens the skidder in full amount. It could be concluded that the correct way of timber skidding is to lift off the heavier end of load in the aim to increase adhesive weight of the skidder and to decrease skidding resistances.

Keywords: skidder, wheel load, adhesive weight, timber extraction, longitudinal slope

Adresa autorâ – Authors' addresses:

Dr. sc. Željko Tomašić
»Hrvatske šume« d.o.o. Zagreb
Direkcija Zagreb
Farkaša Vukotinovića 2
HR-10 000 Zagreb
e-mail: zeljko.tomasic@hrsume.hr
Prof. dr. sc. Dubravko Horvat
e-mail: horvat@sumfak.hr
Doc. dr. sc. Marijan Šušnjar
e-mail: susnjar@sumfak.hr
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Zavod za šumarske tehnike i tehnologije
Svetošimunska 25
HR-10 000 Zagreb

Primljeno (Received): 28. 6. 2007.
Prihvaćeno (Accepted): 15. 11. 2007.