

Utjecaj nagiba traktorskog puta na proizvodnost traktora Timberjack 240C pri privlačenju drvnih sortimenata u prebornim šumama

Zečić, Željko; Vusić, Dinko; Prka, Marinko; Klepac, Saša

Source / Izvornik: **Šumarski list, 2010, 134, 103 - 113**

Journal article, Published version

Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:202833>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-09**



Repository / Repozitorij:

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



UTJECAJ NAGIBA TRAKTORSKOG PUTA NA PROIZVODNOST TRAKTORA TIMBERJACK 240C PRI PRIVLAČENJU DRVNIH SORTIMENATA U PREBORNIM ŠUMAMA

INFLUENCE OF SKIDDING ROAD SLOPE ON PRODUCTIVITY OF
SKIDDING TIMBER ASSORTMENTS WITH TRACTOR
TIMBERJACK 240C IN SELECTIVE FORESTS

Željko ZEČIĆ¹, Dinko VUSIĆ¹, Marinko PRKA², Saša KLEPAC³

SAŽETAK: Rad prikazuje rezultate istraživanja zglobnog traktora Timberjack 240C s dvobubanjskim vitlom Adler HY16 pri privlačenju drvnih sortimenata uz i niz nagib u prebornoj sječini. Radilište je smješteno na nadmorskoj visini od 870 m do 1097 m. Pri istraživanju navedenoga traktora ostvareno je efektivno vrijeme od 76,46 %, a 23,54 % otpada na opća vremena u ukupno utrošenom vremenu. Prosječni ostvareni tovar iznosi 5,04 m³ pri privlačenju drva niz nagib (traktorski put 1), dok je pri privlačenju uz nagib (traktorski put 2) ostvaren prosječni tovar od 3,72 m³, a na oba traktorska puta prosječni tovar iznosi 4,63 m³. U efektivnom vremenu turnusa pri udaljenosti privlačenja od 500 m na fiksna vremena otpada 17,36 minuta, a na varijabilna 18,97 minuta. Efektivno vrijeme turnusa traktora iznosi 36,34 minute, a ukupno vrijeme 44,42 minute za udaljenost privlačenja od 500 m. Prosječna brzina kretanja neopterećenog traktora po traktorskim putevima iznosi 3,56 km/h, a opterećenog 3,50 km/h. Prosječna brzina vožnje neopterećenog traktora po pomoćnom stovarištu iznosi 4,65 km/h, a opterećenog 4,93 km/h pri udaljenosti od 65 m. Prosječna brzina izvlačenja užeta iznosi 0,97 km/h, a privlačenja tovara 0,86 km/h. Norma vremena se na traktorskom putu 1 kreće od 5,32 min/m³ (100 m) do 13,17 min/m³ (1000 m) s prosječnim obujmom tovara od 5,04 m³. Na traktorskom putu 2 norma vremena kreće se od 7,22 min/m³ (100 m) do 17,88 min/m³ (1000 m) uz prosječni obujam tovara od 3,72 m³.

Dnevni se učinak privlačenja po traktorskom putu 1 kreće od 90,27 m³/dan za udaljenost privlačenja od 100 m do 36,45 m³/dan za 1000 m, a po traktorskom putu 2 od 66,50 m³/dan do 26,85 m³/dan. Za udaljenosti od 100 m do 1000 m trošak se privlačenja drva po traktorsko putu 1 kreće od 31,83 kn/m³ do 78,83 kn/m³. Trošak se privlačenja pri istim udaljenostima na traktorskom putu 2 kreće od 43,20 kn/m³ do 107,01 kn/m³.

ključne riječi: privlačenje, nagib, zglobni traktor, proizvodnost, troškovi

1. UVOD – Introduction

Mehanizirano privlačenja oblog drva u šumama Hrvatske dobiva puni zamah šezdesetih godina 20. stoljeća

kada se velikoserijski poljoprivredni traktori prilagođavaju za rad u šumi dogradnjom zaštitnih kabina i vitala. Specijalni se šumski zglobni traktori pojavljuju 1968. godine, a 1969. godina uzima se kao početak intenzivnog razvoja mehaniziranoga privlačenja drva u Hrvatskoj. Sljedećih je godina započelo intenzivno mehaniziranje svih šumskih radova, izgradnjom šumskih cesta i puteva, kada su rješavana mnoga pitanja primjene nove šumske tehnike i tehnologija pridobivanja drva. S uvođenjem novih strojeva provodi se izobrazba radnika te se nude rješenja domaćih stručnjaka u razvoju radnih sredstava i

¹ Izv. prof. dr. sc. Željko Zečić, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za šumarske tehnike i tehnologije, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: zecic@sumfak.hr

¹ Dinko Vusić, dipl. ing. šum., Šumarski fakultet Sveučilišta, u Zagrebu, Zavod za šumarske tehnike i tehnologije, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: vusic@sumfak.hr

² Dr. sc. Marinko Prka, "Hrvatske šume" d.o.o. Direkcija Zagreb, Farkaša Vukotinovića 2, 10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: marinko.prka@hrsume.hr

³ Saša Klepac, dipl. ing. šum., 51305, Tršće, Školska 14

tehnologija. Započeta su istraživanja proizvodnosti strojeva, odnosno ljudsko-strojna rada, a izrađene su i tehničke norme za radove pridobivanja drva.

Svrha mehaniziranog privlačenja drva je povećanje učinka, smanjenje broja radnika, humanizacija rada, smanjenje troškova po jedinici proizvoda i drugo. Tehnički poboljšani i ergonomski usavršeni strojevi omogućuju napredak u tehničkom i tehnološkom pogledu. Modernizaciji se tehničkih sredstava rada u pridobivanju drva posvećuje velika pozornost, ali organizacija rada pri privlačenju drva nije uvijek optimalno postavljena, što za posljedicu ima veće troškove proizvodnje. Velika je promjena u pridobivanju drva nastala uvođenjem novih tehnologija pri sječi, izradi i privlačenju drva. Uz sortimentnu metodu se uvode poludeblovna, deblovna i stablovna metoda izrade. Odabir određene

metode zavisi o sastojinskim uvjetima te tehničko-tehnološkim značajkama strojeva za privlačenje drva.

Višegodišnja su istraživanja traktora, koji se koriste za privlačenje drva, dala očekivane rezultate, pa su tako razvrstani po djelotvornosti, dimenzijama, masi i snazi, na traktore za prorede i traktore za oplodne i preborne sječe. Zajedničkom suradnjom šumarske struke i znanosti postignuti su značajni rezultati u traženju suvremenoga traktora za oplodne i preborne sječe, koji bi bolje udovoljili ekonomskim, ekološkim, ergonomskim, energijskim i estetskim zahtjevima. Kao rezultat zajedničkoga rada kroz četiri protekla desetljeća postignuto je to da sada u šumarstvu Hrvatske imamo specijalne šumske zglobne traktore za privlačenje drva po tlu tipa EcoTrac 55V, EcoTrac 120V domaće proizvodnje i traktore tipa Timberjack 240C strane proizvodnje.

2. PROBLEMATIKA I CILJ ISTRAŽIVANJA – Problem and aim of research

Tijekom proteklih 50 godina hrvatsko je šumarstvo u pridobivanju drva prolazilo kroz nekoliko razdoblja, koja su obilježena određenim stupnjem tehničkog i tehnološkog razvoja. U proteklom razdoblju je proizvodnost i troškove traktora pri privlačenju drva istraživalo više domaćih i stranih autora. Tako Bojanin i dr. (1990, 1994, 1997) istražuje rad zglobnih i poljoprivrednih traktora kod privlačenja drva. Košir i dr. (1995, 1999, 2000.) istražuju traktore u šumarstvu Slovenije u primjeni i proizvodnosti pri privlačenju drva. Zatim Krpan i Zečić (2001) istražuju učinkovitost i troškove traktora Timberjack 240 C pri privlačenju drva u brdskim oplodnim sječama. Privlačenje drva podliježe utjecaju zakona proizvodnje i zakona obujma komada (Grammel, 1988). Prema zakonu obujma komada, manji obujmi izrađenog oblog drva povećavaju troškove rada po jedinici proizvoda. Privlačenje drva s prosječno manjim obujmom komada u tovaru iz prorednih sječina je u odnosu na privlačenje iz oplodnih i prebornih sječa složenije.

Učinak traktora pri privlačenju drva funkcija je sveukupnog djelovanja čovjeka, uvjeta rada i radno-tehničkih značajki (Krpan, 1984). Proizvodnost su i troškove pridobivanja sitnog tehničkog drva različitim tehnologijama rada istraživali Branz i dr. (1983). Mikleš i Suchomel (1999) te utvrđuju zavisnost između terenskih uvjeta i rada zglobnih traktora pri privlačenju drva. Krivec (1979) piše o nužnosti promjene organizacije rada pri privlačenju drva traktorima. Prema stupnju mehaniziranosti i proizvodnosti te objektivnim i subjektivnim uzrocima, učinkovitost se u postojećoj organizaciji rada smanjuje. Smatra da su to dobri razlozi za oblikovanje novih organizacijskih postupaka, ponajprije skupnoga rada. Zatim naglašava potrebu permanentne izobrazbe kadrova i bolje vrednovanje rada u šumi. Sabo i Poršinsky (2005) istražuju također traktor Timberjack 240C s dvobubanjskim vitlom na privlače-

nju jelove oblovine u prebornim šumama. S prosječno ostvarenim obujmom tovara od 4,4 m³ i prosječnim komadom u tovaru od 0,6 m³ ukazuju na visoku proizvodnost navedenoga traktora. Novija istraživanja pridobivanja drva na nagnutim terenima zaokupljaju stručnu i znanstvenu javnost, jer je privlačenje drva najsloženija sastavnica. Tako Krčić i Košir (2008) istražuju najpovoljniju tehnologiju privlačenja drva u odnosu na primarnu i sekundarnu otvorenost šumske površine izradom digitalnih modela terena. Zatim Marenče i Košir (2008) istražuju novi traktor Woody 110 pri privlačenju drva uz nagib.

Hrvatsko je šumarstvo u drugoj polovini prošloga stoljeća prolazilo kroz tri razvojna razdoblja pridobivanja drva. U razdoblju od 1960. do 1970. godine započinje se s uvođenjem mehanizacije. Pri sječi i izradbi stabala koriste se motorne pile za jednog radnika, čije je uvođenje na čitavom području Hrvatske završeno 1979. godine. Pri privlačenju se postupno uvode poljoprivredni traktori, koji su opremljeni šumarskom opremom. U tom se razdoblju također uvode specijalni šumski zglobni traktori tipa Caterpillar S-8, Timberjack 200, Kockums i drugi, te je do 1970. godine na privlačenju drva u Hrvatskoj radilo oko 100 strojeva. Tijekom razdoblja od 1970. do 1990. godine pri sječi i izradbi stabala dalje se primjenjuje ručno-strojni rad, koji je u potpunosti zadržan do 2002. godine, kada se pokusno primjenjuje harvester u četinjačama i listačama. Motorne se pile tehnički unapređuju. U cilju povećanja proizvodnosti uz pojedinačni rad uvodi se viši oblik organizacije rada, a to je skupni rad, koji je uveden 1982. godine. U tom se razdoblju provode istraživanja primijenjenih sredstava rada na čitavom području Hrvatske. Pri privlačenju drva sedamdesetih se godina uz prilagođene poljoprivredne traktore uvode zglobni traktori, a pri izvozu forvarderi. Od 1980. godine u hrvatskom se šumarstvu započinje s uvođenjem informatičke tehnologije. Također započinje razvoj treće generacije

strojeva, specijalno konstruiranih za rad u šumi. Pri sječi, izradbi i privlačenju drva primjenjuju se tehničke norme. Započinje sustavni znanstvenoistraživački rad na čitavom području Hrvatske, koji traje i danas.



Slika 1. Traktor Timberjack 240C
Figure 1 Tractor Timberjack 240C

Sljedeće je razvojno razdoblje pridobivanja drva započelo 1990. godine stvaranjem samostalne i suverene države Hrvatske. Stvoreno je jedno jedinstveno poduzeće JP Hrvatske šume, p.o. Zagreb, koje gospodari s oko 80 % hrvatskih šuma. Ratna razaranja, pretvorba vlasništva i privatizacija ostavili su dubok trag na položaj pridobivanja drva. Tijekom nekoliko poratnih godina planira se, a od 1998. do 2001. godine investira se oko 70 mil. kuna u nabavku novih sredstava rada i opreme. Nabavljeno je 45 traktora Timberjack 240C (15 s jednobubanjским vitlom T40 i 30 s dvobubanjским vitlom Adler HY16), 50 traktora Steyr, 8 forvardera Timberjack (1210, 1410 i 1710), dva forvardera Valmet 860, 6 kamiona MAN s dizalicom i prikolicom te drugi strojevi i oprema. Nabavljena je nova informatička oprema, kao i terenska računala za potrebe praćenja sustava pridobivanja drva.

U Hrvatskoj je 1979. na privlačenju drva bilo zaposleno svega 84 ili 17,5 %, a 1995. godine 270 ili 51,6 %

3. MJESTO I METODE ISTRAŽIVANJA – Research place and methods

Terenska su istraživanja provedena na području UŠP Delnice, Šumarija Prezid, g. j. “Milanov vrh”, odjel 33b (slika 2). Na radilištu su vremenski odvojene faze sječe i izrade drvnih sortimenata od privlačenja drva. U sječini se nalazi 51,86 m³/ha, a omjer smjese vrsta je sljedeći: 74,29 % jele, 22,87 % bukve i 2,84 % OTL. Pri privlačenju drvnih sortimenata traktor se kretao samo po traktorskim putevima niz (1) i uz nagib (2) (slika 4 i tablica 1). Srednja je udaljenost privlačenja traktorskim putem 1 u ovom istraživanju iznosila 623 m, odnosno 261 m traktorskim putem 2 (tablica 1).

Istraživana je proizvodnost privlačenja drva sortimentnom metodom, traktorom Timberjack 240C s dvo-

zglobnih traktora od ukupnog broja sredstava. U 2005. godini je od ukupnog broja (631 sredstvo) bilo 312 ili 49,5 % zglobnih traktora, a od toga 119 do 35 kW, (<5t) i 193 s više od 35 kW (>5t) (Zečić i dr. 2004).

Znanstvenim istraživanjima i stručnom analizom utvrđena je nužnost primjene traktora veće snage i mase pri realizaciji glavnoga prihoda godišnjega etata Hrvatske. Dosadašnja istraživanja i strukovna praćenja u primjeni nekih traktora za oplodne i preborne sječe ukazuju na nedostatke. Traktori LKT imaju zadovoljavajuće morfološke značajke, ali i zastarjela tehnička rješenja koja u prvi plan ističu ekološku neprilagođenost. Traktor Timberjack 240 C, iako visoko proizvođen, za naše je šumske uvjete predimenzioniran i s nepotpuno usklađenim ergonomskim rješenjima.

Prvi su pokušaji mehaniziranog privlačenja u Gorskotom kotaru izvršeni nakon Drugoga svjetskog rata. Na teškim terenima upotrebljavale su se prijenosne žičare, dok su se na lakšim terenima koristili traktori gusjeničari tipa Caterpillar S-8. Dolazak je do teških i nepristupačnih terena značajno olakšan te je korištenje žičara zbog značajno većega troška po jedinici proizvoda uglavnom izbačeno iz uporabe. Uslijedilo je uvođenje novih traktora za privlačenje drva i to američki gusjeničar Caterpillar D-4, nakon kojeg slijede TG-50, TG-90. Koncem 1979. godine je na području šumskog gospodarstva Delnice na privlačenju drva radio 31 traktor, od toga su 3 LKT-80 s ugrađenim jednobubanjским vitlom, 23 traktora IMT-558 s dvobubanjским vitlima i 5 poljoprivrenih traktora drugih tipova. Idućih godina uvode se zglobni traktori tipa Kockums, Timberjack, Silva 101, Belt, John Deere i dr. te brojni poljoprivredni traktori posebno prilagođeni za rad u šumi, kao što su Torpedo, IMT, Zetor, Ursus i dr.

Cilj je ovoga rada istražiti proizvodnost traktora Timberjack 240C s dvobubanjским vitlom na nagibu, te detaljno proučiti glavne eksploatacijske značajke samoga traktora pri privlačenju drvnih sortimenata uz i niz nagib.

bubanjским vitlom Adler HY 16. Prema indeksu oblika (duljina 5860 mm, širina 2590 mm, visina 2911 mm) Timberjack 240C nalazi se u zoni srednje teških i teških traktora, a prema odnosu snage motora (75 kW) i mase (8409 kg) pripada obitelji teških traktora (K r p a n i Z e č i ć 2001).

Duljina (70 m) i promjer (14 mm) vučne užadi istovjetni su na oba vitla, a prilagođeni su dimenzijskim značajkama tovara i potrebnoj duljini izvlačenja užeta.

Prosječni je nagib puta iskazan u postotku u smjeru kretanja opterećenog traktora. Ponderiranjem udaljenosti vožnje svakog pojedinog turnusa i pripadajućeg nagiba izračunat je prosječni nagib svih snimljenih turnusa



Slika 2. Traktorski putevi
Figure 2 Skid roads

ostvarenih na pojedinom traktorskom putu. Srednja udaljenost privlačenja izračunata je kao aritmetička sredina snimljenih udaljenosti vožnje opterećenog traktora pojedinih turnusa.

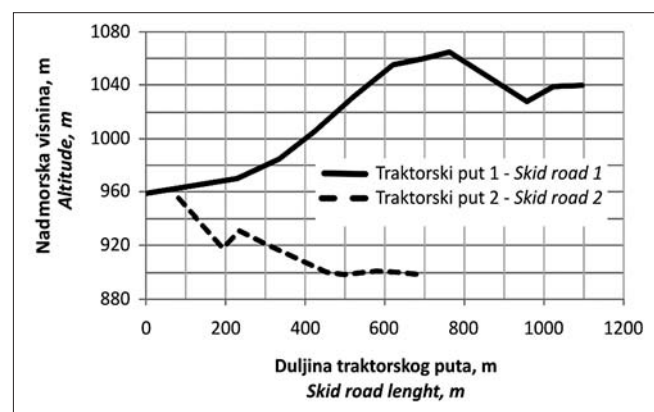
Tablica 1. Značajke traktorskih puteva
Table 1 Skid roads characteristics

Traktorski put Skid road	1	2
Ukupna duljina puta, m Total skid road length	1097	608
Prosječni nagib puta, % Average skid road slope	-10,8	4,8
Srednja udaljenost privlačenja, m Average skidding distance	623	261
Prosječni nagib privlačenja, % Average skidding slope	-16,8	14,3

Osnovne značajke dvaju traktorskih puteva na kojima je istraživana proizvodnost privlačenja prikazane su u tablici 1. Pri istraživanju je primijenjen studij rada i vremena prema metodici koja se primjenjuje u Zavodu za šumarske tehnike i tehnologije Šumarskog fakulteta u Zagrebu, a koja se naslanja na njemačka i skandinavski



Slika 3. Traktor Timberjack 240C na traktorskom putu 1
Figure 3 Tractor Timberjack 240C on skid road 1



Slika 4. Uzdužni profili traktorskih puteva
Figure 4 Skid roads side profiles

iskustva. Utrošak vremena radnih operacija i zahvata mjereno je povratnom metodom kronometrije. Duljina traktorskih puteva mjerena je postupno na odsječcima jednoličnog nagiba. Koordinate točaka promjene uzdužnog nagiba traktorskog puta mjerene su, kao i duljine, GPS uređajem. Iz razlike nadmorskih visina točaka loma i pripadajućih duljina puta izračunat je nagib pojedinog odsječka traktorskog puta. Primjenom matematičko-statističke analize obrađena su varijabilna vremena turnusa traktora: vožnja opterećenog i neopterećenog traktora po traktorskim putevima i pomoćnom stovarištu te izvlačenje užeta i privlačenje tovora.

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA – Results research

4.1 PODACI O TOVARU – Load data

Podaci su o tovarima privučenima po pojedinom traktorskom putu i ukupno prikazani u tablici 2. Značajna je razlika između prosječnog obujma tovara na traktorskom putu 1 (5,043 m³) i traktorskom putu 2 (3,715 m³). Svakim turnusom privlačenja razlika u proizvodnosti privlačenja na traktorskom putu 1 i traktorskom putu 2 raste za 1,328 m³. Na traktorskom putu 1 privučeno je 75,650 m³

drvnih sortimenata obične bukve i 115,994 m³ drvnih sortimenata obične jele, a na traktorskom putu 2 privučeno je 18,607 m³ drvnih sortimenata obične bukve i 44,549 m³ drvnih sortimenata obične jele.

Prema cjeniku glavnih šumskih proizvoda (Annon. 2008) gustoća jelova drva u svježem stanju iznosi 0,98 t/m³, a prosječna gustoća svježeg bukova drva iz-

Tablica 2. Značajke tovara
Table 2 Load characteristics

Traktorski put <i>Skid road</i>	1			2			Σ		
	X_{min}	\bar{x}	X_{max}	X_{min}	\bar{x}	X_{max}	X_{min}	\bar{x}	X_{max}
Ukupno privučeno, m ³ <i>Total skidded, m³</i>		191,644			63,156			254,800	
Ukupan broj komada, n <i>Total number of pieces, n</i>		289			150			439	
Ukupan broj turnusa <i>Total number of cycles</i>		38			17			55	
Obujam tovara, m ³ <i>Load volume, m³</i>	2,812	5,043	8,008	2,165	3,715	5,716	2,165	4,633	8,008
Broj komada u tovaru <i>Number of pieces in a load</i>	5	7,6	10	6	8,8	11	5	8,0	10
Duljina komada, m <i>Piece length, m</i>	2	6,2	13	3	6	10	2,0	6,1	13
Obujam komada, m ³ <i>Piece volume, m³</i>	0,068	0,663	2,388	0,057	0,421	1,187	0,057	0,580	2,388
Promjer komada, cm <i>Piece diameter, cm</i>	12	35,9	78	11	28,7	61	11	33,0	78

nosi 1,07 t/m³. Dakle, masa prosječnog tovara privučenog po traktorskom putu 1 iznosi 5,122 t, a masa pro-

sječnog tovara privučenog po traktorskom putu 2 iznosi 3,739 t, što čini razliku od 1,383 t/turnus.

4.2 UTROŠAK VREMENA – Time consumption

Na temelju provedenog studija vremena određena je struktura ukupno utrošenog vremena, efektivnog vremena i općih vremena (slika 5). Efektivno vrijeme iznosi 76,46 %, a opća vremena čine 23,54 % ukupnog vremena rada.

Ukupno je privučeno 254,80 m³ drvnih sortimenata sa srednje udaljenosti privlačenja (za oba traktorska puta) od 500 m po traktorskom putu i 65 m po pomoćnom stovarištu, uz srednju udaljenost izvlačenja užeta/privitlavanja od 30 m.

Efektivno vrijeme po jedinici proizvoda iznosi 8,50 min/m³, a ukupno utrošeno vrijeme 11,12 min/m³. Na radilištu je ostvaren učinak od 36,40 m³/dan za prosječno utrošeno vrijeme od 404,59 min/dan, odnosno 84,59 % propisanoga radnoga vremena od 480 minuta. U strukturi ukupno ostvarenog efektivnog vremena na vožnju neopterećenog traktora po vlaci i sječini otpada 22,20 %, a na rad opterećenog traktora otpada 24,52 %. Za rad na sječini se troši 39,88 %, a za rad na pomoćnom stovarištu utrošeno je 13,40 % efektivnog vremena.



Slika 5. Struktura ukupno utrošenog vremena i efektivnog vremena

Figure 5 Total time and effective time structure

4.2.1 DODATNO VRIJEME – Allowance time

Od 666,73 minute koliko iznose opća vremena na dodatno vrijeme otpada 481,48 minuta, a razliku od 185,25 minuta, odnosno 26,46 min/dan, čine neopravdani i nepotrebnii prekidi rada. U ukupnom dodatnom vremenu 177,01 minuta ili 36,76 % otpada na prekid za jelo, zatim slijedi privremeno-završno vrijeme sa 116,05 minuta ili 24,10 %. Na povremene radove otpada 79,34 minute ili 16,48 %, zatim slijede opravdani prekidi sa 65,62 minute ili 13,63 % pa tehnički prekidi s 38,87 minuta ili 8,07 %, dok se na odmore koristilo najmanje vremena i oni iznose 4,59 minuta ili 0,95 %.

Razlog tomu je što su oba radnika osposobljeni kao vozači traktora i kopčashi, te se tijekom rada izmjenjuju pri vožnji traktora, a vezanje tovora obavljaju zajedno. Odvezivanje tovora obavlja sam traktorist na pomoćnom stovarištu, dok drugi radnik priprema tovar u sječini. Faktor dodatnog vremena iznosi 1,22 dok prema Zečić i dr (2004) za isti traktor u brdskim uvjetima središnje Hrvatske faktor dodatnog vremena iznosi 1,19. Za traktor Ecotrac 120V faktor dodatnog vremena iznosi 1,34 u brdskom području, odnosno 1,18 gorskim uvjetima rada (Horvat i dr. 2007).

4.3 VRIJEME TURNUSA – Cycle time

4.3.1 VARIJABILNA VREMENA – Variable times

Vremena vožnji, vrijeme izvlačenja užeta i vrijeme privitlavanja tovora je promatrano kao varijabilno s obzirom na udaljenost. Pri obradi podataka posebno je promatrano vrijeme vožnje opterećenog i neopterećenoga traktora na traktorskom putu 1 i 2. Na temelju utrošenoga vremena i udaljenosti vožnje izračunane su prosječne brzine za oba navedena slučaja.

Brzine vožnji izračunate su posebno za svaki traktorski put. Za vožnju neopterećenog traktora po traktorskom

putu 1 (uz nagib) prosječna brzina iznosi 3,71 km/h, a za vožnju opterećenog traktora po istom traktorskom putu (niz nagib) iznosi 3,72 km/h. Prosječna brzina vožnje neopterećenog traktora po traktorskom putu 2 (niz nagib) iznosi 3,51 km/h i za vožnju opterećenog traktora po traktorskom putu 2 (uz nagib) iznosi 3,39 km/h. Nakon obrade i testiranja podataka, budući da nema značajnih razlika, zajedno su obrađena vremena vožnji na oba traktorska puta i prikazana na slici 6.

Na isti su način obrađeni i prikazani podaci izmjerenog i oblikovanog vremena vožnji opterećenog i neopterećenoga traktora po pomoćnom stovarištu zajedno za privlačenje s oba traktorska puta (slika 7).

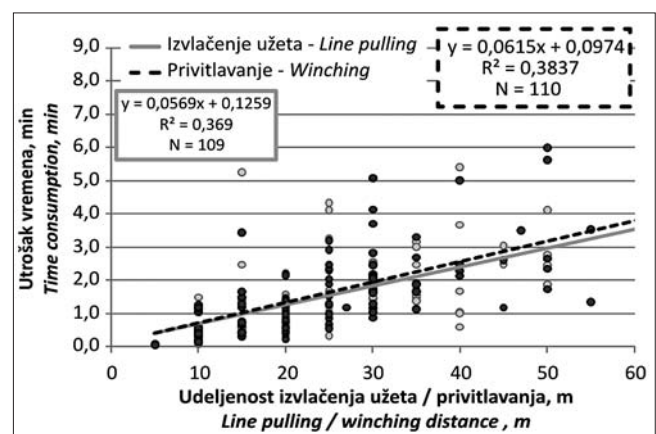
Vrijeme izvlačenja užeta i privitlavanja tovora također je promatrano kao varijabilno vrijeme. Ovisnosti utroška vremena za izvlačenje užeta i privitlavanje o udaljenosti izvlačenja užeta/privitlavanja su također izjednačene pravcima i opisane pripadajućim regresijskim jednadžbama (slika 8).



Slika 6. Utrošci vremena vožnji po traktorskom putu
Figure 6 Skid road travel time consumptions



Slika 7. Utrošci vremena vožnji po pomoćnom stovarištu
Figure 7 Landing travel time consumptions

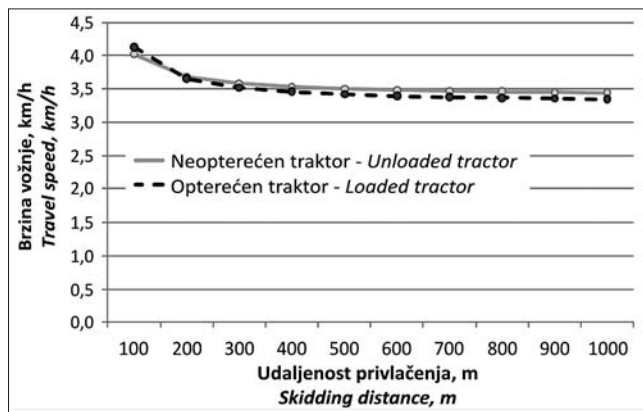


Slika 8. Utrošci vremena izvlačenja užeta i privitlavanja
Figure 8 Line pulling and winching time consumptions

4.3.1.1 BRZINE VOŽNJE TRAKTORA, IZVLAČENJA UŽETA I PRIVITLAVANJA

Skidder speeds, speeds of line pulling and winching

Brzine su punih i praznih traktora te izvlačenja užeta i privitlavanja tovara, izračunane pomoću vremena, koja su izjednačena linearnom regresijskom analizom. Jednadžbe izjednačenja utrošenih vremena su s faktorom korelacije prikazane na slikama 6 i 7. Pri izračunu vremena vožnje opterećenog i neopterećenog traktora po traktorskom putu, pomoćnom stovarištu te za izvlačenje užeta i privitlavanje tovara, uzet je opći oblik jednadžbe, (x – nezavisna varijabla udaljenosti vožnje iskazana u metrima). Brzina kretanja traktora je funkcija prijeđenog puta i utrošenog vremena. Pri izračunu brzine traktora koristi se jednadžba koja u općem obliku glasi: gdje je l – udaljenost (m), a t – vrijeme (min).



Slika 9. Brzine vožnji traktora po traktorskom putu
Figure 9 Travel speeds on the skid road

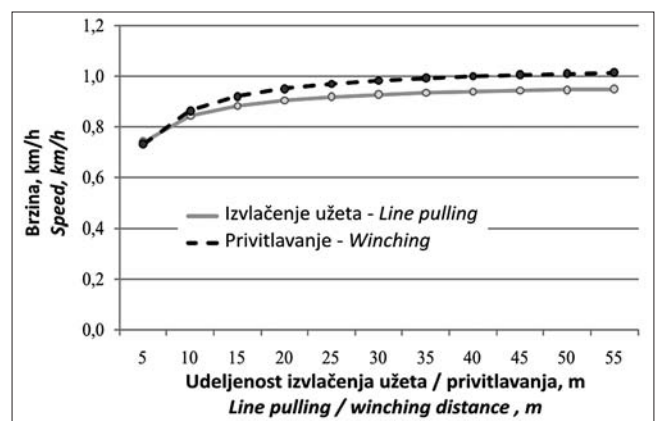
Brzine vožnje neopterećenog traktora na oba traktorska puta kreću se od 4,02 km/h (100 m) do 3,44 km/h (1000 m). Opterećeni se traktor kreće brzinom od 4,13 km/h (100 m) do 3,35 km/h (1000 m).

Prosječna brzina kretanja neopterećenog traktora po traktorskim putevima iznosi 3,56 km/h, a opterećenog 3,50 km/h. Prosječna brzina vožnje neopterećenog traktora po pomoćnom stovarištu iznosi 4,65 km/h, a opterećenog 4,93 km/h pri udaljenostima od 65 m.

Prema Zečić u i dr. (2004) prosječne brzine vožnje traktora Timberjack 240C u brdskom području, pri vožnji neopterećenog traktora iznosi 4,96 km/h, a opterećenog traktora 3,55 km/h s prosječnim obujmom tovara od 4,24 m³. Zatim Krpan i Zečić (2006) na dva radi-

lišta središnjeg kontinentalnog dijela Hrvatske istražuju isti traktor s dvobubanjnim vitlom i navode prosječne brzine vožnje praznih traktora od 4,96 km/h, odnosno 4,57 km/h, a punih 3,55 km/h i 3,42 km/h. Prosječne brzine neopterećenih traktora su u pravilu veće od brzina opterećenih traktora.

Brzina izvlačenja užeta istraživanoga traktora kreće se od 0,84 km/h (5 m) do 0,99 km/h (60 m) (slika 10), a prosječna brzina iznosi 0,97 km/h. Privitlavanje se za navedene udaljenosti odvija brzinom od 0,86 km/h do 0,95 km/h, odnosno prosječno 0,93 km/h. Krpan i Zečić (2001) su pri istraživanju traktora Timberjack 240C na privlačenju drva u brdskim oplodnim sje-



Slika 10. Brzine izvlačenja užeta i privitlavanja tovara
Figure 10 Speeds of line pulling and winching

čama utvrdili prosječne brzine pri izvlačenju užeta od 1,33 km/h, odnosno 1,62 km/h, a privitlavanja tovara u iznosu od 1,03 km/h, odnosno 0,79 km/h.

Kod traktora Ecotrac 120V pri radu u brdskom i gorskom području, prosječne brzine izvlačenja užeta iznose 1,10 km/h za prosječnu duljinu od 10,5 m, odnosno 1,66 km/h za prosječnu duljinu od 21,8 m. Brzine privitlavanja tovara iznose 0,99 km/h, odnosno 1,77 km/h (Horvat i dr. 2007). Brzine izvlačenja užeta i brzine privitlavanja tovara ovise o terenskim i sastojinskim čimbenicima, tehničkim značajkama vitla i užadi te duljini izvlačenja užeta i veličinama pojedinog tovara, kao i o sposobnosti pojedinog radnika-kopčaša.

4.3.2 FIKSNO VRIJEME – Fixed time

Na slici 11 prikazana je raspodjela fiksnog vremena turnusa istraživanog traktora Timberjack 240C. Fiksno vrijeme je dio efektivnog vremena turnusa traktora, a sastoji se od vremena rada na sječini i vremena rada na pomoćnom stovarištu. Za rad na sječini prosječno je utrošeno 9,71 min/turnusu, a za rad na pomoćnom stovarištu 3,88 minuta/trunusu što je 2,5 puta manje. Kod vremena rada na sječini, izvlačenja užeta i privitlavanja

tovara promatrani su kao varijabilno vrijeme, kako je prikazano u prethodnom poglavlju. Kao fiksno, odnosno prosječno utoršeno vrijeme promatrano je vrijeme zauzimanja položaja traktora u sječini koje iznosi 1,34 min. Zatim slijedi vezanje tovara sa 6,02 minute po turnusu, ispravljanje tovara s 1,17 minuta te privitlavanje tovara s 0,67 minuta, koje se nije događalo kod svakoga turnusa, ali se ravnomjerno nadjeljuje svakome turnusu.

Na pomoćnom stovarištu najviše je vremena utrošeno za uređenje složaja, i to 1,39 min, zatim slijedi odvezivanje tovara s 1,22 minute, pa okretanje neopterećenoga traktora s 0,58 minuta. Silaženje i penjanje je zastupljeno s 0,44 minute, a ovisi o broju komada u tovaru, vrsti drva i vrsti sortimenta te potrebi odvajanja istih.



Slika 11. Raspodjela fiksnih vremena
Figure 11 Fixed times distribution

4.4 VRIJEME TURNUSA, DNEVNI UČINAK I TROŠKOVI PRIVLAČENJA Cycle time, daily output and skidding costs

Vrijeme turnusa, dnevni učinak i toškovi privlačenja drva izračunati su u ovisnosti o udaljenosti privlačenja od 100 m do 1000 m, udaljenost vožnje po pomoćnom stovarištu od 65 m i udaljenost izvlačenja

užeta/privitlavanja od 30 m te obujmu tovara pri privlačenju drvnih sortimenata uz i niz nagib. Sva su vremena projektirana zajedno za oba traktorska puta (tablica 3), a jedini, ali značajan, utjecaj na različitu

Tablica 3. Projektirani troškovi vremena traktora
Table 3 Tractor's projected time consumptions

Srednja udaljenost privlačenja <i>Average skidding distance</i>	Vrijeme vožnje – traktorski put <i>Travel time – skid road</i>		Vrijeme vožnje – pomoćno stovarište <i>Travel time – landing</i>		Vrijeme rada na sječini <i>Felling site work time</i>	Vrijeme rada na pomoćnom stovarištu <i>Landing work time</i>	Efektivno vrijeme <i>Efective time</i>	Dodatno vrijeme <i>Allowance time</i> 22,24 %	Vrijeme turnusa <i>Cycle Time</i> T_u
	Opterećen <i>Loaded</i>	Neopterećen <i>Unloaded</i>	Opterećen <i>Loaded</i>	Neopterećen <i>Unloaded</i>					
m	min								
100	1,45	1,49	0,79	0,84	13,48	3,88	21,94	4,88	26,82
200	3,28	3,26	0,79	0,84	13,48	3,88	25,54	5,68	31,22
300	5,11	5,03	0,79	0,84	13,48	3,88	29,14	6,48	35,62
400	6,94	6,80	0,79	0,84	13,48	3,88	32,74	7,28	40,02
500	8,77	8,57	0,79	0,84	13,48	3,88	36,34	8,08	44,42
600	10,60	10,34	0,79	0,84	13,48	3,88	39,94	8,88	48,82
700	12,43	12,11	0,79	0,84	13,48	3,88	43,54	9,68	53,22
800	14,26	13,88	0,79	0,84	13,48	3,88	47,14	10,48	57,62
900	16,09	15,65	0,79	0,84	13,48	3,88	50,74	11,28	62,02
1000	17,92	17,42	0,79	0,84	13,48	3,88	54,34	12,08	66,42

normu vremena, dnevni učinak i trošak privlačenja ima različit obujam prosječnog tovara ostvaren na pojedinom traktorskom putu (slika 12).

Efektivno vrijeme trunusa traktora kreće se od 21,94 minute (100 m) do 54,34 minute (1000 m). U strukturi efektivnoga vremena turnusa traktora do udaljenosti privlačenje od 400 m veći dio vremena otpada na fiksno vrijeme, koje iznosi 17,36 minuta, a varijabilna vremena iznose 15,37 minuta. Pri udaljenosti od 500 m privlačenja drva traktorm varijabilna su vremena nešto veća i iznose 18,97 minuta. Pri većim je udaljenostima privlačenja udio varijabilnih vremena veći (za 1000 m 36,97 minuta). Ukupno se vrijeme turnusa traktora kreće od 26,82 minute (100 m) do 66,42 minute (1000 m), a dodatno vrijeme od 4,88 minuta do 12,08 minuta.

Normu vremena (NV_t) definiramo kao utrošeno vrijeme po jedinici proizvoda (min/m^3), a izračunata je iz ukupno utrošenog vremena turnusa (T_u) i prosječnog obujma tovara na pojedinom traktorskom putu pomoću formule:

$$NV_t = \frac{T_u}{q_t} \left[\frac{\text{min}}{\text{m}^3} \right]$$

gdje je: NV_t – norma vremena traktora (min/m^3), T_u – ukupno vrijeme turnusa (min), q_t – prosječni obujam tovara traktora (m^3).

Norma vremena se na traktorskom putu 1 kreće od $5,32 \text{ min}/\text{m}^3$ (100 m) do $13,17 \text{ min}/\text{m}^3$ (1000 m) s prosječnim obujmom tovara od $5,04 \text{ m}^3$. Na traktorskom putu 2 se norma vremena kreće od $7,22 \text{ min}/\text{m}^3$ (100 m) do $17,88 \text{ min}/\text{m}^3$ (1000 m) uz prosječni obujam tovara od $3,72 \text{ m}^3$. Na normu vremena odnosno na proizvodnost traktora značajno utječe veličina tovara.

Dnevni učinak izračunava se na temelju norme vremena i dnevnog radnog vremena ili na temelju dnevnog broja turnusa i prosječnog obujma tovara. Dnevni učinak izračunat je tako da je propisano radno vrijeme od 480 minuta podijeljeno s odgovarajućom normom vremena:

$$DU_t = \frac{480}{NV_t} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{dan}} \right]$$

gdje je DU_t – dnevni učinak traktora (m^3/dan), a NV_t – norma vremena traktora (min/m^3).



Slika 12. Dnevni učinak i jedinični trošak privlačenja
Figure 12 Skidding daily output and cost per unit

Tablica 4. Dnevni učinak traktora
Table 4 Tractor's daily output

Srednja udaljenost privlačenja, m Average skidding distance, m		100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Dnevni učinak, m³/dan Daily output, m³/day	Traktorski put 1 Skid road 1	90,27	77,55	67,97	60,49	54,50	49,59	45,49	42,01	39,03	36,45
	Traktorski put 2 Skid road 2	66,50	57,12	50,07	44,56	40,15	36,53	33,51	30,95	28,75	26,85

S povećanjem udaljenosti privlačenja smanjuje se dnevni učinak (slika 12). Dnevni učinak privlačenja po traktorskom putu 1 kreće se od 90,27 m³/dan za udaljenost privlačenja od 100 m do 36,45 m³/dan za 1000 m, a po traktorskom putu 2 od 66,50 m³/dan do 26,85 m³/dan. (tablica 4)

Dnevni je učinak pri privlačenju niz nagib linearno veći za 26,34 % u odnosu na privlačenje uz nagib.

Moguću proizvodnost Timberjacka 240C istražili su Sabo i Poršinsky (2005) i prikazali u ovisnosti o udaljenosti privlačenja drva, a kreće se od 16,9 m³/h (50 m) do 9,9 m³/h (400 m).

Na temelju dnevnog učinaka i dnevne kalkulacije troška rada traktora Timberjack 240C od 2873,00 kn/dan izračunati su troškovi privlačenja drva po jedi-

nici proizvoda ovisno o udaljenosti privlačenja (slika 12). Troškovi po jedinici proizvoda rastu s povećanjem udaljenosti privlačenja, a dnevni učinak opada. Za udaljenosti privlačenja od 100 m do 1000 m trošak privlačenja drva po traktorsko putu 1 kreće se od 31,83 kn/m³ do 78,83 kn/m³, a trošak privlačenja pri istim udaljenostima na traktorskom putu 2 kreće se od 43,20 kn/m³ do 107,01 kn/m³.

Za prosječno ostvarenu udaljenost privlačenja od 500 m trošak privlačenja niz nagib iznosi 52,74 kn/m³, a uz nagib 71,56 kn/m³ te je ostvarena razlika od 18,85 kn/m³. Jedinični trošak je za udaljenost 100 m manji za 11,38 kn/m³ pri privlačenju po traktorskom putu 1 nego po traktorskom putu 2, dok je za udaljenost privlačenja od 1000 m manji za 28,18 kn/m³.

5. ZAKLJUČAK – Conclusion

Istraživani je traktor Timberjack 240C s dvobubanj-skim vitlom Adler HY 16 na privlačenju izrađenih drvnih sortimenata u prebornoj sječini, ostvario prosječno dnevni učinak od 36,40 m³ za prosječno utrošeno vrijeme od 404,59 min, što je 84,59 % propisanoga radnoga vremena od 480 minuta. Ukoliko bi se koristilo propisano vrijeme rada tada bi se proizvodnost povećala za 15,41 % prema postojećoj organizaciji rada.

U strukturi ukupno utrošenoga vremena traktora na efektivno vrijeme rada otpada 76,46 %, a 23,54 % čine opća vremena. Analizom općih vremena utvrđeno je dodatno vrijeme u iznosu od 22,24 % efektivnoga vremena.

Primjenom matematičko-statističke analize obrađena su varijabilna vremena turnusa traktora, koja se kreću od 4,57 minuta do 36,97 minuta za udaljenosti od 100 m do 1000 m. Projektirano vrijeme turnusa traktora Timberjack 240C za iste udaljenosti kreće se od 26,82 minute do 66,42 minuta.

Norma vremena na traktorskom putu 1 kreće se od 5,32 min/m³ (100 m) do 13,17 min/m³ (1000 m) s prosječnim obujmom tovara od 5,04 m³. Na traktorskom putu 2 norma vremena kreće se od 7,22 min/m³ (100 m) do 17,88 min/m³ (1000 m) uz prosječni obujam tovara od 3,72 m³.

Dnevni učinak privlačenja po traktorskom putu 1 kreće se od 90,27 m³ za udaljenost privlačenja od 100 m do 36,45 m³ za 1000 m, a po traktorskom putu 2 od 66,50 m³ do 26,85 m³.

Za udaljenosti od 100 m do 1000 m trošak privlačenja drva po traktorskom putu 1 kreće se od 31,83 kn/m³ do 78,83 kn/m³, a trošak privlačenja se pri istim udaljenostima na traktorskom putu 2 kreće od 43,20 kn/m³ do 107,01 kn/m³.

Traktor Timberjack 240C spada u skupinu visokoučinkovitih specijalnih šumskih strojeva za privlačenje drva po tlu. Detaljnim istraživanjem dokazana je zakonitost utjecaja obujma tovara prema različitim udaljenostima, kao jednoga od najznačajnijih utjecajnih čimbenika privlačenja drva. Dakle, prema ovom istraživanju većim obujmom tovara značajno se povećava proizvodnost ovakvoga traktora, a time se smanjuju troškovi po jedinici proizvoda za 26,34 %. Značajno manji trošak privlačenja drva niz nagib trebao bi biti jedan od glavnih čimbenika pri projektiranju i gradnji sekundarnih šumskih prometnica.

6. LITERATURA – References

- Bojanin, S., J. Beber, 1990: Ovisnost učinka o tereznim uvjetima kod privlačenja drva traktorom. (*Merchantable timber skidding output with tractors depending on terrain conditions*). Mehanizacija šumarstva 15(5–6), 83–86.
- Bojanin, S., A. P. B. Krpan, 1994: *Eksploatacija šuma pri različitim radnim uvjetima u Hrvatskoj*, Šumarski list 118 (9/10), 271–282.
- Bojanin, S., A. P. B. Krpan, 1997: Mogućnost tzv. visokog i potpunog mehaniziranja sječe i izrade te mehaniziranja privlačenja drva u šumama Hrvatske. Šumarski list 121 (7/8), 371–381.
- Bojanin, S., A. P. B. Krpan, J. Beber, 1988: Komparativno istraživanje privlačenje drva zglobnim traktorima u jelovim prebornim sastojinama sa sekundarnim otvaranjem i bez sekundarnog otvaranja. Mehanizacija šumarstva 13 (1–2), 3–13.
- Branz, H., K. Dummel, A. Helms, 1983: Verfahrenbeispiele zur Rationellen Schwachholzernte. Forsttechnische Informationen, 35 (4–5), 30–51.

- Grammel, R.: Holzertne und Holztransport. Verlag Paul Parey, Hamburg – Berlin, 1–242.
- Horvat, D., Ž. Zečić, M. Šušnjar, 2007: Morphological characteristics and productivity of skidder Ecotrac 120 V. Croatian Journal of Forest Engineering 28 Issue 1, pp. 11–25, Zagreb.
- Košir, B., 1995: A Study of Damage to Hauling Steel Wire Ropes on the Example of Tractor Wood Extraction. Zbornik gozdarstva i lesarstva 47, Ljubljana, 97–116.
- Košir, B., 1999: Študij dela – pozabljen od vseh? – Gozdarski vestnik, 5–6 (99) 57, Ljubljana, 237–244.
- Košir, B., 2000: Primerjava rezultatov modela poškodb drevja v sestoji zaradi pridobivanja lesa in rezultatov terenskih opazovni. – Zbornik gozdarstva in lesarstva 62, 53–86.
- Krč, J., B. Košir, 2008.: Predicting Wood Skidding Direction on Steep Terrain by DEM and Forest Road Network Extension. Croatian Journal of Forest Engineering 28 Issue 1, pp. 11–25, Zagreb.
- Krivic, A., 1979: Učinkovitost in oblikovanje novih organizacijskih postopkov pri spravljanju lesa s traktorji (Neue Formen der Arbeitsorganisation bei Holzruecken mit Traktoren). Gozdarski vestnik, XXXVII, 7–8, 305–360.
- Krpan, A. P. B., 1984: Istraživanja upotrebljivosti traktora IMT – 558 na privlačenju oblovine u uvjetima nizinskih šuma šumarije Lipovljani. Magistarski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–136.
- Krpan, A. P. B., Ž. Zečić, 2001: Analise der arbeit des Knickschleppers Timberjack 240 C beim holzrüken auf den neigungen (*Analiza rada zglobnog traktora Timberjack 240 C kod privlačenja na nagibima*). 35. Internationale symposium Mechanisierung der waldarbeit, Brno, Češka Republika, 13–27.
- Krpan, A. P. B., Ž. Zečić, 2001: Učinkovitost i troškovi traktora Timberjack 240 C pri privlačenju drva u brdskim oplodnim sječama (*Productivity and costs of tractor Timberjack 240 C at timber skidding in regeneration fellings on hilly terrain*). Zagreb. Znanstvena knjiga: Znanost u potrajnom gospodarenju hrvatskim šumama, 477–490.
- Marenče, J., B. Košir, 2008: Technical parameters dynamics of WOODY 110 cable skidder within the range of stopping due to overload in uphill wood skidding. Zbornik gozdarstva in lesarstva 85, s. 39–48.
- Mikleš, M., J. Suchomel, 1999: Relationship between terrain conditions and operating condition of forest skidders. Proceedings of IUFRO symposium “Emerging harvesting issues in technology transition” Opatija, 33–35.
- Poršinsky, T., A. P. B. Krpan, M. Šušnjar, Ž. Zečić, 2005: Privlačenje drva u brdsko-planinskim prebornim šumama u Hrvatskoj – sadašnje stanje i mogući budućnosni razvoj. Mehanizacija šumarstva 2001–2004, Posebno izdanje časopisa Nova mehanizacija šumarstva, 26 (2005), broj 1, pp. 125–130, Zagreb
- Sabo, A., T. Poršinsky, 2005: Skidding of fir roundwood by Timberjack 240C from selective forests of Gorski Kotar. Croatian Journal of Forest Engineering 26 Issue 1, pp. 13–27, Zagreb.
- Zečić, Ž., 2001: Proizvodnost i troškovi traktora u brdskim proredama (*Productivity and costs of tractor in thinnings on hilly terrain*) Zagreb. Znanstvena knjiga: Znanost u potrajnom gospodarenju hrvatskim šumama, 507–523.
- Zečić, Ž., A. P. B. Krpan, B. Stankić, 2004: Privlačenje oblovine traktorom Timberjack 240C iz oplodne sječe u uvjetima Šumarije Velika Pisanica. (*Skidding of roundwood by tractor Timberjack 240 C from regeneration felling in conditions of forest office Velika Pisanica*). Šumarski list 128 (11/12): 671–678.
- Zečić, Ž., 2006: Usporedba djelotvornosti traktora Ecotrac 120 V pri privlačenju drva u brdskim i gorskim uvjetima (Comparison of productivity of skidder Ecotrac 120V at timber skidding in hilly and mountains conditions). Glasnik za šumske pokuse, Posebno izdanje 5: 557–572. Zagreb.
- Zečić, Ž., D. Vusić, 2009: Računalne norme privlačenja drva traktorima (RANOP). Konačno izvješće projekta “Usustavljenje normi i normativa” (Final report project “Systematization of time standards and normative provisions”. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 1–13.

SUMMARY: This paper presents results of research of Timberjack 240C tractor equipped with double-drum winch Adler HY16 in skidding timber assortments up and down the slope in selective felling.

The work site is situated on the altitude between 870 m and 1097 m. Harvesting density was 51.86 m³/ha. Structure of growing stock was: 74.29 % of fir, 22.87 % of beech and 2.84 % of other hard broadleaves.

Harvesting phases of felling and processing were time-separated from skidding.

Research was conducted using time and work study method. Time consumption of each work component was measured by snap-back chronometry method. Length of skid roads was gradually measured on uniform slope segments by GPS. Coordinates of points, where the longitudinal slope changes, were recorded by GPS as well. Slope of each individual segment was calculated using the difference in altitude of slope change points and the related length.

While skidding, the tractor was travelling exclusively by two skid roads (figure 4 and table 1). Average skid slope is expressed in percents, in the direction of loaded tractor travel. Average slope of recorded turns was calculated by weighting the related slope with the travel length. Average skidding distance was calculated as an average of recorded loaded travel lengths of each turn.

Load records are shown in table 2. Significant difference in average load on skid trail 1 (5.043 m³) and on skid trail 2 (3.715 m³) is evident. By each turn difference in productivity of skidding on skid road 1 and skid road 2 increases by 1.328 m³. During the research 75.650 m³ of beech wood assortments, and 115.994 m³ of fir wood assortments were skidded on skid road 1. On skid road 2 18.607 m³ of beech wood assortments and 44.549 m³ of fir wood assortments were skidded. By multiplying achieved volumes with density of fresh beech wood (1,07 t/m³) and fresh fir wood (0,98 t/m³) average load masses on skid road 1 (5.122 t) and on skid road 2 (3.739 t) were calculated.

Variable times (travel loaded and unloaded by skid roads and landing, line pulling and winching) were analysed by mathematical and statistical methods (figure 6, figure 7 and figure 8). All other effective times were regarded as fixed and calculated as averages of recorded time (figure 11).

During the research average daily output of 36.40 m³/day was achieved with average total time consumption of 404,59 min/day. The said total time consumption makes 84.59 % of legal working time (480 min). With full utilisation of legal working time, at the same organization of work, the productivity would increase by 15.41%.

During the research the tractor accomplished 76.46 % of total time as effective time with delay time of 23.54 %. In effective time per turn, for skidding distance of 500 m, fixed times take 17.36 min and variable times take 18.97 min. Effective time per turn, for skidding distance of 500 m, is 36.34 min. With determined allowance time factor of 1,22 total time is 44.42 min. Average travel speed on skid roads is 3.56 km/h for unloaded tractor and 3.50 km/h for loaded tractor. Average travel speed on landing is 4.65 km/h for unloaded tractor and 4.93 km/h for loaded tractor, on average distance of 65 m. Average speed of line pulling is 0.97 km/h and average speed of winching is 0.86 km/h. Standard time of skidding on skid road 1 ranges from 5.32 min/m³ (100 m) to 13.17 min/m³ (1000 m) with average load of 5.04 m³. For skidding on skid road 2 standard time ranges from 7.22 min/m³ (100 m) to 17.88 min/m³ (1000 m) with average load of 3.72 m³.

Daily output ranges from 90.27 m³/day for skidding distance of 100 m to 36.45 m³/day for skidding distance of 1000 m, when skidding on skid road 1, and from 66.50 m³/day to 26.85 m³/day when skidding on skid road 2 for the same distances. For skidding distances from 100 m to 1000 m skidding cost ranges from 31.83 kn/m³ to 78.83 kn/m³, for skid road 1 and from 43.20 kn/m³ to 107.01 kn/m³ for skid road 2.

Timberjack 240C tractor belongs to a group of highly-efficient special forest timber skidding machines. The principle of load size effect, as one of the key factors of timber skidding, on skidding productivity in different skidding distances has been proven by this detailed research. Hence, by increasing the load volume the productivity of this tractor is significantly increased, thus lowering the cost per unit, in this case by 26.34 %. Considerably lower timber skidding cost when skidding down the slope should be regarded as one of the capital elements in planning and construction of secondary forest network.

Key words: skidding, slope, skidder, productivity, cost