



OPEN ACCESS

DOI: 10.5937/topola2108005M

UDK: 656.137

633.872

Originalni naučni rad

Uticaj sastojinsko-terenskih karakteristika na efikasnost rada traktora Timberjack 240b u čistim sastojinama bukve

Boban Miletić^{1*}, Milorad Danilović², Todor Đorem¹, Branislav Filipić³, Marko Gutalj¹

¹ Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Poljoprivredni fakultet, Istočno Novo Sarajevo, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina

² Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, Beograd, Republika Srbija

³ Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Republika Srbija

* Autor za korespondenciju: Boban Miletić; E-mail: boban.miletic@pof.ues.rs.ba

Datum prispeća rukopis u uredništvo: 21.07.2021; **Datum recenzije:** 16.08.2021; **Datum prihvatanja rukopisa za publikovanje:** 18.08.2021.

Apstrakt: U radu su prikazani rezultati istraživanja efikasnosti rada traktora *Timberjack 240b* sa dvodobošnim vitlom (u formi rada 1T+0P) u prebornoj sastojini bukve na prosječnoj nadmorskoj visini od 983.73 m. Istraživanje je sprovedeno studijom vremena i rada, koristeći u određenim segmentima istraživanja GIS tehnologiju. Ostvareno radno vrijeme pripada 75.44% efektivnom vremenu i 24.56% dodatnom vremenu. Faktor dodatnog vremena iznosi 1.33. Srednja transportna distanca iznosila je 221.19 m, pri čemu je ostvareno 47 transportnih ciklusa sa 66 stajnih tačaka, prosječno 1,41 po transportnom ciklusu. Pomoću 79 zahvata vitlom privučeno je 363 komada, odnosno 204.04 m³ drveta. Prosječna zapremina tovara iznosi 4.34 m³, a prosječan broj komada po turi 5.43. Na vrijeme kretanja (ne)opterećenog traktora po vlaci utvrđen je značajan uticaj transportne distance i zapremine tovara u interakciji sa uzdužnim nagibom vlake. Shodno utvrđenom značajnom uticaju nagiba vlaka na vrijeme kretanja opterećenog traktora po vlaci, vlake je potrebno graditi pod što manjim vrijednostima nagiba radi uvećanja produktivnosti traktora. Po mogućnosti privlačenje drvnih sortimenata treba obavljati niz nagib.

Ključne reči: Timberjack 240b, bukva, nagib, GIS, 1T+0P.

Original scientific paper

Influence of stand and terrain characteristics on the productivity of the Timberjack 240b tractor in pure beech stands

Abstract: This paper presents the results of research of the Timberjack 240b tractor equipped with a double-drum winch (work form 1 Tractor driver + 0 Assistant) in beech stand at an average elevation of 983.73 m. The research was conducted using the time and work study method, with the help of GIS

technology in certain segments of research. The achieved working hours consist of 75.44% effective time and 24.56% delay time. The delay time coefficient is 1.33. In total, 47 transport cycles were realized, with 66 stopping points, an average of 1.41 per transport cycle. The average skidding distance was 221.19 m. In total, 363 logs (204.04 m³) were collected by 79 winches. The average load volume was 4.34 m³ and consisted of 5.43 pieces. Loaded tractor skidding time is strongly influenced by skidding distance and load volume in interaction with the longitudinal slope of skidding trails. To increase tractor productivity, it was concluded that the skidding roads should be built with the smallest longitudinal slope possible. Preferably, logs should be skidded downhill.

Keywords: Timberjack 240b, beech, slope, GIS, 1T+0A.

1. Uvod

Kada govorimo o željenoj efikasnosti i isplativosti specijalizovanih šumskih traktora već duži niz godina diskutuje se o opravdanosti njihove upotrebe. Sa razvojem ekološke svijesti i principa održivog gazdovanja šumama izrađene su posebne preporuke za ekološki odgovorno korišćenje šumskih resursa. Primjera radi, posmatranje otvaranja šuma sekundarnom mrežom šumskih puteva kroz prizmu postizanja željene apsolutne otvorenosti, na uštrb svega ostalog sem ekonomičnosti, je stvar prošlosti. Danas kada je JPŠ „Šume Republike Srpske“ nosilac FSC™ (FSC™ C013091) certifikata za gazdovanje šumama, velika pažnja se posvećuje principu trajnosti i održivosti, kao jednom od osnovnih principa savremenog gazdovanja šumama. Mnogo autora širom svijeta iznose različite zaključke i preporuke, provlačeći iste kroz filter ekonomičnosti, kada je riječ o pomenutom. Sokolović et al. (2013) navode da jedino pravilno projektovana mreža šumskih puteva može smanjiti troškove privlačenja drveta, broj i intenzitet šteta na dubecim stablima i podmlatku, te i količinu erodiranog materijala sa traktorskih puteva. Međutim, postavlja se pitanje: kakva je to pravilno projektovana mreža?

Kao jedan od najbitnijih kvalitativnih pokazatelja stanja sekundarne mreže šumskih puteva, od čije vrijednosti (ne)posredno zavise sve druge njene karakteristike, jeste nagib. Shodno tome se i izgradnja vlaka ograničava na određene vrijednosti nagiba. Prema podacima koje su objavili Sokolović et al. (2013) za šumsko-privredno područje „Ključko“ maksimalni uzdužni nagib kod privlačenja nizbrdo može iznositi do 45% (ako teren nije podložan eroziji), dok je maksimalni uzdužni nagib kada je u pitanju vožnja uzbrdo 20%. Kao granične vrijednosti mogućnosti korištenja traktora Cavalli i Amishev (2019) navode raspon od 35-45%. U praksi nagib često dolazi i do 50% (Sokolović et al. 2011). Ipak, Solgi et al. (2017) zaključuju da gradnju vlaka pod nagibom većim od 20% treba izbjegavati gdje god je to moguće.

Gore navedene činjenice su od izuzetne važnosti jer su Zečić et al. (2004) utvrdili da uzdužni nagib traktorskih puteva i vrste privlačenja s obzirom na nagib imaju značajan uticaj na brzine kretanja traktora. Na osnovu podataka koje navode pomenuti autori apsolutna razlika između prosječne brzine kretanja opterećenog i neopterećenog traktora iznosi 1.41 km/h. Uzdužni nagib traktorskih puteva i vrste privlačenja s obzirom na nagib prema Zečić et al. (2010) imaju značajan uticaj i na produktivnost traktora Timberjack 240C. Isti autori su utvrdili da je dnevni učinak za privlačenje nizbrdo linearno veći za 23.77 m³ ili 26.34% u odnosu na privlačenje uzbrdo. Prethodne navode potkrepljuju Lotfalian et al. (2011) i Ghaffariyan et al. (2013) navodeći da interakcija između nagiba i transportne distance u najvećoj mjeri utiču na vrijeme kretanja opterećenog traktora Timberjack 450C i produktivnost njegovog rada. Ovakvi zaključci su od izuzetne važnosti jer je Mousavi (2011) u istraživanju uticaja dužine oblovine na produktivnost traktora Timberjack 450C utvrdio da je kretanje opterećenog traktora radna operacija sa najvećim učešćem u ukupnom radnom vremenu. Pored značajnog uticaja nagiba vlaka, u istraživanju uticaja različitih varijabli na vrijeme rada i produktivnost traktora Lopes et al. (2017) navode da je transportna distanca u sprezi sa zapreminom tovara nosilac najznačajnijeg uticaja na produktivnost i troškove privlačenja drveta. Isti autori preporučuju privlačenje tovara veće

zapremine na kraćim transportnim distancama kako bi se uvećala produktivnost, pritom vodeći računa o kapacitetu korištenog modela zglobnog šumskog traktora. U istraživanju uticaja zapremine tovara na produktivnost traktora Timberjack 240C u nizijskim šumama Zečić et al. (2011) utvrdili su da na produktivnost traktora značajno utiče ista. U prebornim šumama bukve za traktor LKT-81T Marčeta et al. (2014) su utvrdili da je dnevni učinak veći za 20.64 m³ ili 32.80% pri razlici srednje zapremine tovara u iznosu od 2.18 m³. Zajedno sa pomenutim faktorima Behjou et al. (2008) navode i distancu privlačenja užetom vitla kao jedan od najznačajnijih faktora koji utiču na efikasnost rada traktora.

2. Materijal i metode

Cilj ovog rada je istraživanje uticaja sastojinsko-terenskih karakteristika na efikasnost rada traktora Timberjack 240b (tabela 1 i slika 1) u čistim prebirnim sastojinama bukve. Primjena GIS tehnologije u određenim segmentima istraživanja ima za cilj precizniju identifikaciju uticaja pojedinih faktora na efikasnost rada pomenutog traktora. Istraživanje je obavljeno u zimskim uslovima na području ŠG „Milići“ Milići između 19°5'25" i 19°6'0" IGD i 44°4'25" SGŠ (WGS 84 UTM Zone 34) u visokim sekundarnim šumama bukve u pojasu šuma bukve i jele sa smrčom (1108) sa drvnom zalihom od 427.640 m³/ha.

Nadmorska visina istraživanog objekta varira između 738 do 1235 m. Klima je umjereno-kontinentalna do planinska. Teren je srednje strm, sa pretežno sjevernom ekspozicijom. Zemljište je lakog mehaničkog sastava (dominira frakcija sitnog pijeska), srednje duboko i dobro obezbjeđeno humusom, sa krečnjačkom geološkom podlogom koja izbija na površinu u vidu krupnog i sitnog kamenja.

Tabela 1. Karakteristike Timberjack 240b.

Table 1. Characteristics of Timberjack 240b.

Karakteristike	Vrijednost
Masa (kg)	9979
Dužina (m)	5.97
Širina (m)	3.28
Visina (m)	2.92
Model motora	Cummins 4BTA
Tip motora	Diesel
Snaga motora (kW)	77
Transmisija	Synchromesh
Broj brzina F/R	8F/8R
Model vitla	T30
Dužina užeta (m)	55
Prečnik užeta (mm)	16
Godina proizvodnje	1996

Tabela 2. Romer-Orfalova skala jačine korelacije.

Table 2. Römer – Orphal correlation scale.

Koeficijent korelacije (R)	Jačina korelacije
0.0 – 0.1	Ne postoji
0.1 – 0.25	Jako slaba
0.25 – 0.4	Slaba
0.4 – 0.5	Srednja
0.5 – 0.75	Jaka
0.75 – 0.9	Vrlo jaka
0.9 – 1.0	Potpuna

Metod izrade je sortimentni. Forma rada na privlačenju drveta je 1T+0P. Predmet istraživanja je skider Timberjack 240b (tabela 1). Na skideru su montirani pneumatici 18.4 – 34 PLY, sa TRYGG MULTIRING (kopita) lancima naprijed i TRYGG SMT STANDARD (bodlje/igle) nazad. Traktorista posjeduje radno iskustvo u datom poslu u trajanju od 11. godina.

Tokom višednevnog istraživanja temperatura vazduha, mjerena u 08:00 h, kretala se od 7 do 14°C, dok su se iste, pri mjerenju u 15:00 h, kretale u rasponu od 12 do 21°C. Većina dionica sekundarne mreže šumskih puteva bile su suve, dok je na manjem dijelu evidentirano prisustvo vlage sa kolotrazima dubine od 5 do 10 cm.

Istraživanje efikasnosti rada šumskog zglobnog traktora Timberjack 240b obavljeno je u obliku studije vremena i rada (Zečić et al. 2011). Primjenom protočne metode, koristeći se digitalnim

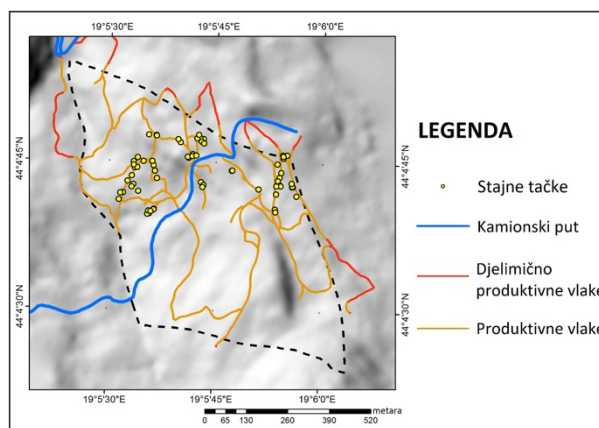
časovnikom, izmjeren je utrošak vremena kretanja (ne)opterećenog skidera po vlaci i sječini, vremena manipulacije u sječini (okretanje i pozicioniranje skidera), vremena odvlačenja užeta, zakačinjanja, privlačenja užetom vitla i otkačinjanja u sječini, kao i vremena rada na stovarištu (otkačinjanje, uhrpavanje, okretanje i slično), uključujući i prekide rada (zastoje), pri čemu su izmjerena vremena unošena u odgovarajući obrazac. Karakteristike tovara dobijene su mjerenjem prečnika i dužine šumskih drvnih sortimenata (ŠDS) prema važećim normativima nacionalnog standarda za drvo: SRPS EN 1309-1:2007.

Rastojanja odvlačenja užeta i privlačenja užetom vitla mjerena su korištenjem pantljičke, pri čemu je mjerenje izvršeno sa tačnošću na 1 m. Mjerenje transportnih distanci ostvarenih prilikom kretanja (ne)opterećenog traktora po vlaci i sječini izvršeno je upotrebom GPS uređaja *Garmin Etrex 10*. Prostorna vizuelizacija snimljenih putanja i proračun mjerene transportne distance sa pripadajućim prosječnim uzdužnim nagibom putanja izvršen je u GIS softveru ArcMap 10.1 pomoću izrađenog digitalnog modela visina (DEM) i alata „add surface information“ (slika 2).



Slika 1. Timberjack 240b (fotografija: Miletić, B.).

Figure 1. Timberjack 240b (photo: Miletić, B.).



Slika 2. Područje istraživanja sa snimljenom mrežom šumskih puteva.

Figure 2. Study area with recorded forest road network.

Vremena rada traktora, zajedno sa podacima dobijenim kroz upotrebu ArcMap 10.1, su obrađena, sistematizovana i statistički analizirana unutar *Microsoft office Excel 2007* programskog paketa.

Ukupno vrijeme rada razloženo je na efektivno vrijeme i opšta vremena. Opšta vremena su dalje raščlanjena na: lične prekide rada, povremene radove, tehničke prekide rada, organizacijske prekide i prekide za jelo.

Zavisnosti utroška vremena kretanja (ne)opterećenog traktora, vremena odvlačenja užeta i privlačenja užetom vitla od pripadajućih distanci, kao i zavisnosti vremena zakačinjanja, otkačinjanja i uhrpavanja od broja komada, odnosno zapremine komada, istražene su regresionom analizom. Sveukupno testiranje izvršeno je na nivou značajnosti od $p < 0.05$. Ocjena jačine korelacije među nezavisnim i zavisnim varijablama izvršena je na osnovu Romer-Orfalove skale jačine korelacije (Römer – Orphal) (tabela 2) (Sabo i Poršinsky, 2005).

Utvrđivanje statističkih značajnih razlika između prosječnih brzina kretanja (ne)opterećenog traktora i zapremina privučenog tovara (uzbrdo i nizbrdo) obavljeno je pomoću analize varijanse (ANOVA) sa testom najmanje značajne razlike (LSD). Utvrđivanje statistički značajne razlike između prosječnih zapremina tovara privučenog uzbrdo i nizbrdo obavljeno je pomoću t-testa.

3. Rezultati i diskusija

Tokom kretanja po vlaci i sječini traktor Timberjack 240b je prešao rastojanje od 19917.00 m. Od toga po vlaci neopterećen: 9308.00 m i opterećen: 9831.00 m i po sječini neopterećen: 380.00 m i

opterećen: 399.00 m. U okviru navedenih distanci ostvareno je 47 transportnih ciklusa sa 66 stajnih tačaka (slika 2), prosječno 1.41 stajnih tački po transportnom ciklusu. U tabeli 3 prikazane su karakteristike putanje traktora.

Tabela 3. Karakteristike putanje skidera.

Table 3. Skidder path characteristics.

Karakteristike putanje		X _{min}	\bar{X}	X _{max}	SD
Transportna distanca (m)		49.00	221.19	431.00	107.83
Odvlačenje užeta (m)		3.00	13.00	48.00	8.71
Privlačenje užetom vitla (m)		2.00	12.56	40.00	7.95
Neopterećen skider	Prosječni nagib: uzbrdo (%)	7.68	16.88	23.61	4.42
	Prosječni nagib: nizbrdo (%)	8.92	18.92	23.32	4.52
Opterećen skider	Prosječni nagib: uzbrdo (%)	8.88	18.90	24.35	4.58
	Prosječni nagib: nizbrdo (%)	7.36	17.05	22.26	4.54

Pomoću 79 zahvata vitlom privučeno je 363 komada, odnosno 204.04 m³ drveta. Prosječna zapremina tovara iznosi 4.34 m³, dok se isti prosječno sastoji od 5.43 komada, čija prosječna dužina iznosi 4.59 m. Statistički značajna razlika (T-test) između prosječne zapremine tovara privučenog uzbrdo i nizbrdo nije utvrđena (P(T<=t) two-tail: 0.882 > p=0.05). U tabeli 4 prikazane su ostale karakteristike privučenog tovara.

Tabela 4. Karakteristike tovara.

Table 4. Load parameters.

Karakteristike tovara		X _{min}	\bar{X}	X _{max}	SD
Zapremina (m ³)	Uzbrdo	1.92	4.36	6.92	1.02
	Nizbrdo	2.96	4.31	5.94	0.98
	Sveukupno	1.92	4.34	6.92	0.99
Broj komada po transportnom ciklusu	Uzbrdo	3	5.79	17	2.87
	Nizbrdo	3	4.83	7	0.99
	Sveukupno	3	5.43	17	2.37
Zapremina po zahvatu vitla (m ³)		0.99	3.67	6.92	1.24
Zapremina komada (m ³)		0.02	0.80	2.77	0.57
Broj komada po zahvatu vitla		1	4.59	17	2.66
Dužina komada (m)		1.80	4.19	9.00	1.44

Efektivno radno vrijeme izraženo u relativnim vrijednostima čini 75.44%, a dodatno vrijeme 24.66% ukupno utrošenog vremena (tabela 5). Istraživanjem uticaja dužine oblovine na produktivnost i troškove rada traktora Timberjack 450C Mousavi (2012) je utvrdio da kretanje opterećenog traktora ima najveće učešće u ukupnom radnom vremenu. Za razliku od rezultata do kojih je pomenuti autor došao, analiza radnog vremena traktora Timberjack 240b ukazuje na zakačinjanje kao radnu operaciju sa najvećim učešćem (25.78%) u ukupnom radnom vremenu, dok se kretanje opterećenog traktora po vlaci nalazi na drugom mjestu. Veliko procenutalno učešće vremena zakačinjanja u ukupnom radnom vremenu, kao i ostvareno prosječno vrijeme zakačinjanja od 8.80 min za prosječna 4.83 komada po turi nesumnjivo je posljedica forme rada 1T+0P. Takav zaključak potvrđuju rezultati do kojih su došli Marčeta et al. (2014) u kojima se navodi da pri formi rada 1T+1P zakačinjanje učestvuje sa 16.66% u ukupnom radnom vremenu i ostvarenim prosječnim vremenom zakačinjanja od 5.23 min za prosječno 9.47 komada po turi.

U dodatnom vremenu prekidi za jelo zauzimaju najveći udio sa 43.27%, dok tehnički prekidi zauzimaju posljednje mjesto sa udjelom od 5.06% (tabela 6). Faktor dodatnog vremena iznosi 1.33. Pod

uslovom korišćenja forme rada 1T+1P vrijeme ličnih prekida, tj. vrijeme odvojeno za odmor (66.77 min ili 3.69%) može se svesti na zanemarljivu vrijednost. Opravdanost izvođenja ovakvog zaključka može se pronaći u istraživanju uticaja uzdužnog nagiba vlaka na produktivnost traktora Timberjack 240C (Zečić et al. 2010). Pomenuti autori navode da se na odmire koristilo najmanje vremena i oni iznose 4.59 min ili 0.95%, te zaključuju da je uzrok takve vrijednosti to što su oba radnika osposobljeni kao vozači traktora i kopčaći, te se tokom rada izmjenjuju pri vožnji traktora, a vezanje tovara obavljaju zajedno.

Tabela 5. Struktura ukupnog radnog vremena.

Table 5. Descriptive analysis of work time.

Radna operacija	Vrijeme (min)			SD
	Σ	%	\bar{X}	
Vožnja vlakom (neopterećen)	167.53	9.33	3.56	1.80
Vožnja sječinom (neopterećen)	15.42	0.86	0.33	0.37
Odvlačenje užeta	59.15	3.30	1.26	0.54
Zakačinjanje	413.57	23.04	8.80	3.13
Privlačenje užetom vitla	58.73	3.27	1.25	0.38
Vožnja sječinom (opterećen)	20.28	1.13	0.43	0.74
Vožnja vlakom (opterećen)	295.45	16.46	6.29	4.17
Otkaćinjanje u sječini	20.37	1.13	0.93	0.84
Otkaćinjanje na stovarištu	107.83	6.01	2.29	0.89
Manipulacija u sječini	33.37	1.86	0.71	0.50
Manipulacija na stovarištu	41.80	2.33	0.89	0.73
Fiksiranje čokera za traktor	63.85	3.56	1.36	0.51
Uhrpavanje	56.60	3.15	1.20	0.86
Dodatno vrijeme	440.80	24.56	9.38	6.90
Efektivno radno vrijeme	1353.95	75.44	28.81	/
Ukupno radno vrijeme	1794.83	100	38.19	/

Tabela 6. Struktura dodatnog radnog vremena.

Table 6. Descriptive analysis of allowance time.

Tip dodatnog vremena	Vrijeme (min)			SD
	Σ	%	\bar{X}	
Tehnički prekidi	22.30	5.06	3.19	2.43
Organizacijski prekidi	46.27	10.49	1.36	1.03
Povremeni radovi	115.28	26.15	1.89	1.55
Odmor	66.27	15.03	1.62	1.26
Prekid za jelo	190.77	43.27	38.15	8.52
Faktor dodatnog vremena	1.33	/	/	/

U našem slučaju, uzroci vremena organizacijskih prekida mogu se pronaći u tome da traktorista često nije imao saznanja o tačnom položaju ŠDS u sječini, tj. kojim dionicama sekundarne mreže šumskih puteva može doći do istih. Ukoliko bi poslovođa blagovremeno predočio detalje dnevne dinamike rada traktoristi, uz prethodno jasno i nedvosmisleno obilježavanje pravca pružanja izvoznih vlaka na terenu, organizacijske prekide moguće je smanjiti na minimalnu vrijednost. Vrijeme odvojeno za doručak ulazi u okvire zakonski dozvoljene vrijednosti. Vrijeme povremenih radova u većini slučajeva se nije moglo izbjeći, jer su isti prouzrokovani faktorima na koje radnik nije imao uticaj.

Sveukupno faktor dodatnog vremena (1.33) u prosjeku odstupa oko 10% od vrijednosti do kojih su došli drugi autori u planinskim uslovima: 1.22 za traktor Timberjack 240C (Zečić et al. 2010) i 1.18 za traktor EcoTrac 120V (Horvat et al. 2007). Štaviše, isti je zadovoljavajući za formu rada 1T+0P.

U tabeli 7 su predstavljene su statističke karakteristike regresionih modela utroška vremena za većinu radnih operacija.

Tabela 7. Regresioni modeli radnih operacija skidera.

Table 7. Regression models of the skidder work operations.

Radna operacija	N	Regresioni model	F-test		R	R ²	SE
			F-val.	p-val.			
VvNt	47	$y_1 = 0.299 + 0.017 * x_{td}$	411.80	0.000	0.949	0.901	0.572
OU	75	$y_2 = 0.186 + 0.046 * x_{dou}$	90.09	0.000	0.743	0.552	0.366
ZK	46	$y_4 = 3.305 + 1.103 * x_{nk}$	21.67	0.000	0.574	0.330	2.603
PUV	79	$y_4 = 0.273 + 0.037 * x_{dpm}$	120.83	0.000	0.782	0.611	0.239
VvOt	47	$y_5 = -2.807 + 0.030 * x_{td} + 0.104 * x_{png} + 0.499 * x_{vt}$	138.44	0.000	0.952	0.900	1.326
OTKst	44	$y_8 = 0.270 + 0.367 * x_{nk}$	79.33	0.000	0.809	0.653	0.447
UHP	32	$y_9 = 0.195 + 0.130 * x_{vk}$	5.25	0.028	0.361	0.130	0.174

Legenda: VvNt – vožnja vlakom neopterećenog traktora; OU – odvlačenje užeta; ZK – zakačinjanje; PUV – privlačenje užetom vitla; VvOt – vožnja vlakom opterećenog traktora; OTKst – okkačinjanje na stovarištu, UHP – uhrpavanje; X_{td} – transportna distanca (m); X_{dou} – distanca odvlačenja užeta (m); X_{dpm} – distanca privlačenja užetom vitla (m); X_{png} – prosječni nagib putanje (%); X_{nk} – broj komada; X_{vk} – prosječna zapremina komada (m³); X_{vt} – zapremina tovara (m³).

Uticao nagiba na kretanje neopterećenog traktora po vlaci pokazao se kao statistički neznačajna nezavisna varijabla (t-value: 0.045), te je eliminisan iz postavke linearne regresije. Međutim, u zavisnosti vremena vožnje vlakom neopterećenog traktora od transportne distance utvrđena je potpuna korelacija (R=0.949). Između srednje brzine kretanja neopterećenog traktora uzbrdo i nizbrdo nije utvrđena statistički značajna razlika, odnosno ista je izuzetno bliska minimalno potrebnoj vrijednosti (ABS=0.376 ≈ LSD=0.302) da bi se pomenuta razlika dokazala, tako da je možemo odbaciti kao neznačajnu (tabela 8).

Jačina korelacije između vremena kretanja neopterećenog traktora od transportne distance (R=0.949) govori tome u prilog. Behjou et al. (2008) je došao do istih zaključaka, te navodi da je vrijeme kretanja neopterećenog traktora u neposrednoj zavisnosti samo sa transportnom distancom. Ovakva pojava može biti objašnjena homogenim terenskim uslovima, što se najviše odnosi na nizak nivo vlažnosti vlaka na kojima nije dolazilo do proklizavanja pneumatika, iako je prosječni nagib istih prilikom kretanja uzbrdo iznosio 16.88%. Utvrđenu statistički „značajnu“ razliku možemo pripisati variranju vlažnosti dionica vlaka u pojedinim turama na kojima je kretanje traktora bilo otežano.

Za razliku od prethodnog, između brzina kretanja opterećenog traktora po vlaci uzbrdo i nizbrdo utvrđena je statistički značajna razlika (ABS=1.437 > LSD=0.302), pritom je važno naglasiti da se prosječna zapremina privučenog tovara ne razlikuje između privlačenja uzbrdo i nizbrdo. Višestruka linearna regresija je pokazala da je vrijeme kretanja opterećenog traktora po vlaci u potpunoj zavisnosti od transportne distance, prosječnog nagiba vlake i zapremine tovara (R=0.952). Uzimajući u obzir prethodne konstatacije u kojima je utvrđeno da prosječni nagib vlaka nema značajan uticaj na vrijeme kretanja neopterećenog traktora i analizu varijanse za srednje brzine kretanja opterećenog traktora uzbrdo i nizbrdo, može se zaključiti da na vrijeme kretanja opterećenog traktora najviše utiče interakcija između prosječnog nagiba vlake odnosno pravca privlačenja i zapremine tovara, kao i transportne distance sa njima. Ovakvi zaključci slažu se sa zaključcima drugih autora navedenih u uvodu.

Vrijeme zakačinjanja i otkačinjanja na lageru neposredno zavisi od broja komada u tovaru. U prvom slučaju utvrđena je jaka (R=0.574), a u drugom vrlo jaka korelacija (R=0.809). Razlog nešto slabije

korelacije kod zakačinjanja možemo pripisati položaju komada u sječini, odnosno njihovoj međusobnoj udaljenosti. Broj zahvata vitlom može biti jedan od dodatnih uticajnih faktora. Kod dva i više zahvata vrijeme odlaska traktoriste (kopčša) nazad do traktora, nakon zakačinjanja posljednjeg komada, značajno se uvećava i varira ukoliko se distance odvlačenja užeta/privlačenja užetom vitla među zahvatima znatno razlikuju. Takvo vrijeme u formi rada 1T+1P ne postoji, jer pomoćnik (kopčša) traktoristi signalizuje kraj zakačinjanja, nakon čega isti otpočinje sa privlačenjem ŠDS užetom vitla. Vrlo jaka korelacija kod otkačinjanja na lageru izričito je proizvod tovara kao cjeline na jednom mjestu. Isprepletenost malih užadi (čokera) u tovaru može biti jedan od razloga nepostojanje potpune korelacije.

Tabela 8. Analiza varijanse prosječnih brzina kretanja traktora.

Table 8. Analysis of variance in average tractor speeds.

Grupe	Broj	Suma	Prosjek	Varijansa	ABS	LSD
Nizbrdo - neopterećen (km/h)	29	100.708	3.473	0.295		
Uzbrdo - neopterećen (km/h)	18	55.745	3.097	0.269	0.376	0.302
Uzbrdo- opterećen (km/h)	29	50.334	1.736	0.141		
Nizbrdo - opterećen (km/h)	18	57.109	3.173	0.369	1.437	
ANOVA						
Izvor varijacije	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Između grupa	50.058	3	16.686	65.093	0.000	2.706
Unutar grupa	23.071	90	0.256			
Ukupno	73.129	93				

Rezultati analize pokazali su da je vrijeme odvlačenja užeta u jakoj pozitivnoj korelaciji sa distancom na kojoj je izvršeno izvlačenje užeta ($R=0.743$). Nepostojanje potpune korelacije može se pripisati uticaju nagiba terena, raskvašenosti zemljišta, gustini podmlatka, sveopštem kondicionom stanju radnika i njegovom akumuliranom dnevnom zamoru. Za razliku od vremena odvlačenja užeta, vrijeme privlačenja užetom vitla je u vrlo jakoj pozitivnoj korelaciji sa distancom na kojoj se vrši privlačenje užetom vitla ($R=0.782$). U ovom slučaju nepostojanje potpune korelacije može se pripisati nagibu terena, zapremini tovara po zahvatu vitla, broju i dužini komada tovara u interakciji sa preprekama (položaju dubećih stabala, podmlatka, stijenovitih površina, itd.).

Za broj komada i zapreminu tovara nije utvrđen nijedan statistički značajan oblik povezanosti sa vremenom uhrpavanja, te je kao nezavisna varijabla u postavci linearne regresije korištena prosječna zapremina komada privučenog tovara. Utvrđena slaba korelacija ($R=0.361$) posljedica je širine lagera tj. (ne)dostupnosti prostora za manipulaciju, kao i količini već uhrpovanog tovara na lageru.

4. Zaključak

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti:

- Forma rada 1T+0P umanjuje efikasnost rada traktora Timberjack 240b, što je rezultat većeg učešća vremena zakačinjanja u ukupnom radnom vremenu nego u u sličnim istraživanjima gdje je analizirana forma rada 1T+1P.
- Efikasnost rada traktora Timberjack 240b može biti uvećana na uštrb smanjenja dodatnog vremena putem eliminacije ili značajnog smanjenja organizacijskih prekida.
- Uzdužni nagib vlaka se pokazao kao najznačajniji ograničavajući faktor samo u slučaju kretanja opterećenog traktora uzbrdo – radne operacije sa značajnim udjelom u ukupnom radnom vremenu. Shodno tome, preporuka je da gdje god je to moguće privlačenje ŠDS treba obavljati nizbrdo ili uzbrdo uz smanjenje zapremine tovara proporcionalno vrijednosti uzdužnog nagiba vlaka.

Literatura

1. Behjou, F.K., Majnounian, B., Namiranian, M., Dvořák, J. (2008): Time study and skidding capacity of the wheeled skidder Timberjack 450C in Caspian forests. *Journal of Forest Science* 54(4): 183-188.
2. Cavalli, R., & Amishev, D. (2019): Steep terrain forest operations – challenges, technology development, current implementation, and future opportunities. *International Journal of Forest Engineering*, 30(3), 175–181.
3. Ghaffariyan, M.R., Naghdi, R., Ghajar, I., Nikooy, M. (2013): Time prediction models and cost evaluation of Cut-To-Length (CTL) harvesting method in a mountainous forest. *Small-scale Forestry* 12(2): 181-192.
4. Horvat, D., Zečić, Ž., Šušnjar, M. (2007): Morphological characteristics and productivity of skidder ECOTRAC 120V. *Croatian Journal of Forest Engineering* 28: 11-25.
5. Lopes, E.S., Oliveira, D., Rodrigues, C.K., Drinko, C.H. (2017): Variables influencing working time and skidder productivity in wood extraction. *Nativa* 5(4): 298-302.
6. Lotfalian, M., Zadeh, E.H., Hosseini, S.A. (2011): Calculating the correction factor of skidding distance based on forest road network. *Journal of Forest Science* 57(11): 467-471.
7. Marčeta, D., Petković, V., Košir, B. (2014): Comparison of two skidding methods in beech forests in mountainous conditions. *Nova mehanizacija šumarstva* 35(1): 51-62.
8. Mousavi, R. (2012): Effect of log length on productivity and cost of Timberjack 450C skidder in the Hyrcanian forest in Iran. *Journal of Forest Science* 58(11): 473-482.
9. Sabo, A., Poršinsky, T. (2005): Skidding of fir roundwood by Timberjack 240C from selective forests of Gorski Kotar. *Croatian Journal of Forest Engineering* 26: 13-27.
10. Sokolović, Dž., Pičman, D., Lojo, A., Gurda, S., Bajrić, M., Koljić, H. (2013): Određivanje optimalnog prostornog rasporeda mreže sekundarnih šumskih prometnica. *Šumarski list* 1-2: 7-23.
11. Zečić, Ž., Krpan, P.B.A., Stankić, B. (2004): Privlačenje oblovine traktorom Timberjack 240 C iz oplodne sječe u uvjetima šumarije Velika Pisanica. *Šumarski list* 11-12: 671-678.
12. Zečić, Ž., Vusić, D., Necečereč, H., Mikulin, M. (2011): Uticaj obujma tovara na proizvodnost traktora Timberjack 240c pri privlačenju debala euroameričke topole u nizinskim šumama. *Croatian Journal of Forest Engineering* 32: 357-367.
13. Zečić, Ž., Vusić, D., Prka, M., Klepac, S. (2010): Utjecaj nagiba traktorskog puta na proizvodnost traktora Timberjack 240C pri privlačenju drvnih sortimenata u prebornim šumama. *Šumarski list* 3-4: 103-114.