



Potrošnja goriva skidera pri privlačenju drva iz proredne bukove jednodobne sastojine u gorskom području – studija slučaja

Marijan Šušnjar, Zdravko Pandur, Marin Bačić, Hrvoje Kopseak

Nacrtač – Abstract

Rad se bavi analizom potrošnje goriva skidera pri privlačenju drva iz prorede jednodobne bukove sastojine na gorskom području. Istraživanje potrošnje goriva provedeno je na skideru Ecotrac 140V tijekom osam radnih dana na istom radilištu u stvarnim uvjetima privlačenja drva. Radilište je organizirano tako da se prazni skider kretao uzbrdo, dok je opterećen skider išao nizbrdo. Skider je bio opremljen mjernim uređajima za prikupljanje podataka sa senzora i motora te za daljinski prijenos podataka. Daljinskim su prijenosom prikupljeni mjerni podaci o potrošnji goriva (mL) i poziciji skidera pomoću GPS-a, dok su se nagib šumskih vlaka i obujam tovara izravno mjerili na terenu. Potrošnja goriva ($L, L/m^3$) određena je po radnom turnusu i radnim sastavnicama. Najveća potrošnja goriva zabilježena je tijekom vožnje praznoga skidera – 38 % ukupne potrošnje goriva. Zbog ostvarena maloga i nedovoljnoga obujma tovara u odnosu na veličinu skidera gorivo se uglavnom trošilo za osiguravanje energije potrebne za kretanje skidera. Predstavljene su smjernice za bolju i učinkovitiju organizaciju rada i smanjenje troškova goriva, a prikladnost skidera i sustava pridobivanja drva razmatrana je na temelju rezultata analize potrošnje goriva.

Ključne riječi: skider, potrošnja goriva, radni turnusi, obujam tovara

1. Uvod – Introduction

Odabir sustava pridobivanja drva obično se temelji na ravnoteži između ekološke prihvatljivosti i ekonomskih prednosti (Marchi i dr. 2018). U planinskim i gorskim područjima još je uvijek vrlo česta primjena polumehaniziranoga sustava pridobivanja drva, koja uključuje sječu i izradu stabala motornim pilama lančanicama i privlačenje drva skiderima (Ghaffariyan 2020). Globalno, 55 % drva pridobiva se polumehaniziranim sustavima, dok potpuno mehanizirani sustavi čine ostalih 45 % (Šporčić i dr. 2021). Lundbäck i dr. (2018) navode da u Europskoj uniji skideri služe za pridobivanje najmanje 40 % godišnjega obujma drva, što iznosi više od 100 milijuna kubnih metara. U hrvatskom se šumarstvu oko 55 % svih drvnih sortimenata izvlači pomoću skidera s vitlima (Kopseak i dr. 2021).

Troškovi rada skidera ovise o mnogobrojnim čimbenicima, pri čemu je potrošnja goriva jedna od

značajnih sastavnica troškova. Baker je (2013) utvrdio da troškovi goriva čine 22,8 % ukupnih troškova pridobivanja drva, dok je Grisso (2020) odredio troškove goriva skidera u rasponu od 16 % do preko 45 % ukupnih troškova. Temba i dr. (2021) izvijestili su da pri primjeni stablovne metode troškovi goriva skidera čine 68,8 % ukupnih varijabilnih troškova.

S očekivanim rastom primjene mehaniziranih sredstava u sustavima pridobivanja drva ukupna će potrošnja goriva također rasti pri izvođenju šumskih radova. Pri tome je cijena goriva stalno promjenjiva, ovisno o tržišnim utjecajima, što je problem pri određivanju troškova rada (Oyier i Vissler 2016).

Mnogo prijašnjih studija bavi se potrošnjom goriva različitih sustava pridobivanja. Istraživanja su pokazala da na potrošnju goriva pri primijenjenim metodama sječe drva utječu mnogi čimbenici, uključujući osobine operatera, tip šumske sastojine, uvjete terena te tehnička svojstva mehaniziranoga sredstva za rad (Cosola i dr. 2016, Ackerman i dr. 2017). Na razinu

potrošnje goriva šumskoga vozila u sustavu pridobivanja drva utječu veličina motora, faktor opterećenja, stanje opreme, vozačka vještina rukovatelja, uvjeti okoline te vrsta i tip stroja (Kenney i dr. 2014). Prema Haliloviću i dr. (2019) ovi čimbenici utječu na potrošnju goriva skidera: vanjski čimbenici (klimatski, sastojinski, terenski), čimbenici stroja (značajke motora, radnih i prijenosnih dijelova), tehnološki čimbenici (metoda rada, radne operacije) i organizacijski čimbenici (održavanje stroja, obrazovanje rukovatelja).

Borz i dr. (2013) istraživali su razlike između potrošnje goriva skidera u različitim sastojinskim uvjetima. Utvrdili su da je potrošnja goriva skidera mnogo veća u jednodobnim šumama nego u prebornim šumama.

Kenney i dr. (2014) navode da skideri troše u prosjeku 3,31 L više po radnom satu i 0,12 L više po kubnom metru u usporedbi s forvarderima.

FP Innovations u Kanadi izradio je vodič s prijedlozima za smanjenje potrošnje goriva šumskih vozila pri čemu se navode ove stavke: upotreba dizelskih motora s maksimalnim okretnim momentom, izbjegavanje termostatskih i hidraulički pogonjenih ventilatora koji rade punom brzinom u svim radnim uvjetima, upotreba radnih svjetala samo kada je potrebno, minimiziranje praznoga hoda, održavanje hladnjaka i hladnjaka ulja čistima, odabir odgovarajućih guma kako bi se smanjio gubitak trakcije te organizacija rada s privlačenjem drva niz nagib (Ghaffariyan i dr. 2018).

Cilj je ovoga istraživanja analiza potrošnje goriva skidera tijekom privlačenja drva iz prorede bukove šume na gorskom području te razmatranje prikladnosti skidera i primijenjenoga sustava pridobivanja na temelju rezultata potrošnje goriva.

2. Materijal i metode – *Materials and methods*

Istraživanje je provedeno na radilištu u odjelu 5a u gospodarskoj jedinici »Jadovno – Jazbine«, Šumarija Gospić, Uprava šuma podružnica Gospić Hrvatskih šuma d.o.o. Odjel 5a površine 30,50 ha prekriva jednodobna bukova šuma, koja je u dobi od 55 godina. Prema planu gospodarenja šumama provedena je proreda te posječeno ukupno 1548 m³ drva. Prosječni promjer stabala na prsnoj visini bio je 24,8 cm, s prosječnim obujmom od 0,53 m³ po stablu.

Potrošnja goriva istraživana je na skideru Ecotrac 140V tijekom privlačenja drva. Skider Ecotrac 140V pokreće vodom hlađeni dizelski motor Cummins (QSB5.5, 104 kW/140 KS) i opremljen je hidraulički pogonjenim vitlom s dva bubnja i nominalnom vučnom silom od 100 kN. Težina praznoga skidera iznosi 8060 kg.

Radilište je organizirano tako da se prazni skider kretao uzbrdo, a opterećeni skider nizbrdo. Skider je tijekom istraživanja privlačio drva po trima traktorskim putovima duljine 900 m, 440 m i 300 m, s konstantnim uzdužnim nagibom od 8 %. Nagib vlaka izmjeren je uređajem Stonex S900A GNSS, opremljenim GNSS pločom visokih performansi s 800 kanala. Istraživanje je provedeno tijekom proljeća, na dane bez oborine u kišnom razdoblju, u planinskoj regiji. Površina šumske ceste bila je vrlo mokra i blatna, s kolotrazima dubine do 20 cm duž cijele rute. Obujam tovara skidera po radnom turnusu redovito je mjeren nakon istovara na pomoćnom stovarištu uz šumsku cestu.

Radi prikupljanja telemetrijskih podataka na skideru je ugrađen sustav za upravljanje i praćenje rada vozila tzv. Fleet Management System (FMS) tvrtke Mobilisis. Osnovna je komponenta mobilna jedinica koja se ugrađuje u vozilo i u svakom trenutku omogućuje praćenje položaja preko GPS-a. Mobilna

Tablica 1. Tehničke značajke skidera Ecotrac 140 V

Table 1 Technical characteristics of skidder Ecotrac 140 V

Motor – Engine	Cummins Inc, QSB4.5, Diesel,
Snaga, kW/KS Power, kW/HP	104/140
Zakretni moment, Nm Torque, Nm	624
Masa, kg Mass, kg	8060
Gume Tyres	16.9-R30
Vitlo Winch	2-bubanjnsko, hidraulički pogonjeno, nazivna vučna sila 2 × 100 kN 2-drums, hydraulically driven, nominal pulling force 2 × 100 kN



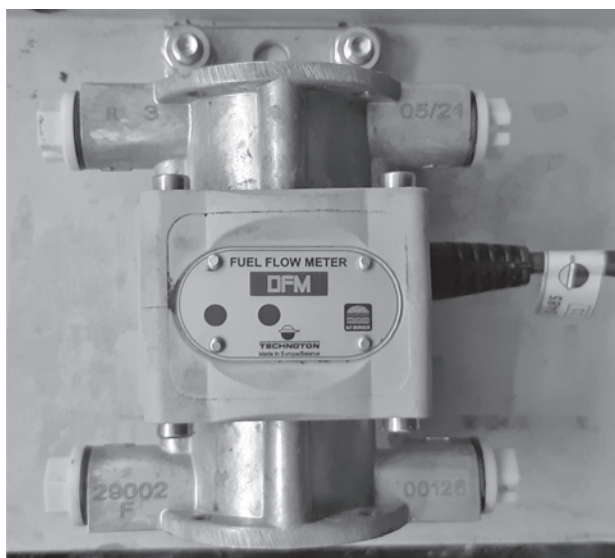
je jedinica preko veze CANBUS spojena na senzore vozila i motora čime je omogućeno prikupljanje i pohranjivanje mjernih podataka. Sastavni dio FMS-a je GPS-ov uređaj koji bilježi poziciju vozila, dok GPS/GSM antena omogućuje prijenos podataka i prijam satelitskoga signala za rad GPS-a.

Za precizno mjerenje potrošnje goriva na skider je instaliran te spojen na mobilnu jedinicu diferencijalni mjerač potrošnje goriva DFM 100CD, koji omogućuje mjerenje trenutne i ukupne potrošnje goriva s točnošću od $\pm 3\%$ i preciznošću od 0,001 L.

Cilj ugradnje FMS-a bio je dobiti podatke o potrošnji goriva pogonskoga motora skidera pri različitim radnim operacijama (vožnja prazan – pun, rad s vitlom) i pri različitim režimima rada motora. Pomoću bilježenja položaja skidera uz pomoć GPS-ova modula određena je putanja kretanja skidera, odnosno njegovo kretanje uzbrdo ili nizbrdo, te miruje li vozilo uz istodobni rad s vitlom. Bubnjevi vitla skidera također su povezani s mobilnom jedinicom kako bi se dobili mjerni podaci o potrošnji goriva pri radu s vitlom.

Pomoću FMS-a prikupljeni su ovi mjerni podaci: potrošnja goriva (mL), GPS-ova pozicija skidera (širina i duljina), trajanje upotrebe vitla, brzina motora (okr./min), moment motora kao postotak maksimalnoga, položaj gasa (%) i temperatura motora.

Tijekom istraživanja svi su mjerni podaci slani putem GSM-ove mobilne mreže do središnjega servera tvrtke Mobilisis. U nedostatku GSM-ova signala, čestom problemu u šumskim uvjetima, mobilna jedinica pohranjuje podatke u svoju internu memoriju, a potom ih retroaktivno šalje na server kad vozilo dođe u područje s prijmom signala.



Slika 1. Diferencijalni mjerač potrošnje goriva – DFM 100CD

Fig. 1 Differential fuel consumption meter – DFM 100CD

Pristup podacima omogućen je preko namjenske mrežne platforme za praćenje rada skidera u stvarnom vremenu. Sustav pruža fleksibilnost za pregled podataka uživo ili za generiranje detaljnih izvještaja u obliku tablica u programu Excel. Tablice se mogu dalje obrađivati i analizirati, što olakšava praćenje mjernih pokazatelja.

Radni turnus skidera bio je razložen na ove radne sastavnice: kretanje praznoga skidera po traktorskom putu od pomoćnoga stovarišta do mjesta u sječini, rad u sječini (izvlačenje užeta i privitlavanje tovara), kretanje opterećenoga skidera natrag do pomoćnoga stovarišta i rad na pomoćnom stovarištu (istovar).

Iz prikupljenih podataka svaki radni ciklus bio je segmentiran kako bi se identificirali početak i kraj svake radne sastavnice turnusa te specifično trajanje pojedinih radnih elemenata. Podaci o potrošnji goriva, koji su mjereni u mililitrima diferencijalnim mjeračem protoka, dodijeljeni su odgovarajućim radnim elementima i radnim sastavnicama turnusa na temelju zabilježena vremena, omogućujući podrobniju raščlambu potrošnje goriva skidera.

3. Rezultati s diskusijom – Results and discussion

Istraživanje je provedeno tijekom osam radnih dana u 56 radnih turnusa skidera, tijekom kojih je privučeno ukupno 126,90 m³ drvnih sortimenata. Tablica 2 prikazuje osnovne značajke privučenih tovara i dimenzije drvnih sortimenata u tovarima. Podaci otkrivaju male dimenzije drvnih sortimenata, što je ključan čimbenik koji utječe na potrošnju goriva po obujmu privučenoga drva. Broj komada u tovaru kretao se između 8 i 15 komada drvnih sortimenata.

Tablica 2. Značajke privučenih tovara

Table 2 Load volumes characteristics

	Minimum	Prosjek Average	Maksimum
Obujam tovara, m ³ Load volume, m ³	0,82	2,27	3,91
Broj komada drva u tovaru Number of pieces in load	8	10,3	15
Duljina drvnih sortimenata, m Length of timber assortments, m	2	6,4	10
Srednji promjer drvnih sortimenata, cm – Diameter of timber assortments, cm	10	20,4	52
Obujam komada drva, m ³ Timber piece volume, m ³	0,02	0,44	1,06

Tablica 3 prikazuje obujam tovara koji je dva do tri puta manji od nominalnih kapaciteta promatranoga skidera. Prosječni obujam tovara po radnom turnusu iznosio je 2,27 m³, odnosno kretao se u rasponu između 0,82 m³ i 3,91 m³. Prosječni dnevni učinak skidera iznosio je 17,76 m³/dan.

Prosječna potrošnja goriva za svaku radnu operaciju bila je ova: vožnja praznoga skidera iznosila je 1,65 litara, rad u sječini (privitlavanje drva) 1,12 litara, vožnja opterećenoga skidera 0,761 litara, a rad na pomoćnom stovarištu 0,80 litara.

Tablica 3. Obujam tovara po turnusu

Table 3 Load volume per cycle

Turnus Cycle	Obujam tovara, m ³ – Load volume, m ³								Ukupno Total
	Dan 1 Day 1	Dan 2 Day 2	Dan 3 Day 3	Dan 4 Day 4	Dan 5 Day 5	Dan 6 Day 6	Dan 7 Day 7	Dan 8 Day 8	
1	2,19	2,47	1,76	2,42	0,82	3,04	1,82	2,43	16,94
2	2,22	1,83	1,70	2,58	1,73	3,03	3,91	2,87	19,88
3	3,06	2,04	0,89	2,15	2,13	1,10	2,28	2,52	16,18
4	2,67	2,12	1,47	3,11	1,41	2,75	2,46	2,42	18,41
5	1,83	1,17	2,04	2,80	2,66	2,15	1,98	1,50	16,12
6	1,63	1,86	1,54	3,16	2,76	3,61	2,57	1,93	19,06
7	3,09	2,35	2,77	2,52	2,89				13,62
8	2,42	1,99	2,29						6,70
Ukupno Total	19,10	15,82	14,47	18,73	14,40	15,69	15,02	13,67	126,90
Prosjeak Average	2,39	1,98	1,74	2,68	2,06	2,62	2,50	2,28	17,76

Tijekom istraživanja potrošeno je ukupno 242,28 L dizelskoga goriva. Prosječna potrošnja goriva po turnusu iznosila je 4,33 L, s najnižom vrijednošću od 2,82 L po turnusu i najvišom od 7,80 L po turnusu (tablica 4).

Najveća potrošnja goriva dogodila se u vožnji praznoga skidera, čineći 38 % ukupne potrošnje. To je u prvom redu zbog utjecaja više čimbenika poput udaljenosti izvlačenja, nagiba i uvjeta vlaka na potrošnju goriva pri kretanju skidera, posebno jer je

Tablica 4. Potrošnja goriva po turnusu

Table 4 Fuel consumption per cycle

Turnus Cycle	Potrošnja goriva po turnusu, L – Fuel consumption per cycle, L								Ukupno Average
	Dan 1 Day 1	Dan 2 Day 2	Dan 3 Day 3	Dan 4 Day 4	Dan 5 Day 5	Dan 6 Day 6	Dan 7 Day 7	Dan 8 Day 8	
1	3,93	3,16	3,38	3,94	4,72	4,37	5,94	4,96	4,30
2	2,83	3,65	3,08	3,09	3,68	4,54	5,85	4,97	3,96
3	2,99	4,11	3,41	4,41	6,68	4,87	5,85	5,48	4,72
4	3,68	3,59	3,47	3,50	4,79	7,80	6,32	5,30	4,81
5	3,98	3,61	3,26	3,76	5,05	7,19	5,11	4,89	4,60
6	2,82	3,35	3,09	3,73	6,44	5,77	4,19	5,68	4,38
7	3,04	3,76	3,50	3,50	5,00				3,76
8	3,72	2,83	3,19						3,25
Prosjeak Average	3,37	3,51	3,30	3,70	5,19	5,76	5,55	5,21	4,33

Nadalje je provedena analiza potrošnje goriva skidera u ispitivanim uvjetima po radnim sastavnicama turnusa (tablici 5).

prazni skider išao uzbrdo. Privitlavanje drva bilo je druga radna operacija po intenzitetu potrošnje goriva – 26 % ukupnoga goriva. Vožnja opterećenoga

skidera trošila je 17 % ukupnoga goriva, što je manje od polovice potrošnje za vožnju praznoga skidera.

Ti rezultati pokazuju da nagib terena i udaljenost imaju veći utjecaj na potrošnju goriva od veličine tovara. Utvrđeno je da skider troši više goriva kad prazan vozi uzbrdo nego kad izvlači drva nizbrdo. Kad se izvlače mali i nedovoljni tovari u odnosu na veličinu skidera, gorivo se uglavnom troši za osiguravanje energije potrebne za kretanje skidera.

Rezultati su također u skladu sa smjernicama FP Innovations za smanjenje potrošnje goriva, koje preporučuju privlačenje nizbrdo radi poboljšanja učinkovitosti goriva.

Tablica 5. Potrošnja goriva po radnim sastavnicima turnusa

Table 5 Fuel consumption per work cycle element

Turnus Cycle	Potrošnja goriva po radnim sastavnicima turnusa, L – Fuel consumption per work cycle element, L								
	Dan 1 Day 1	Dan 2 Day 2	Dan 3 Day 3	Dan 4 Day 4	Dan 5 Day 5	Dan 6 Day 6	Dan 7 Day 7	Dan 8 Day 8	Ukupno Average
Prazna vožnja uzbrdo Empty travel uphill	1,39	1,24	1,17	1,10	1,70	2,12	2,74	2,25	1,65
Rad u sječini (privitavanje) Loading (winching)	1,01	1,16	0,90	1,20	1,24	1,31	0,97	1,29	1,12
Puna vožnja nizbrdo Loaded travel downhill	0,33	0,47	0,60	0,59	1,10	1,28	1,13	0,81	0,76
Rad na pomoćnom stovarištu Landing work	0,65	0,63	0,63	0,82	1,16	1,05	0,70	0,87	0,80

U prethodnim istraživanjima potrošnje goriva skidera u različitim terenskim uvjetima primijenjene su različite mjerne jedinice (Ghaffariyan i dr. 2015, Enache i dr. 2016, Proto i dr. 2017): litra po jedinici privučenoga drva (L/m^3), litra po produktivnim satima rada stroja (L/PMH) ili prema planiranim satima rada (L/SMH), litra po jedinici snage (L/kWh), litra po jedinici mase stroja (L/t). U ovom istraživanju potrošnja goriva po turnusu prikazana je u litrama po jedinici izvučenoga drva (L/m^3), što je uobičajeno u šumskoj praksi.

Tablica 6. Potrošnja goriva po obujmu privučenoga drva

Table 6 Fuel consumption per load timber volumes

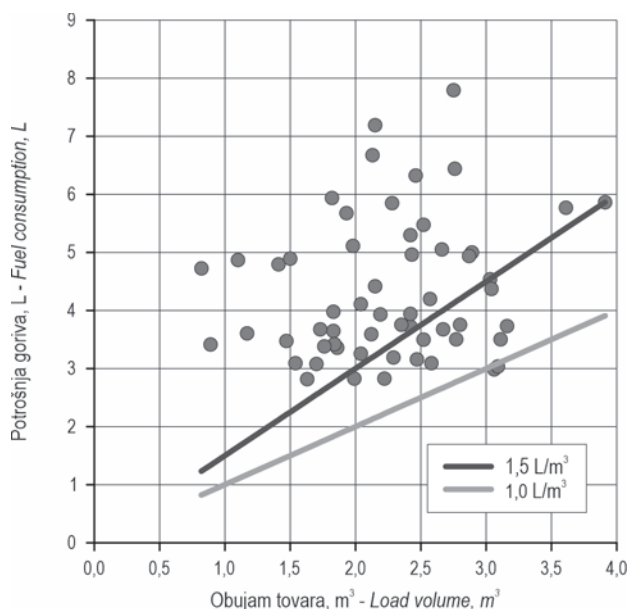
Turnus Cycle	Potrošnja goriva po obujmu privučenoga drva, L/m^3 – Fuel consumption per load timber volumes, L/m^3								
	Dan 1 Day 1	Dan 2 Day 2	Dan 3 Day 3	Dan 4 Day 4	Dan 5 Day 5	Dan 6 Day 6	Dan 7 Day 7	Dan 8 Day 8	Ukupno Average
1	1,79	1,28	1,92	1,63	5,76	1,44	3,26	2,04	2,39
2	1,27	1,99	1,81	1,20	2,12	1,50	1,50	1,73	1,64
3	0,98	2,01	3,84	2,05	3,13	4,43	2,57	2,17	2,65
4	1,38	1,69	2,36	1,13	3,40	2,83	2,57	2,19	2,19
5	2,17	3,08	1,60	1,34	1,90	3,34	2,58	3,26	2,41
6	1,73	1,80	2,01	1,18	2,33	1,60	1,63	2,94	1,90
7	0,98	1,60	1,26	1,39	1,73				1,39
8	1,54	1,42	1,39						1,45
Prosjeck Average	1,48	1,86	2,02	1,42	2,91	2,52	2,35	2,39	2,09

Potrošnja goriva (tablica 5) po privučenom obujmu tovara kreće se od $0,98 L/m^3$ do $5,76 L/m^3$. Prosječna potrošnja goriva (tablica 4) po privučenom obujmu tovara od $2,09 L/m^3$ znatno je veća od one zabilježene u prethodnim istraživanjima. Borz i dr. (2013) utvrdili su da se potrošnja goriva skidera tijekom privlačenja drva u jednodobnim šumama kreće od $0,62$ do $1,00 L/m^3$, dok su Korseak i dr. (2021) zabilježili veće vrijednosti u sličnim terenskim uvjetima (od $1,38$ do $1,65 L/m^3$). Janeček i Adamovský (2012) zaključili su da se potrošnja goriva skidera kreće od $0,52$ do $1,30 L/m^3$ na udaljenostima izvlačenja od 150 do $730 m$.

Slika 2 prikazuje potrošnju goriva kao funkciju obujma tovara, a rezultati pokazuju vrlo širok raspon podataka koji ne mogu korelirati zavisne i nezavisne varijable. Time se potvrđuje u ovom slučaju da potrošnja goriva ne ovisi o obujmu tovara.

Linije od $1 L/m^3$ i $1,5 L/m^3$ umetnute su u podatke na temelju citiranih izvora o potrošnji goriva skidera tijekom privlačenja drva u jednodobnim šumama. Podaci o potrošnji goriva po jedinici obujma drva za 19 turnusa od ukupno 56 turnusa kreću se u rasponu između $1 L/m^3$ i $1,5 L/m^3$, što se može smatrati

prihvatljivom potrošnjom u ispitivanim uvjetima. U većini turnusa (39 ciklusa ili 70 % turnusa) potrošnja je goriva po jedinici obujma drva previsoka i može se smatrati nezadovoljavajućom za analizu troškova rada skidera.



Slika 2. Potrošnja goriva nasuprot obujmu tovara

Fig. 2 Fuel consumption vs load volume

Na temelju rezultata istraživanja može se zaključiti da se zbog velikoga broja malih komada drva u tovaru troši više vremena (na vezivanje tovara i rad vitla) i goriva tijekom rada u sječini. Također, optimalni tovar za tu veličinu skidera nije bio osiguran. Skider Ecotrac 140 V nije najprikladnije rješenje za privlačenje drva u ispitivanim uvjetima te bi trebalo razmotriti mogućnost korištenja lakšega i manjega skidera, što bi zasigurno smanjilo potrošnju goriva po jedinici obujma drva.

S druge strane, može se ustanoviti organizacijski problem pri izvođenju radova privlačenja drva u gorskom području. Plan gospodarenja šumama osnovni je okvir za reguliranje gospodarenja šumama i šumskim zemljištem na temelju načela održive proizvodnje, prirodne obnove i trajnosti prihoda uz očuvanje i poboljšanje raznolikosti i drugih općekorisnih funkcija šuma (Zakon o šumama 2018). Šume na teritoriju jednoga gospodarskoga područja upravljaju se prema odredbama Plana gospodarenja šumama, koji se izrađuje za razdoblje od deset godina. Pri tome se za svako gospodarsko područje propisuje ukupna količina sječe po vrstama drveća i gospodarskim razredima. Na području istraživanja

pretežno su prisutne preborne bukovo-jelove šume, a šumarska struka uglavnom nabavlja i koristi skidere težine preko osam tona zbog teških terenskih uvjeta. Jednodobne se šume rijetko nalaze u nižim predjelima, a pri provedbi propisa Plana gospodarenja šumama, posebno pri provođenju proreda, šumarska praksa nema zadovoljavajuću šumsku mehanizaciju. Treba također istaknuti važnost privatnih izvođača šumskih radova koji bi mogli nadomjestiti navedene organizacijske probleme, ali, nažalost, privatni je šumarski sektor za pridobivanje drva u spomenutom području nedostatan i slabo razvijen.

4. Zaključak – Conclusion

Ova studija slučaja dio je kompleksnoga istraživanja potrošnje energije skidera u različitim radnim i terenskim uvjetima, koje je provedeno tijekom 272 radna dana skidera. Studija slučaja odabrana je jer rezultati istraživanja jasno pokazuju određene prednosti i nedostatke rada skidera tijekom privlačenja drva.

Treba istaknuti jedinstvenost i originalnost detaljne analize potrošnje goriva skidera po radnim sastavnicama turnusa skidera, prema kojoj se mogu dati smjernice za bolju i učinkovitiju organizaciju rada i smanjenje troškova goriva. Analizom potrošnje goriva po radnim sastavnicama turnusa skidera mogu se dati smjernice za optimalnu organizaciju rada radi smanjenja troškova rada. Može se zaključiti da je energetski i isplativije organizirati rad skidera s privlačenjem tovara nizbrdo.

U organizaciji rada skidera velik utjecaj imaju terenske prilike, ponajprije metoda izradbe drva i vrsta sječe. Ispitivani skider nije optimalno rješenje za privlačenje drva iz prorede. U ispitivanim uvjetima pri izboru načina rada sustava za pridobivanje drva energetski i troškovno povoljnije bi bilo korištenje drugoga šumskoga vozila – skidera manje mase i dimenzija i/ili manjega forvardera.

Evidentan je problem nedostatka različitih vrsta šumarskih strojeva na određenom području te je utvrđena važnost privatnih poduzetnika za izvođenje pridobivanja drva.

5. Literatura –References

Ackerman, P., C. Williams, S. Ackerman, C. Diesel, 2017: Consumption and carbon balance in South African pine clear-felling CTL operations: a preliminary case study. *Croatian Journal of Fores Engineering*, 38(1): 65–72.

Baker, S. A., 2013: Logging cost components of US timber producing regions and their use in a regional logging cost

- index. In: Proceedings of the 36th Council on Forest Engineering, July 7-10, 2013, Missoula, Montana.
- Borz, S. A., G. Ignea, I. Oprea, V. Ciobanu, F. Dinulica, 2013: A comparison in terms of carbon emissions, cost and productivity of the most used technologies in the young thinned stands – the case of Romania. *Romanian Journal of Economics, Institute of National Economy*, 37(2/46/): 67–79.
- Cosola, G., S. Grigolato, P. Ackerman, S. Monterotti, R. Cavalli, 2016: Carbon footprint of forest operations under different management regimes. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 37(1): 201–217.
- Enache, A., M. Kuehmaier, R. Visser, K. Stampfer, 2016: Forestry operations in the European mountains: a study of current practices and efficiency gaps. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 31(4): 412–427. <https://doi.org/10.1080/02827581.2015.1130849>
- Ghaffariyan, M. R., 2020: General productivity predicting model for skidder working in eucalypt plantations. *European Journal of Forest Engineering*, 6(1): 1–6. <https://doi.org/10.33904/ejfe.618344>
- Ghaffariyan, M. R., R. Apolit, M. Kuehmaier, 2015: Analysis and control of fuel consumption rates of harvesting systems: A review of international studies. *AFORA Industry Bulletin*, 15: 1–4.
- Ghaffariyan, M. R., R. Apolit, M. Kuehmaier, 2018: A short review of fuel consumption rates of whole tree and cut-to-length timber harvesting methods. *Current Investigations in Agriculture and Current Research*, 5(2): 603–606. <https://doi.org/10.32474/CIACR.2018.05.000209>
- Grisso, R., 2020: Predicting tractor diesel fuel consumption. VCE publication 442-073. Virginia Tech, Virginia State University, 1–11.
- Halilović, V., J. Musić, M. Bajrić, Dž. Sokolović, J. Knežević, A. Kupusović, 2019: Analiza potrošnje goriva pri sječi i izradi stabala hrasta kitnjaka na području p.j. šumarija »Zavidovići«, *Šumarski list*, 143(7–8): 337–346. <https://doi.org/10.31298/sl.143.7-8.5>
- Janeček, A., R. Adamovsky, 2012: Optimisation of a clam bunk skidder from the emission production point of view. *Research in Agricultural Engineering*, 58(4): 136–141. <https://doi.org/10.17221/63/2011-RAE>
- Kenney, J., T. Gallagher, M. Smidt, D. Mitchell, T. McDonald, 2014: Factors that affect fuel consumption in logging systems. In: Proceedings of the 37th Council on Forest Engineering. June 22-25, 2014, Moline, Illinois, 1–6.
- Kopseak, H., M. Šušnjar, M. Bačić, M. Šporčić, Z. Pandur, 2021: Skidders fuel consumption in two different working regions and types of forest management. *Forests* 2021, 12(5), 547. <https://doi.org/10.3390/f12050547>
- Lundbäck, M., C. Häggström, T. Nordfjell, 2018: Worldwide trends in the methods and systems for harvesting, extraction and transportation of roundwood. In: Proceedings of the 6th International Forest Engineering Conference, Rotorua, New Zealand, 16–19 April 2018.
- Marchi, E., E. Marchi, W. Chung, R. Visser, D. Abbas, T. Nordfjell, P. S. Mederski, A. McEwan, M. Brink, A. Laschi, 2018: Sustainable Forest Operations (SFO): A new paradigm in a changing world and climate. *Science of the Total Environment*, 634: 1385–1397. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.084>
- Oyier, P., R. Visser, 2016. Fuel consumption of timber harvesting systems in New Zealand. *European Journal of Forest Engineering*, 2(2): 67–73.
- Proto A. R., J. Bacenetti, G. Macri, M. Fiala, G. Zimbalatti, 2017: Mechanisation of different logging operations: environmental impact assessment using life cycle assessment (lca) approach. *Chemical Engineering Transactions*, 58: 229–234. <https://doi.org/10.3303/CET1758039>
- Šporčić, M., M. Šušnjar, Z. Pandur, M. Bačić, D. Mijoč, M. Landekić, 2021: Analysis of the offering and resale prices on the second-hand skidders market. *Forests* 2021, 12(6), 729. <https://doi.org/10.3390/f12060729>
- Temba, G. P., E. W. Mauya, D. T. K. Shemwetta, 2021: Modeling productivity and costs of mechanized tree length skidding operations. *Tanzania Journal of Forestry and Nature Conservation*, 90(3): Special Issue: Embracing Science and Technology in Nature Conservation, 62–73.
- Zakon o šumama, 2018. Službeno glasilo Republike Hrvatske. *Narodne novine*, 68/2018.

Abstract

Skidder Fuel Consumption in Timber Extraction from Thinning of Even-Aged Beech Forest on Mountainous Terrain – Case Study

The paper deals with the analysis of the fuel consumption of skidder in timber extraction from thinning of even-aged beech forest on mountainous terrain. Research was performed on the skidder Ecotrac 140V at the same worksite for 8 working days. The skidder was equipped with a measuring device WIGO-E (Telematic Data collector) gateway with an integrated GPS system, which ensured data were collected from sensors and motor and stored in a computer via CANBUS and transferred with GSM to Web platforms. In order to precisely measure fuel consumption, a differential fuel consumption meter DFM 100CD was installed on the skidder, which has the ability to measure current fuel consumption and total fuel consumption. The measurement range covers the minimum flow rate of 10 L/h, and the maximum flow rate of 100 L/h with an accuracy of $\pm 3\%$. Data on fuel consumption (mL), position (traveling route) and detection of winch work were measured with a sampling frequency of 5 s. Furthermore, skidder load volumes per cycle and slope of skid roads were constantly measured.

Fuel consumption (L, L/m³) was determined per work cycle and work cycle elements. Guidelines for better and more efficient organization of work and reduction of fuel costs are presented and the suitability of the skidder and harvesting system are considered based on the results of fuel consumption.

Keywords: skidder, fuel consumption, working cycles, load volumes

Adrese autorâ – Authors' addresses:

Prof. dr. sc. Marijan Šušnjar*
e-pošta: msusnjar@sumfak.unizg.hr
Izv. prof. dr. sc. Zdravko Pandur
e-pošta: zpandur@sumfak.unizg.hr
Dr. sc. Marin Bačić
e-pošta: mbacic1@sumfak.unizg.hr
Sveučilište u Zagrebu
Fakultet šumarstva i drvne tehnologije
Svetošimunska cesta 23
10000 Zagreb
HRVATSKA
Hrvoje Kopseak, mag. ing. silv.
e-pošta: hkopseak@gmail.com
77. Sam. Bat. ZNG. 17.
43290 Grubišno Polje
HRVATSKA

Primljeno (Received): 11. 7. 2024.

Prihvaćeno (Accepted): 13. 9. 2024.

Izvorni znanstveni rad – Original scientific paper

*Glavni autor - Corresponding author