

Comparison between two methods for measuring the fuel consumption of a skidder

Usporedba dvije metode mjerenja potrošnje goriva skidera

Marijan Šušnjar^{1,*}, Zdravko Pandur¹, Marin Bačić¹, Domagoj Ulovac¹, Hrvoje Kopseak²

¹ Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu

² Hrvatske šume, d.o.o. Zagreb, Uprava šuma podružnica Bjelovar, Šumarija Grubišno Polje

ABSTRACT

The study shows a comparison of fuel consumption measurements with two different methods in real working conditions of timber extraction with an Ecotrac 140 V skidder. The two methods relate to measuring fuel consumption via a sensor on the fuel supply pump as part of a Fleet Management system, and measurements using a built-in differential fuel flowmeter DFM 100CD. The study established differences in measured fuel quantities over 12 days measured when pulling wood from a final cut of a beech stand, and 12 days measured when pulling wood from a thinning beech stand. At both worksites, a half-stem method was used, with the downhill extraction. The load volumes per cycle were measured at landing. The results indicate that the difference between the readings of the fuel consumption of the flowmeter and the sensor on the fuel pump is significant as the daily outputs increase. That is because the sensor on the fuel pump does not register the return of fuel to the tank, but only reads the current fuel flow. The flowmeter takes into account the return of fuel back to the tank.

Key words: skidder, fuel consumption, flowmeter, fuel pump, sensors

Introduction – Uvod

Privlačenje drva energetski je najskuplja faza pridobivanja drva, a gorivo predstavlja glavni udio utroška energije pri privlačenju drva. Mogućnost predviđanja potrošnje goriva u sustavima pridobivanja drva ključna je za planiranje budžeta i upravljanje radnim procesima (Oyier i Visser 2016). S očekivanim rastom primjene mehaniziranih sredstava u sustavima pridobivanja drva, ukupna potrošnja goriva također će rasti pri izvođenju šumskih radova. Pri tome su cijene goriva stalno promjenjive, ovisne o tržišnim utjecajima što predstavlja problem pri određivanju troškova rada (Obi i Visser 2011).

Potrošnja goriva može varirati ovisno o uvjetima tla i rada, vještinama vozača, opterećenju motora u različitim uvjetima rada, brzini motora, vrsti i tehničkim karakteristikama vozila (Pandur i dr. 2019). Određivanje utjecaja određenih čimbenika teško je zbog interakcije pojedinačnih čimbenika (Vusić i dr. 2013, Maesano i dr. 2013). Vozač utječe na potrošnju goriva načinom vožnje, vještinama obuke i održavanjem vozila (Nordfjell i dr. 2003, Manner i dr. 2016).

* Corresponding author: Marijan Šušnjar, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, msusnjar@sumfak.unizg.hr

Racionalna organizacija pridobivanja drva sastoji se od niza čimbenika koji mogu utjecati na smanjenje potrošnje goriva, a time i na ostale troškove sječe drva. Prema Pandur i dr. (2019) glavni čimbenici koji utječu na smanjenje potrošnje goriva su:

- odabir vozila, koji se temelji na njegovim tehničkim karakteristikama i uvjetima rada u sastojini;
- redovito održavanje vozila;
- primjena odgovarajuće tehnologije uz dobru organizaciju rada;
- motivacija vozača i njegova/njezina stručna osposobljenost.

Potrošnja goriva strojeva često se izražava kao potrošnja energije po jedinici posječenog drva (MJ/m^3), potrošnja goriva po jedinici posječenog drva (L/m^3) ili po jedinici vremena (L/h) te potrošnja goriva po masi posječenog drva zajedno s udaljenošću posječenog drva (L/tkm).

Najjednostavniji način mjerenja potrošnje goriva strojeva i vozila je volumetrijska metoda ponovnog punjenja spremnika gorivom na kraju radnih operacija ili na kraju radnog dana. Punjenje spremnika provodi se pomoću mjernog uređaja ili pomoću mjernog pištolja za točna mjerenja.

Nordfjell i dr. (2003) naveli su da se potrošnja goriva tradicionalno mjeri mjeračima protoka, dok nove tehnologije, posebno one temeljene na CAN (Controller Area Network) tehnici, omogućuju jeftinija i lakša mjerenja.

Manner i dr. (2016) istražili su podatke prikupljene i prikazane konvencionalnim ugrađenim računalima (TimberLink®) forwardera John Deere™. Standardni TimberLink podaci pokazali su se točnim, a prikupljanje podataka o potrošnji goriva visoke rezolucije na godišnjoj razini bilo je moguće.

Lijewski i dr. (2017) odredili su potrošnju goriva metodom balance ugljika prema postupku koji je usvojila EPA, prema kojoj je potrošnja goriva izračunata na temelju emisije CO_2 .

U svrhu što bolje organizacije rada šumskih strojeva u novije se vrijeme vozila opremaju sustavom koji omogućava daljinsko praćenje njihovog rada – FMS-om (engl. Fleet Management System - u daljnjem tekstu FMS). FMS omogućuje uvid u kretanje i precizno određivanje položaja vozila preko prijavnika GPS koji je sastavni dio sustava. Također, FMS daje mogućnost nadogradnje različitim senzorima, kao što su mjerenje broja okretaja motora, potrošnje goriva, brzine kretanja, detekcije rada oruđa (dizalica, vitlo), prijeđenog puta i dr. Fleet Management System omogućuje prikupljanje nekih po-

data bez da se remeti normalan rad vozila, odnosno omogućuje provedbu istraživanja u gotovo nekontroliranim uvjetima (Pandur i dr., 2009).

Pandur i dr. (2009) su mjerili potrošnju goriva forwardera pomoću diferencijalnog mjerača protoka goriva i sonde za mjerenje goriva, dok se FMS koristio za prijenos izmjerenih podataka. Ustanovili su da sonda za mjerenje potrošnje goriva nije prikladna za znanstvena istraživanja zbog velikog utjecaja vanjskih čimbenika na razinu goriva u spremniku.

Šušnjar i dr. (2024) su mjerili potrošnju goriva skidera pomoću diferencijalnog mjerača protoka goriva uz prijenos mjernih podataka FMS-om. Pri tome su preko CANBUS veze, također, prikupljali podatke sa svih senzora vozila. Velika preciznost izmjere diferencijalnog mjerača protoka goriva omogućila je određivanje potrošnje goriva skidera po radnim sastavnicama turnusa.

Međutim, razjašnjavanje glavnih i interaktivnih učinaka varijabli i ponašanja operatera na potrošnju goriva i vremena je izazovno i zahtijeva detaljnije informacije o opterećenjima (npr. volumenima i broju sortimenata), kao i uvjetima sastojina (npr. bruto gustoća sječe i uvjeti terena).

Glavni cilj istraživanja je usporediti rezultate mjerenja potrošnje goriva dvjema različitim metodama u stvarnim radnim uvjetima privlačenja drva skiderom. Na osnovu razlika između mjerenja potrošnje goriva preko senzora na pumpi dovoda goriva i mjerenja pomoću diferencijalnog protočnika goriva ustanoviti pravovaljanost dobivenih rezultata.

Analizom rezultata potrošnje goriva iskazat će se smjernice za optimalnu organizaciju rada s ciljem smanjenja troškova rada te preporuke za pravovaljano praćenje potrošnje goriva skidera.

MATERIALS AND METHODS – Materijali i metode

Istraživanje potrošnje goriva provedeno je na skideru Ecotrac 140V tijekom rada privlačenja drva. Skider Ecotrac 140V, ukupne mase od 8060 kg, opremljen je dvobubanjskim šumskim vitlom hidrauličkog pogona i nominalnom vučnom silom od 100 kN.

Istraživanje potrošnje goriva provedeno je na dva skidera koji su radili na različitim radilištima. Na prvom radilištu mjerenje dnevne potrošnje goriva skidera izvršeno je pri privlačenju drva iz dovršnog sijeka jednodobne bukove sastojine. Na drugom radilištu isti je postupak

mjerenja ponovljen pri radu skidera na privlačenju drva iz prorede jednodobne bukove sastojine.

Istraživanje na dva različita radilišta ukazat će na razlike u potrošnji goriva s obzirom na terenske, sastojinske i organizacijske uvjete rada.

Na oba radilišta korištena je poludeblovna metode izrade. Obujmi tovara skidera po radnom turnusu redovito su mjereni nakon istovara na pomoćnom stovarištu uz šumsku cestu.

RESEARCH SITES – Mjesta istraživanja

Prvo radilište nalazilo se u odjelu 10a u gospodarskoj jedinici “Dišnica – Zobikovac – Petkovača”, šumarije Garešnica, Uprave šuma Podružnica Bjelovar “Hrvatskih šuma” d.o.o. Zagreb. Odjel 10a, površine 11,94 ha, prekriva jednodobna bukova šuma starosti 100 godina. Prema planu gospodarenja šumama, proveden je dovršni sijek te je posječeno ukupno 2.892,32 m³ drva, odnosno 242,21 m³/ha. Prosječni promjer stabala na prsnoj visini bio je 45,2 cm, s prosječnim obujmom od 3,35 m³ po stablu.

Tijekom istraživanja skider je privlačio toware drva niz nagib, odnosno prazni skider se kretao od pomoćnog stovarišta traktorskim putem uz nagib. Uzdužni nagibi traktorskih puteva kretali su se od 5% do 8%. Udaljenosti privlačenja kretale su se od 80 m do 280 m, sa srednjom vrijednosti od 150 m tijekom istraživanja. Površina traktorskih puteva bila je suha i vrlo dobre nosivosti.

Svakog dana, nakon završenog radnog vremena, skider se premještao sa radilišta u “sigurno”, šticeo dvorište udaljeno 1,6 km. Na početku radnog dana, prije polaska na radilište, na istoj udaljenosti od 1,6 km, vozač je unutar pripremnog vremena provjeravao upaljeno vozilo prije vožnje do radilišta.

Drugo radilište nalazilo se u odjelu 5a u gospodarskoj jedinici “Jadovno – Jazbine”, šumarije Gospić, Uprave šuma Podružnica Gospić “Hrvatskih šuma” d.o.o. Zagreb. Odjel 5a, površine 30,50 ha, prekriva jednodobna bukova šuma starosti 55 godina. Prema planu gospodarenja šumama, provedena je proreda te posječeno ukupno 1.548 m³ drva. Prosječni promjer stabala na prsnoj visini bio je 24,8 cm, s prosječnim obujmom od 0,53 m³ po stablu.

Također se, kao i na prvom radilištu, prazni skider kretao uzbrdo, a opterećeni skider nizbrdo. Ukupno su se

za privlačenje drva tijekom perioda istraživanja koristila tri traktorska puta, jedan duljine 900 m te ostala dva duljine 440 m i 300 m. Traktorski putevi imali su ujednačen uzdužni nagib od 8%. Istraživanje je provedeno tijekom proljeća, na dane bez oborina. Traktorski putevi su bili vrlo mokri i blatni, s kolotrazima dubine do 20 cm duž cijelih ruta uslijed učestalih oborina.

DATA COLLECTION AND ANALYSIS – Prikupljanje i obrada podataka

U svrhu prikupljanja daljinskih podataka na skidere su ugrađeni sustavi za upravljanje i praćenje rada vozila tzv. Fleet Management System (FMS) tvrtke Mobilisis. Svrha ugradnje FMS-a bila je dobiti podatke o potrošnji goriva pogonskog motora.

Osnovna komponenta FMS-a je mobilna jedinica WIGO-E, koja se ugrađuje u vozilo i u svakom trenutku omogućuje praćenje položaja preko GPS uređaja (slika 1). WIGO-E (Telematic Data collector) gateway uređaj služi za prikupljanje i spremanje podataka sa senzora koristeći različite komunikacijske protokole (www.mobilisis.hr).

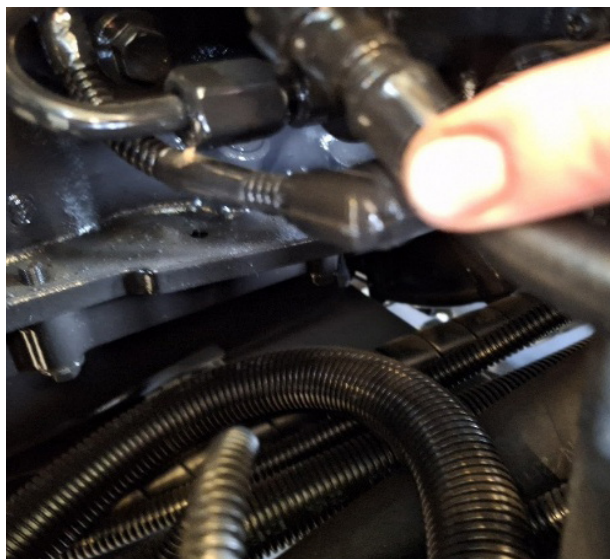
Mobilna jedinica je povezana sa senzorima vozila preko CANBUS veze, a na taj način omogućeno je pohranjivanje i prikupljanje mjernih podataka. Prijenos podataka i prijem satelitskog signala se odvija preko GSM antene. Kao česti problem u šumskim uvjetima je pojava nedostatka signala, no mobilna jedinica ima mogućnost pohrane podataka u vlastitu internu memoriju, a potom retroaktivno slanje podataka na server kada vozilo dođe u područje pokriveno signalom (Šušnjar i dr., 2024).



Slika 1. Mobilna jedinica WIGO-E

Figure 1. Mobile unit WIGO-E

Preko ugrađenog FMS-a prikupljali su se podaci o potrošnji goriva sa senzora koji je bio ugrađen na pumpi za gorivo (slika 2).



Slika 2. Senzor potrošnje goriva na pumpi za gorivo

Figure 2. Fuel consumption sensor on fuel pump

Uzimajući u obzir mogućnost pogreške pri mjerenju količine potrošenog goriva preko senzora na pumpi goriva, na skidere je bilo potrebno ugraditi diferencijalni mjerač potrošnje goriva – DFM 100CD.

Diferencijalni mjerač potrošnje goriva – DFM 100CD (slika 3) dizajniran je za precizno mjerenje potrošnje goriva u vozilima i stacionarnim strojevima, posebno onima s povratnim vodovima goriva (Šušnjar i dr., 2023). Mjerni uređaj ima mogućnost mjerenja protoka goriva s preciznošću od 0,001 L. Dobavni vod goriva prema pogonskom motoru prolazi kroz mjerač, a isto tako količina goriva koja se ne utroši u motoru vraća se nazad u spremnik goriva, prolazi kroz mjerač te se vrši diferencijalna korekcija potrošnje goriva. Diferencijalni mjerač potrošnje goriva bio je, također, spojen na FMS, preko kojeg su prikupljeni mjerni podaci.



Slika 3. Diferencijalni mjerač protoka goriva – DFM 100CD

Figure 3. Differential fuel flowmeter DFM 100CD.

Ugradnju mjernih instrumenata obavili su tehničari iz tvrtke Mobilisis, koja ujedno razvija i proizvodi glavni dio komponenti sustava za daljinsko praćenje rada vozila FMS.

Podacima o radu skidera pristupa se preko portala Mobilisis, za što je potrebno imati korisničko ime i lozinku. Na portalu se može odabrati koji skider želimo pratiti, kojega dana odnosno u kojem periodu. Preko portala se generiraju potrebna izvješća sa svim podacima koji se na skideru prate (GPS koordinate, potrošnja goriva, aktivnost rada vitla, brzina vrtnje motora, položaj papučice gasa i ostalo). Izvješća se mogu generirati u obliku .xml ili .pdf datoteke. Podaci dobiveni u tabličnim izvješćima se obrađuju u daljnjim analizama. Iz navedenih izvješća za dane istraživanja su preuzeti podaci o potrošnji goriva s diferencijalnog mjerača protoka goriva i senzora potrošnje s pumpe goriva. Podaci su dalje obrađivani u računalnom programu Microsoft Excel.

RESULTS AND DISCUSSION - *Rezultati s diskusijom*

Istraživanje je provedeno na dva različita lokaliteta, a mjerenje potrošnje goriva kontinuirano je praćeno na svakom radilištu 12 radnih dana. Kako bi zorno prikazali rezultate, važno je razumjeti da se radi o dvjema različitim konfiguracijama terena i vrstama sijeka, a time i o veličinama drvnih sortimenata koje su skideri privlačili.

Dok je na prvom radilištu mjerenje potrošnje goriva skidera izvršeno pri privlačenju drva iz prorede jednodobne bukove sastojine, na drugom radilištu skider je radio na privlačenju drva iz dovršnog sijeka jednodobne bukove sastojine. Tablice 1 i 2 prikazuju podatke o privučenim tovarima i dimenzijama drvnih sortimenata u tovarima.

Na radilištu "Dišnica – Zobikovac – Petkovača", pri privlačenju drva iz dovršnog sijeka, prosječne dimenzije drvnih sortimenta su bile duljine od 4,79 m i srednjeg promjera od 49,8 cm. Prosječni tovar je iznosio 5,45 m³ i sastojao se od prosječno 5,5 komada.

Tabela 1. Karakteristike tovara na radilištu "Dišnica – Zobikovac – Petkovača"

*Tabela 1. Load characteristics at worksite
"Dišnica – Zobikovac – Petkovača"*

	Min. Min.	Prosje Average	Maks. Max,
Obujam tovara – Load volume, m ³	2,89	5,45	7,75
Broj komada drva u tovaru – Number of pieces in the load	3	5,6	10
Duljina drvnih sortimenata – Timber assortment length, m	2	4,79	8
Srednji promjer drvnih sortimenata – Timber assortment mid-diameter, cm	32	49,8	79
Obujam komada drva – Timber assortment volume, m ³	0,28	0,97	3,43



Slika 4. Skider Ecotrac 140V na radilištu
"Dišnica – Zobikovac – Petkovača"

*Figure 4. Skider Ecotrac 140V at worksite
"Dišnica – Zobikovac – Petkovača"*

Na radilištu "Jadovno – Jazbine", pri privlačenju drva iz prorede, prikazani podaci ukazuju na male dimenzije drvnih sortimenata, što je ključan čimbenik koji utječe na potrošnju goriva po obujmu privučenog drva. Broj komada u tovaru kretao se između 8 i 15 komada drvnih sortimenata. Prosječni tovar iznosio je svega 2,27 m³.

Tabela 2. Karakteristike tovara na radilištu "Jadovno – Jazbine"

Tabela 2. Load characteristics at worksite "Jadovno – Jazbine"

	Min. Min.	Prosje Average	Maks. Max,
	Minimum	Prosje Average	Maksimum
Obujam tovara – Load volume, m ³	0,82	2,27	3,91
Broj komada drva u tovaru – Number of pieces in the load	8	10,3	15
Duljina drvnih sortimenata – Timber assortment length, m	2	6,4	10
Srednji promjer drvnih sortimenata – Timber assortment mid-diameter, cm	10	20,4	52
Obujam komada drva – Timber assortment volume, m ³	0,02	0,44	1,06



Slika 5. Skider Ecotrac 140V "Jadovno – Jazbine"

Figure 5. Skider Ecotrac 140V at worksite "Jadovno – Jazbine"

Veličine tovara i dimenzije drvnih sortimenta utjecat će na razlike u dnevnom učinku skidera između radilišta, kao i na potrošnju goriva, bilo u ukupnoj količini u litrama ili pri izražavanju potrošnje goriva po jedinici privučenog drva (L/m^3).

U sljedećoj tablici broj 3 prikazani su svi parametri istraživanja na radilištima "Dišnica – Zobikovac – Petkovača" i "Jadovno – Jazbine" po radnim danima: ukupni dnevni učinci skidera, utrošci goriva mjereni protočnikom, utrošci goriva mjereni preko senzora na pumpi goriva FMS-a, razlike u mjerenjima potrošnje goriva u apsolutnim i relativnim vrijednostima te je izražena potrošnja goriva po jedinici obujma drva u L/m^3 .

Na temelju prikazanih rezultata u tablici iščitavamo da se privučeni obujam drva u gospodarskoj jedinici "Dišnica – Zobikovac – Petkovača" kretao između $39,28 m^3$ i $49,82 m^3$, s prosjekom od $43,87 m^3$. Podaci u gospodarskoj jedinici "Jadovno – Jazbine" se kreću u nižim rasponima ($11,68 m^3$ - $17,03 m^3$). Razlog izrazito većih brojki dnevnog učinka privučenog drva leži u različitim sastojinskim prilikama, ali i u različitoj vrsti sijeka. Veće brojke govore da se radilo o dovršnom sijeku obične bukve, dok niže vrijednosti ukazuju na to da se u tom trenutku obavljala proreda obične bukve.

Potrošnja goriva prema protočniku na radilištu "Dišnica – Zobikovac – Petkovača" kretala se između $68,31$ – $77,36 L$, dok je senzor na pumpi goriva pokazivao izrazito veće vrijednosti ($92,00$ – $99,00 L$). Potrošnja goriva na radilištu "Jadovno – Jazbine" kretala se između $20,21$ – $40,38 L$ (mjereno protočnikom), dok je senzor na pumpi goriva pokazivao vrijednosti između 25 i $55 L$.

Prosječna razlika između metoda na radilištu "Dišnica – Zobikovac – Petkovača" iznosila je $32,5\%$, u korist veće vrijednosti kod senzora na pumpi goriva. Prosječna razlika između metoda na radilištu "Jadovno – Jazbine" iznosila je $35,3\%$.

Podaci ukazuju na to da je metoda mjerenja preko senzora na pumpi goriva dosljedno pokazivala veću potrošnju goriva na oba radilišta, što dovodi u pitanje točnost mjernih podataka. Radilište "Jadovno – Jazbine" ima niže vrijednosti privučenog obujma, ali veću potrošnju goriva, što može biti posljedica manje učinkovitosti zbog teških terenskih uvjeta u kombinaciji s udaljenosti privlačenja.

Uvidom u podatke o potrošnji goriva po jedinici obujma privučenog drva uočavaju se mnogo veće vrijednosti nego što se navode u prijašnjim istraživanjima. Borz i dr. (2013) utvrdili su da se potrošnja goriva skidera tijekom privlačenja drva u jednodobnim šumama kreće se od $0,62$ do $1,00 L/m^3$. Kopseak i dr. (2021) zabilježili su veće vrijednosti u sličnim terenskim uvjetima (od $1,38$ do $1,65 L/m^3$).

Na radilištu "Dišnica – Zobikovac – Petkovača" vrijednosti potrošnje goriva se kreću od $1,41 L/m^3$ do $1,83 L/m^3$. Glavni razlog povećane potrošnje goriva na ovom radilištu je premještanje skidera na početku i na kraju radnog dana na udaljenost od $3,2 km$, pri čemu je gorivo utrošeno na vožnju i premještanje ušlo u izračun potrošnje s obzirom na obujam privučenog drva.

Za određivanje pravilne vrijednosti potrošnje goriva po obujmu privučenog drva trebalo bi u izračunu oduzeti utrošak goriva pri premještanju skidera. Odvajanje količine utrošenog goriva za premještanje skidera moguće je precizno odrediti prema izmjenjenim vrijednostima potrošnje goriva na osnovu podataka o kretanju i brzini skidera te vremenima početka i završetka vožnje skidera, koji su također prikupljeni Fleet Management sustavom. Daljnim analizama mjernih podataka na navedenom radilištu odredit će se utrošak goriva po svim radnim sastavnicama skidera tijekom radnih dana, uključujući utrošak goriva skidera pri premještanju, u ovisnosti o udaljenosti i brzinama kretanja.

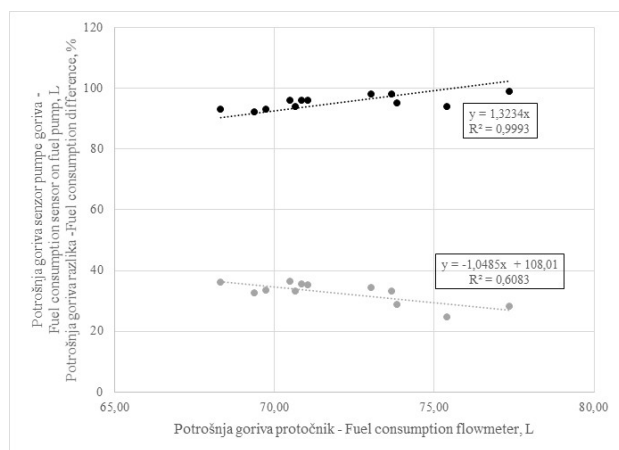
Tabela 3. Mjereni parametri na radilištima

Tabela 3. Measured parameters at worksites

Radilište Worksite	Dan Day	Dnevni učinak Daily output	Potrošnja goriva – Fuel consumption				
			Protočnik Flowmeter	Senzor na pumpi goriva Sensor on the fuel pump	Razlika Differences		Po jedinici obujma Per volume unit
		m ³	L			%	L/m ³
“Dišnica – Zobikovac – Petkovača“, odjel 10a dovršni sijek <i>final felling</i>	1	37,28	68,31	93,00	24,69	36,1	1,83
	2	40,82	69,39	92,00	22,61	32,6	1,70
	3	42,54	69,73	93,00	23,27	33,4	1,64
	4	49,82	70,48	96,00	25,52	36,2	1,41
	5	48,22	70,65	94,00	23,35	33,1	1,47
	6	42,44	70,86	96,00	25,14	35,5	1,67
	7	43,96	71,04	96,00	24,96	35,1	1,62
	8	49,62	73,04	98,00	24,96	34,2	1,47
	9	44,70	73,68	98,00	24,32	33,0	1,65
	10	42,33	73,84	95,00	21,16	28,7	1,74
	11	45,34	75,41	94,00	18,59	24,7	1,66
	12	43,68	77,36	99,00	21,65	28,0	1,77
	Prosječno					32,5	1,64
“Jadovno – Jazbine“ odjel 5a proreda <i>thinning</i>	1	14,00	20,21	25,00	4,79	23,7	1,44
	2	14,46	20,44	25,00	4,56	22,3	1,41
	3	15,80	21,07	28,00	6,93	32,9	1,33
	4	11,68	24,26	33,00	8,74	36,0	2,08
	5	14,47	29,29	39,00	9,71	33,2	2,02
	6	14,40	32,55	45,00	12,45	38,2	2,26
	7	14,67	32,57	45,00	12,43	38,2	2,22
	8	14,40	33,38	45,00	11,62	34,8	2,32
	9	16,43	37,38	50,00	12,62	33,8	2,28
	10	16,08	37,45	50,00	12,55	33,5	2,33
	11	16,90	40,37	55,00	14,63	36,2	2,39
	12	17,03	40,38	55,00	14,62	36,2	2,37
	Prosječno – Average					35,3	2,04

Na radilištu “Jadovno – Jazbine” prosječna potrošnja goriva je veća na prvom radilištu te iznosi 2,04 L/m³. Na veću potrošnju goriva po obujmu privučenog drva prvenstveno su utjecali radni i organizacijski uvjeti. Pri privlačenju drva iz prorede, veliki broj malih komada drva u tovaru dovodi do veće potrošnje vremena (više vremena se troši na vezivanje tovara i rad vitla), kao i goriva tijekom rada u sječini. Također, prosječni tovar od svega 2,27 m³ je premali i nije optimalan tovar za skidera mase od 8,6 tona.

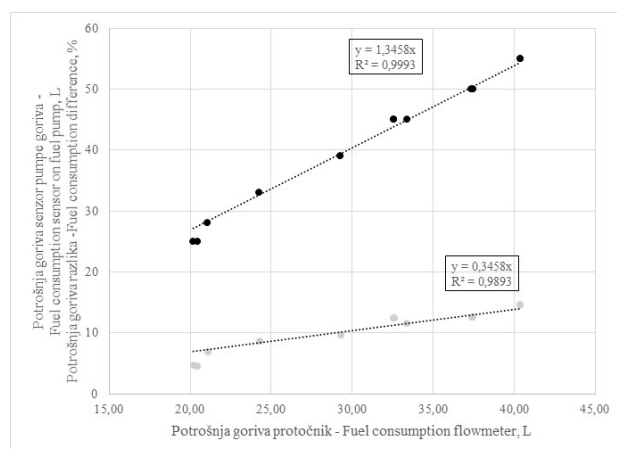
Stoga se može zaključiti da skider Ecotrac 140 V nije najprikladnije rješenje za privlačenje drva proredama te bi trebalo razmotriti mogućnost korištenja lakšeg i manjeg skidera, što bi zasigurno odrazilo na smanjenje potrošnje goriva po jedinici obujma drva.



Slika 6. Usporeba potrošnje goriva na radilištu “Dišnica – Zobikovac – Petkovača”

Figure 6. Comparison of fuel consumption at worksite “Dišnica – Zobikovac – Petkovača”

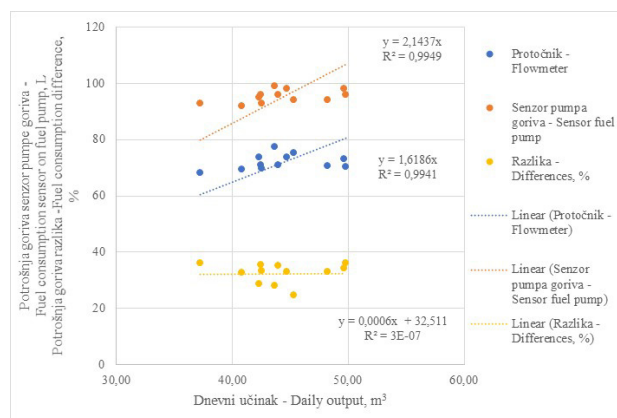
Slika 6 uspoređuje potrošnju goriva na radilištu “Dišnica – Zobikovac – Petkovača”. Prikazani graf analizira odnos između potrošnje goriva izmjerene protočnikom (na X-osi) i dviju ovisnih varijabli (potrošnja očitana na senzoru pumpe goriva i postotna razlika između vrijednosti senzora pumpe goriva i protočnika) na Y-osi. Skup podataka prikazan crnom bojom pokazuje uzlazni trend, što je vidljivo iz pozitivnog nagiba regresijske linije. Obzirom na uzlaznost krivulje, zaključujemo da porastom potrošnje goriva mjerene na protočniku, raste i potrošnja koju bilježi senzor na pumpi goriva. S druge strane, sivi skup podataka, koji prikazuje postotnu razliku između senzora na pumpi goriva i protočnika, pokazuje silazni trend – vidljiv kroz negativan nagib regresijske linije. To znači da se povećanjem stvarne (protočne) potrošnje goriva smanjuje postotna razlika između dvaju sustava mjerenja. Zaključno, što je potrošnja veća, odstupanje potrošnje goriva sa senzora na pumpi goriva u odnosu na mjerenje protočnika postaje manje izraženo.



Slika 7. Usporedbe potrošnje goriva na radilištu “Jadovno – Jazbine”

Figure 7. Comparison of fuel consumption at worksite “Jadovno – Jazbine”

Na radilištu “Jadovno – Jazbine” mjerenje preko senzora na pumpi goriva, također, značajno precjenjuje potrošnju goriva u odnosu na mjerenje protočnikom, ali se prikazuje porast razlike između dvije metode mjerenja povećanjem potrošnje goriva.



Slika 8. Ovisnost potrošnje goriva o dnevnom učinku skidera na radilištu “Dišnica – Zobikovac – Petkovača”

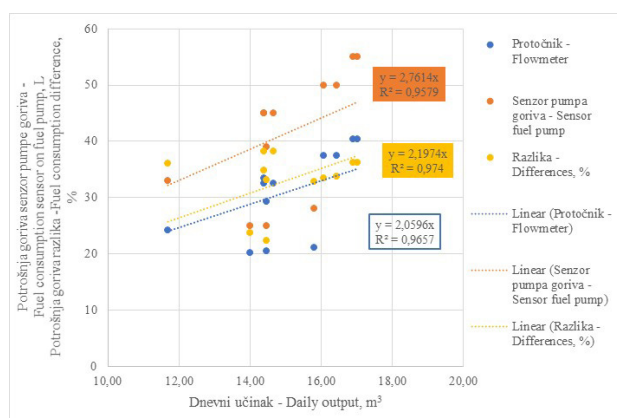
Figure 8. Dependence of fuel consumption on daily output at worksite “Dišnica – Zobikovac – Petkovača”

Graf prikazuje ovisnost potrošnje goriva o dnevnom učinku skidera (u m³) pri privlačenju drva u lokalitetu “Dišnica – Zobikovac – Petkovača”. Na x-osi nalazi se dnevni učinak u m³, dok su na y-osi prikazane tri varijable: potrošnju goriva izmjerenu protočnikom (L), potrošnju goriva izmjerenu senzorom na pumpi goriva u sustavu (L) te postotnu razliku između vrijednosti navedenih metoda mjerenja (%).

Za svaku od ovih varijabli provedena je regresijska analiza ($p \leq 0.05$) te su prikazane odgovarajuće linearne regresijske linije s pripadajućim jednadžbama i koeficijentima. Potrošnja mjerena preko senzora na pumpi goriva pokazuje izrazit uzlazni trend ($y = 2,1437x$), odnosno snažno raste povećanjem dnevnog učinka. Potrošnja goriva mjerena na protočniku također raste, ali nešto umjerenije ($y = 1,6186x$). Postotna razlika ostaje praktički konstantna bez obzira na učinak, tj. razlika ostaje stabilna (oko 32,5%) bez obzira na radni intenzitet.

Zaključujemo da, za razliku od prethodnog grafa, razlika između očitavanja senzora na pumpi goriva i protočnika ostaje jednaka bez obzira na dnevni učinak stroja.

Obje metode mjerenja (senzor na pumpi goriva i protočnik) pokazuju izrazitu povezanost s dnevnim učinkom ($R^2 > 0,99$ uz interval pouzdanosti od 95%) između dvije metode, no očitavanja na pumpi goriva u prosjeku sustavno pokazuju veću potrošnju goriva, što upućuje na precijenjenost mjerenja preko senzora na pumpi goriva.



Slika 9. Ovisnost potrošnje goriva o dnevnom učinku skidera u "Jadovno – Jazbine"

Figure 9. Dependence of fuel consumption on daily output at worksite "Jadovno – Jazbine"

Radilište "Jadovno – Jazbine" pokazuje izraženije odstupanje između mjernih sustava u odnosu na radilište "Dišnica – Zobikovac – Petkovača". Povećanjem učinka dolazi do značajnijeg povećanja razlike u prikazanoj potrošnji, što može upućivati na probleme u očitavanju mjerenja senzora na pumpi goriva. Uspoređujući radilišta, dolazimo do zaključka da je u "Dišnica – Zobikovac – Petkovača" postotna razlika ostajala gotovo nepromijenjena bez obzira na dnevni učinak, a u "Jadovno – Jazbine" razlika linearnim rastom značajno raste povećanjem dnevnog učinka, uz interval pouzdanosti od 95%. Iz navedenog zaključujemo da se povećanjem dnevnog učinka sve više precjenjuje stvarna potrošnja goriva mjerena preko senzora na pumpi goriva.

Ključ problema se nalazi u tome što senzor na pumpi goriva ne registrira povrat goriva u rezervoar, nego samo očitava trenutne podatke protoka goriva. Diferencijalni mjerač potrošnje goriva očitava podatke i uzima u obzir povrat goriva natrag u rezervoar.

Prijašnja istraživanja potrošnje goriva šumskih strojeva odnose se na mjerenje utroška goriva jednom metodom i utvrđivanja utjecajnih čimbenika na potrošnju goriva, kao što su nagib terena, smjer kretanja, veličina tovara, stanje tla (Kenney i dr., 2014; Ackerman i dr., 2017; Ezzati i dr., 2021; Bacescu i dr., 2022; Bacescu i dr., 2025).

Preciznost i pouzdanost izmjere potrošnje goriva diferencijalnim protočnikom objašnjavaju u tehničkim izvješćima i znanstvenim radovima proizvođači mjerne opreme, ali na primjerima iz kamionskog i brodskog transporta (Kral GmbH, 2019; Matt, 2023).

VAF Instruments (2015) u tehničkom izvješću navodi da se pri takvim vrstama transporta razlike između mjerenja potrošnje goriva diferencijalnim protočnikom i senzorima koji očitavaju protok goriva prema motoru povećavaju s prijednim udaljenostima, vremenom vožnje i veličinom tovara. Pri tome, mjerenje protoka goriva bez diferencijalnog protočnika može biti 2,5 do 3 puta veće od mjerenja s diferencijalnim protočnikom.

Prikazani rezultati ukazuju na iste utjecajne čimbenike na povećanje razlika potrošnje goriva između mjerenja diferencijalnim protočnikom i senzorom koji očitava protok goriva na pumpi, no s obzirom na manje toware i udaljenosti vožnje te kraća vremena rada, povećanje razlika između dvije metode mjerenja kretalo se u opsegu od 20% do 40%, povećanjem dnevnog učinka od 11,68 m³/dan do 17 m³/dan.

CONCLUSIONS - Zaključci

Rezultati ukazuju na nepreciznost izmjere potrošnje goriva sa senzora na pumpi goriva u odnosu na vrlo precizno mjerenje diferencijalnim mjeračem protoka. Precjenjivanje vrijednosti ne dolazi do izražaja kod malih dnevnih učinaka, ali porastom dnevnog učinka razlika između očitavanja potrošnje goriva protočnika DFM 100CD i senzora na pumpi goriva je izrazita.

Potrebno je naglasiti da postoje i drugi načini izmjere potrošnje goriva preko drugih senzora, koji se ovoj konfiguraciji nisu koristili ili nisu tvornički ugrađeni na skider. Na suvremenim šumskim vozilima, pogotovo forvarderima i harvesterima, te novim šumskim vozilima s najnovijom generacijom računalno-kontroliranih pogonskih motora, moguće je preko senzora dobiti precizno očitavanje

potrošnje goriva koje se zasniva na očitavanju senzora na pumpama goriva s povratnim vodom ili očitavanju sa senzora pri ubrizgavanju goriva u cilindar motora.

Ovim poboljšanim sustavom senzora bilo bi moguće ostvariti precizno i pravovaljano očitavanje potrošnje goriva.

Trenutno, kod skidera, očitavanje goriva preko senzora na pumpi goriva ne prikazuje vjerodostojan podatak.

Organizacija rada je znatno utjecala na potrošnju goriva na oba radilišta – na prvom radilištu zbog svakodnevnog premještanja skidera na početku i kraju radnog dana, a na drugom radilištu uslijed primjene velikog skidera za rad na privlačenju drva iz prorede.

Uočene prednosti i nedostaci mjernih sustava, kao i razlike u potrošnji goriva na dva različita radilišta kojima se ukazalo na razlike u potrošnji goriva skidera između privlačenja drva iz proreda i dovršnog sijeka, predstavljaju smjernice za optimalnu organizaciju rada s ciljem smanjenja troškova rada, te preporuke za pravovaljano praćenje potrošnje goriva skidera.

REFERENCES - Literatura

- Ackerman, P., Williams, C., Ackerman, S., & Nati, C. (2017). Diesel Consumption and Carbon Balance in South African Pine Clear-Felling CTL Operations: a Preliminary Case Study. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 38(1), 65-72.
- Bacescu, N.M., Cadei, A., Moskalik, T., Wisniewski, M., Talbot, B., & Grigolato, S. (2022). Efficiency Assessment of Fully Mechanized Harvesting System through the Use of Fleet Management System. *Sustainability*, 14, 16751. <https://doi.org/10.3390/su142416751>
- Bacescu, N.M., Piol, O., Talbot, B., Marchi, L., & Grigolato, S., (2025). Modelling full stems skidding in the northeast Italian Alps through engine data acquisition and analysis. *European Journal of Forest Research*, 144, 1355-1366. <https://doi.org/10.1007/s10342-025-01811-3>
- Borz, S.A., Ignea, G., Oprea, I., Ciobanu, V., & Dinulica, F. (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*, 37/2 (46), 67-79.
- Ezzati, S., Tavankar, F., Ghaffariyan, M.R., Venanzi, R., Latte-rini, F., & Picchio, R. (2021). The Impact of Weather and Slope Conditions on the Productivity, Cost, and GHG Emissions of a Ground-Based Harvesting Operation in Mountain Hardwoods. *Forests*, 12(12), 1-19. <https://doi.org/10.3390/f12121612>
- Kenney, J., Gallagher, T., Smidt, M., Mitchell, D., & McDonald, T. (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., Šušnjar, M., Bačić, M., Šporčić, M., & Pandur, Z. (2021). Skidders Fuel Consumption in Two Different Working Regions and Types of Forest Management. *Forests*, 12 (5); 1-10. <https://doi.org/10.3390/f12050547>
- Kral GmbH (2019). System Accuracy of a Fuel Consumption Measurement. White Paper. 1-7. https://www.kral.at/fileadmin/data/files/products/kraftstoff-verbrauchsmessung/System_Accuracy_of_a_Fuel_Consumption_Measurement.pdf
- Lijewski, P., Merksiz, J., Fuć, P., Ziolkowski, A., Rymaniak, L., & Kusiak, W. (2017). Fuel consumption and exhaust emissions in the process of mechanized timber extraction and transport. *European Journal of Forest Research*, 136 (1), 153-160. <https://doi.org/10.1007/s10342-016-1015-2>
- Maesano, M., Picchio, R., Lo Monaco, A., Neri, F., Lasserre, B., & Marchetti, M. (2013). Productivity and energy consumption in logging operation in a Cameroonian tropical forest. *Ecological Engineering*, 57, 149-153. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.04.013>
- Manner, J., Nordfjell, T., & Lindroos, O. (2016). Automatic load level follow-up of forwarders' fuel and time consumption. *International Journal of Forest Engineering*, 27 (3), 151-160. <https://doi.org/10.1080/01494219.2016.1231484>
- Matt, C. (2023). Impacting Factors on the Accuracy of a Fuel Consumption Measurement. *Ship Science & Technology*, 17(33), 43-49. <https://doi.org/10.25043/19098642.241>
- Nordfjell, T., Athanassiadis, D., & Talbot, B. (2003). Fuel consumption in forwarders. *International Journal of Forest Engineering*, 14 (2), 11-20. <https://doi.org/10.1080/1494219.2003.10702474>
- Obi, O.F., & Visser, R. (2021). Estimating the Influence of Extraction Method and Processing Location on Forest Harvesting Efficiency - a Categorical DEA Approach. *Eur. J. For. Eng.*, 6, 60-67. <https://doi.org/10.33904/ejfe.722822>
- Oyier, P., & Visser, R. (2016). Fuel consumption of timber harvesting systems in New Zealand. *Eur J Forest Eng*, 2, 67-73.

Pandur, Z., Horvat, D., Šušnjar, M., & Šarac, Z. (2009). Može li se komercijalni Fleet Management Sustav koristiti u praćenju rada i istraživanjima forvardera? [Can a commercial fleet management system be used for research and survey of a forwarder]? *Nova mehanizacija šumarstva*, 30 (1), 11-17.

Pandur, Z., Šušnjar, M., Bačić, M., Đuka, A., Lepoglavec, K., & Nevečerel, H. (2019). Fuel consumption comparison of two forwarders in the lowland forests of pedunculate oak. *iForest*, 12, 125-131. <https://doi.org/10.3832/for2872-011>

Šušnjar, M., Pandur, Z., Bačić, M., Lepoglavec, K., Nevečerel, H., & Kopseak, H. (2023). Possibilities for the Development of an Electric Hybrid Skidder Based on Energy Consumption Measurement in Real Terrain Conditions. *Forests*, 14 (1), 1-9. <https://doi.org/10.3390/f14010058>

Šušnjar, M., Pandur, Z., Bačić, M., Halilović, V., Nevečerel, H., Lepoglavec, K., & Kopseak, H. (2024). Analysis of Skidder Fuel Consumption by Work Operations During Timber Extraction in Thinning of Even-Aged Forest on Mountainous Terrain: A Case Study. *Sustainability*, 16(24), 11240, 1-10. <https://doi.org/10.3390/su162411240>

VAF Instruments (2015). Fuel Consumption Measurement. Application Bulletin 124, 1-8. https://trimor.com.pl/wp-content/uploads/2015/07/Fuel_consumption.pdf

Vusić, D., Šušnjar, M., Marchi, E., Spina, R., Zečić, Ž., & Picchio, R. (2013). Skidding operations in thinning and shelterwood cut of mixed stands - Work productivity, energy inputs and emissions. *Ecological Engineering*, 61, 216-223. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.09.052>

www.mobilisis.hr

SUMMARY

The results of the study show a comparison of fuel consumption measurements with two different methods in real working conditions of timber extraction with an Ecotrac 140 V skidder. The two methods relate to measuring fuel consumption via a sensor on the fuel supply pump as part of a commercial Fleet Management system and measurements using a built-in differential fuel flow meter.

The study established differences in measured fuel quantities over 24 working days, of which 12 days measured fuel consumption when pulling wood from a final cut of a beech stand, and 12 days measured fuel consumption when pulling wood from a thinning beech stand.

At both work sites, a half-stem method was used, with the downhill skidder extraction. The skidder load volumes per work shift were measured after unloading at the landing.

Worksite "Dišnica – Zobikovac – Petkovača" represents timber skidding from the final cut, where the average dimensions of the wood assortments were 4.79 m long and 49.8 cm in average diameter. The average load was 5.45 m³ and consisted of an average of 5.5 pieces (Table 1). The longitudinal slopes of the tractor roads ranged from 5% to 8%. The skidding distances ranged from 80 m to 280 m, with an average value of 150 m. The surface of the tractor roads was dry and had a very good load-bearing capacity. Every day after the end of the working time, the skidder was moved from the worksite to a "safe" protected yard 1.6 km away. At the beginning of the workday, before leaving for the worksite at the same distance of 1.6 km, the driver checked the vehicle's ignition before driving to the worksite.

Worksite "Jadovno - Jazbine" represents timber skidding from thinning, and the data presented indicate the small dimensions of wood assortments, which is a key factor affecting fuel consumption per volume of wood pulled. The number of pieces in the load varied between 8 and 15 pieces of wood assortments (Table 2). And the average load was only 2.27 m³. Tractor roads had a uniform longitudinal slope of 8% and they were very wet and muddy, with ruts up to 20 cm deep.

The results indicate the inaccuracy of the measurement of fuel consumption from the sensor on the fuel pump compared to the very precise measurement with the differential flow meter (Figures 6, 7). The overestimation of the value does not come to the fore with small daily outputs, but as the daily outputs increase, the difference between the reading of the fuel consumption of the flow meter DFM 100CD and the sensor on the fuel pump is significant (Figures 8, 9).

The key to the problem is that the sensor on the fuel pump does not register the return of fuel to the tank, but only reads the current fuel flow data. The differential fuel consumption meter reads the data and takes into account the return of fuel back to the tank.

It should be noted that there are other ways to measure fuel consumption via other sensors, which were not used in this configuration or were not factory-installed on the skidder. On modern forestry vehicles, especially forwarders and harvesters, and new forestry vehicles with the latest generation of computer-controlled drive engines, it is possible to obtain an accurate fuel consumption reading via sensors based on the reading of the sensors on the fuel pumps with return lines or readings from the sensors when fuel is injected into the engine cylinder. With this improved sensor system, it would be possible to achieve accurate and valid fuel consumption readings.

The organization of work significantly affected fuel consumption at both sites - at the first site due to the daily movement of the skidder at the beginning and end of the working day, and at the second site due to the use of a large skidder for work on timber extraction from thinning. The observed advantages and disadvantages of the measurement systems, as well as the differences in fuel consumption at two different sites, which indicated differences in skidder fuel consumption between pulling wood from thinning and final felling, represent guidelines for optimal work organization to reduce labor costs and recommendations for valid monitoring of skidder fuel consumption.

Received: July 14, 2025; **Accepted:** November 24, 2025; **Published:** December 31, 2025

Funding: European Regional Development Fund within the scope of the European Union Operational Programme “Competitiveness and Cohesion” under the grant KK.01.I.1.04.0010 (“Development of hybrid skidder—HiSkid”) within the scope of the European Union Operational Programme “Competitiveness and Cohesion” 2014–2020 (2014HRI6M1OP00-1.2).

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.



© 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).