

Prispelo/Received: 1988, oktober

Oxf. 375.4 — — 081.7:395/306

PORABA GORIVA PRI SPRAVILU LESA S TRAKTORJI IMT 560 IN IMT 567

Edvard REBULA*

Izvleček

V raziskavi ugotavljamo porabo goriva pri spravilu lesa z velikoserijskimi kmetijskimi traktorji. Prikazan je vpliv traktorista, traktorja in delovnih okoliščin (razdalje in strmine spravila, velikosti bremena, drevesne vrste, razdalje in strmine zbiranja ipd.) na porabo goriva za posamezno operacijo (prazno vožnjo, polno vožnjo, vlačenje, zbiranje in rampanje) spravila lesa. Ugotovljena je poraba goriva na enoto bremena in v časovni enoti.

Ključne besede: poraba goriva, spravilo lesa, adaptirani traktor, traktorist, vplivni dejavniki.

FUEL CONSUMPTION IN WOOD SKIDDING WITH IMT 560 AND IMT 567 TRACTORS

Edvard REBULA*

Abstract

Fuel consumption in wood skidding by means of mass production agricultural tractors is being established in the research. The influence of the tractor driver, the tractor and work conditions (distances, skidding slopes, load volumes, tree species, gathering distances and slopes etc.) upon the fuel consumption for individual operational periods od wood skidding (no-load and full load transportation, wood hauling, bunching and wood levelling) is being presented. Fuel consumption per load unit in a time unit has been established.

Key words: fuel consumption, wood skidding, adapted tractors, tractor driver, factors of influence.

* prof. dr., dipl. inž. goz., Biotehniška fakulteta, VTOZD za gozdarstvo, 61000 Ljubljana, Večna pot 83, YU

KAZALO VSEBINE

PREDGOVOR	59
1. UVOD	59
2. DELAVCI IN OBJEKT PROUČEVANJA	60
3. METODIKA PROUČEVANJA	62
4. UGOTOVITVE RAZISKAVE	65
4.1. Vpliv traktorja na porabo goriva	70
4.2. Vpliv voznika na porabo goriva	70
4.2.1. Hitrost vožnje pri vlačenu lesa po vlaki	72
4.2.2. Vpliv hitrosti vožnje na porabo goriva	76
4.2.3. Vpliv traktorja in traktorista na porabo goriva	77
4.3. Vpliv delovnih pogojev na porabo goriva pri spravilu lesa	80
4.3.1. Poraba goriva pri vlačanju sortimentov	80
4.3.1.1. Poraba goriva pri prazni vožnji	80
4.3.1.2. Poraba goriva pri polni vožnji	82
4.3.1.3. Poraba goriva pri vlačanju	85
4.3.2. Poraba goriva pri zbiranju in rampanju	88
4.3.2.1. Dejavniki, ki vplivajo na porabo goriva pri zbiranju lesa	89
4.3.2.2. Dejavniki, ki vplivajo na porabo goriva pri rampanju	90
4.3.2.3. Dejavniki, ki vplivajo na porabo goriva pri zbiranju in rampanju	90
5. POVZETEK IN UGOTOVITVE	91
6. ZUSAMMENFASSUNG UND BESCHLÜSE	96
7. LITERATURA	100

Predgovor

Poraba in izkoristek energije je vse bolj osrednje vprašanje vsake družbe. Zlasti so pomembna dognanja, ki omogočajo varčevanje energije. Zato proučujemo porabo goriva pri pridobivanju sortimentov v gozdarstvu. Proučili smo porabo goriva pri sečnji in nekoliko pri prevozu gozdnih lesnih sortimentov. V pričujočem delu smo prikazali prve rezultate proučevanja porabe goriva pri spravilu lesa s prilagojenimi velikoserijskimi traktorji.

Raziskava je del raziskovalnega projekta „Intenziviranje gozdne proizvodnje lesa“, in sicer del naloge „Kompleksno izkoriščanje lesne surovine“. Naloga je speljana s sredstvi PoRS-a za gozdarstvo, lesno industrijo, papir in grafiko ter združenega dela gozdarstva SRS.

Podatke o porabi goriva smo zbrali na Gozdnem gospodarstvu Postojna. Pri snemanju dela so sodelovali strokovnjaki Gozdarskega šolskega centra v Postojni in strokovnjaki ter delavci Gozdnega gospodarstva Postojna. Zbrane podatke smo obdelali na VTOZD za gozdarstvo.

Terensko delo, snemanje, sta vodila Boris Tinta, dipl. inž. in Adolf Trebec, dipl. inž. Računalniško obdelavo je speljala Leonarda Godler. Pri izvednotenju podatkov je pomagal Igor Potočnik, dipl. inž. Jelka Malnar je vse spravila v primerno obliko. Sam sem le izvednotil podatke in napisal pričujoče poročilo. Za sodelovanje se vsem sodelavcem iskreno zahvaljujem. Zahvaljujem se tudi vodstvu in kolektivu Gozdnega gospodarstva Postojna, ki sta omogočila terenska snemanja.

Tekst je recenziral prof. dr. Stanislav Sever. Dolžan sem mu iskreno zahvalo za pomoč in vse napotke, ki so izboljšali delo.

Ljubljana, oktobra 1988

Avtor

1. UVOD

Problematika in cilj raziskave

Spravilo gozdnih lesni sortimentov (v nadaljevanju spravilo lesa) je opravilo, pri katerem porabimo veliko energije. Del te energije porabimo za gradnjo in vzdrževanje prometnic, ki služijo spravilu lesa, drugi del pa za neposredno spravilo lesa. Kako velik je ta del, vemo le približno. Ugotavljali smo ga na podlagi evidence porabe goriva ter maziva iz knjigovodstva ali strojnih listov, ki jih izpolnjuje traktorist. Tako poroča VENGUST (1985) o porabi goriva in maziva pri različnih opravilih na Gozdnem gospodarstvu Postojna. Za spravilo 1 m³ sortimentov so v letu 1982 in 1983 porabili 0,93 l goriva in maziva ali 16% vse porabe pri gozdnem gospodarstvu. VENGUST (1985) tudi pravi, da je poraba goriva in maziva pri spravilu precej različna

po posameznih tozdih in tokih, razlikuje pa se tudi pri posameznih vrstah traktorjev. Podobne podatke za daljše časovno obdobje in prilagojene traktorje (IMT 558 oziroma 560) navaja tudi FURLAN (1987).

Iz navedenih podatkov lahko razberemo, da za spravilo 1 m^3 lesa porabimo približno še enkrat več goriva in maziva kot za prevoz s prekladanjem. Tako gledano pri spravilu niti ne porabimo zelo veliko. Drugače pa je, če porabo goriva in maziva pri spravilu preračunamo na enoto dolžine (n.pr. za ton km ali $\text{m}^3 \text{ km}$) ali za 1 m^3 na razdalji $1 \text{ m} = 1 \text{ m}^4$ in jo primerjamo s porabo pri prevozu. Tako prikazana (specifična) poraba kaže, da za enoto (1 ton km) spravila porabimo 20—25 krat več goriva in maziva kot za prevoz, v katerega je všteta tudi poraba pri prekladanju. To nam šele kaže porabo energije pri spravilu lesa v pravem merilu.

Podatki o povprečni porabi goriva za spravilo 1 m^3 sortimentov so dovolj točni. Na žalost pa ne kažejo vzrokov za tako porabo oziroma dejavnikov, ki jo pogojujejo. Zato smo izvedli pričujočo raziskavo, ki nam naj bi odkrila porabo goriva pri spravilu lesa s traktorji IMT 560 (in IMT 567) in dejavnike, ki vplivajo nanjo. Poznavanje vplivov različnih dejavnikov, kjer so najpomembnejši:

- človek s svojimi značilnostmi, znanjem, motivacijo in načinom dela,
 - delovne okoliščine (velikost bremena, strmina, razdalja ipd.),
 - stroj (vzdrževanje, vrsta oziroma tip),
- nam omogoča racionalizacijo porabe energije, kar je končni cilj raziskave.

2. DELAVCI IN OBJEKTI PROUČEVANJA

Porabo goriva pri spravilu lesa s prirejenimi traktorji IMT 560 in IMT 567 smo merili pri spravilu lesa na 6 deloviščih v običajnih obratovalnih pogojih. S traktorji so spravljali oblovino iglavcev in listavcev. Iglavci so bili v lubju.

Traktorji so bili opremljeni z dvobobenskimi vitli, vlečne sile 50 kN na vsakem bobnu.

Traktorist je delal sam, brez pomočnika. Vsi traktoristi so bili izkušeni delavci, usposobljeni za spravilo lesa s takim strojem in večletnimi delovnimi izkušnjami pri tem delu. Proučevali smo delo 4 traktoristov.

Porabo goriva smo merili pri dveh traktorjih IMT 567 na treh deloviščih (3, 4 in 5) in pri 2 traktorjih IMT 560 prav tako na treh deloviščih. Traktorji so bili opremljeni za delo v gozdu in običajno vzdrževani.

V preglednici 1 so podane značilnosti vlake in bremena na posameznih deloviščih. Iz nje je razvidno, da smo merili porabo goriva v dovolj pestrih okoliščinah in zajeli

Preglednica 1: Značilnosti posameznih delovišč
 Tabelle 1: *Eigenheiten einzelner Arbeitsorte*

Delovišče Arbeitsort	Tip trakt. Typ schlepper	Število snemanj Zahl Aufnah.	Razdalja vlačenja m Rückeeentfernung		Naklon vlake % Neigung		Koeff. naklona % Koef. Neigung	Brems Last		
			min.	maks. von	od bis	do		štev. Kosov Stück	povpr. kos durch, st.	povpr. brems durch, Last
					Rückwege		m ³			
1	IMT 560	25	166	887	- 8	0	8	6,7	0,33	2,22
2		36	82	763	-13	+ 3	7	4,9	0,73	3,56
Skupaj Zusammen		61	82	887	-13	+ 3	7	5,6	0,53	3,01
3	IMT 567	114	50	449	-17	+13	9	4,15	0,55	2,27
4		26	219	468	- 2	+ 2	5	4,61	0,52	2,41
5		14	230	455	-25	-19	22	10,00	0,27	2,68
Skupaj Zusammen		154	50	468	-25	+13	9	4,76	0,49	2,33
Vse skupaj Alles zusammen		215	50	887	-25	+13	9	5,00	0,50	2,52

najpomembnejše vplive. Skupno smo posneli 215 ciklusov oziroma delo pri spravilu 542,54 m³ oblovine oziroma 1076 kosov.

Snemali smo poleti (julij in avgust) 1985 na delovišču 2 in 3. Tu so bile vlake suhe in pogoji za delo najboljše. Spomladi (marca) smo snemali na delovišču 1. Tu so bile vlake mokre, delno zasnežene in blatne. Jeseni (novembra) 1986 smo snemali na delovišču 5. Vlake so bile peščene in vlažne. Zadnja snemanja so iz aprila 1987 (delovišče 4). Vlake so bile trde, delno zemljene in vlažne.

Na delovišču 1 in 5 so spravljali listavce, na delovišču 2, 3 in 4 pa oblovino iglavcev v lubju.

Porabo goriva sta merila Adolf Trebec, dipl. inž. goz. in Boris Tinta, dipl. inž. goz. vsak s svojim pomočnikom.

3. METODIKA PROUČEVANJA

Porabo goriva smo proučevali po posebni metodiki, ki je v bistvu dopolnjena in prilagojena metodika proučevanja dela pri spravilu lesa s traktorji in proučevanja porabe goriva pri prevozih.

Opravilo spravilo lesa smo členili v elemente dela tako kot je to opisal KRIVEC (1979) in uporabil REBULA (1984) pri proučevanju spravila z zgibniki LKT. Za vsak element smo izmerili njegovo trajanje po ničelni kronometrični metodi.

Količino opravljenega dela smo ugotavljali z izmero spravljenih sortimentov in dolžino njihovega premikanja. Merili smo dolžino privlačenja do vlake in dolžino vlačjenja po vlaki.

Okoliščine dela smo ugotavljali z nagibi privlačenja, številom kosov v bremenu (debelino sortimentov) ter drevesno vrsto in vzdolžnim profilom vlake. Ostale okoliščine kot kakovost vlake, terena in sestoja, vreme ipd. so snemalci beležili posebej na hrbtno stran snemalnega lista oziroma ob podatkih merjenja vzdolžnega profila vlake.

Iz podolžnega profila smo izračunali povprečni nagib vlake. Če je bil v smeri polne vožnje vzpon, smo označili nagib kot pozitiven (+), če pa je potekalo vlačenje navzdol smo označili nagib kot negativen (—). Da bi se pri računalniški obdelavi izognili predznakom, smo nagibe vlak preračunali v neke vrste „zenitno razdaljo“. To smo naredili po enačbi

$$X_2 = 100 - i$$

Tako pomeni $I = 100$ vlako brez nagiba. Vrednosti pod 100 pomenijo padec v smeri polne vožnje — vlačenje navzdol — in vzpon v smeri prazne vožnje. Enako smo postopali tudi pri računanju nagibov privlačevanja.

Porabo goriva smo merili z merilno napravo KIENZLE podobno kot pri prevozu lesa (KURE 1987). Naprava je vgrajena na dovod goriva v motor. Kaže kumulativno porabo goriva na 0,1 l natančno. Proizvajalec jamči točnost merjenja $\pm 2\%$.

Porabo goriva je snemalec odčital s števec (kumulativno) in nato izračunal porabo goriva za vsak delovni element.

Kmalu smo ugotovili, da pri kratkih delovnih elementih števec ne pokaže porabe goriva, ker je bila manjša od 0,1 l. Zato smo pozneje ocenjevali porabo goriva na 0,05 l natančno. To smo naredili tako, da smo iz položaja zadnje številke na števcu skleпали na porabo. Številke se namreč vrtijo, zato smo v primerih, ko je bila naslednja številka vidna le delno, skleпали, da še ni porabljen cel 0,1 l.

Porabo goriva sta merila dva snemalca. Prvi je meril časovne podatke in beležil porabo goriva, pomočnik pa je meril breme, razdaljo in nagib privlačevanja ter beležil druge vplivne dejavnike. Skupaj sta izmerila vzdolžni profil vlake.

Tu velja omeniti, da je uporabljena naprava za podrobno merjenje porabe goriva pri spravlju nekotično „pregroba“. Pri kratkotrajnih elementih, zlasti še če motor teče v prostem teku, je poraba majhna in je naprava ne zabeleži. Pomagali smo si tako, da smo ugotavljali porabo za več delovnih elementov skupaj. To velja za zbiranje, kjer smo združili elemente razvlačevanja vrvi, zapenjanje in privlačevanje in za rampanje, kjer smo združili opravila odvezovanje, poravnavanje in premike med rampanjem.

Pri obdelavi podatkov smo najprej prekontrolirali snemalni list in izračunali vse izmerjene podatke (kubature lesa, dolžine in nagibe vlake ter kontrolne čase). Tako preverjene in dopolnjene podatke smo zbrali v zbirniku za vsako sečišče. Oblika in vsebina zbirnika je razvidna v prikazu 1.

Vse podatke smo nato vnesli v računalnik. Tu smo z računalniško obdelavo ugotavljali porabo goriva pri posameznih traktorjih, traktoristih in opravilih ter iskali vzroke in pojasnila za razlike v porabi oziroma smo ugotavljali moč in načine delovanja posameznih vplivnih dejavnikov.

Najprej smo obdelali podatke ločeno za vsako delovišče (vlako), za vsak traktor in traktorista. Ugotovili smo, da je poraba goriva na posameznih deloviščih precej različna. Podrobnejša analiza pa je pokazala, da razlike izhajajo v glavnem iz pogojev dela na posameznem sečišču. Zato smo vse podatke združili in jih skupno obdelali.

V nadaljevanju bomo prikazali rezultate posamezne in skupne obdelave. Izsledki obdelave za posamezno delovišče nam bodo omogočili sklepanje o vplivu traktorja in traktorista na porabo goriva. Ugotovitve iz skupne obdelave pa bodo omogočile sklepanje o vplivu okoliščin, v katerih delamo, na porabo goriva.

4. UGOTOVITVE RAZISKAVE

Na porabo goriva pri transportu materialov z vozili vplivajo:

- voznik,
- vozilo,
- okoliščine, pogoji, v katerih se odvija transport.

Tako je tudi pri spravilu lesa. Pri delu prihaja do interakcij posameznih vplivov. Zato je težko izločiti in ugotoviti vpliv posameznega dejavnika.

V preglednici 1 smo prikazali značilnosti posameznih delovišč oziroma vlak. Iz nje je razvidna pestrost okoliščin, v katerih smo snemali porabo goriva.

V preglednici 2 podajamo izmerjene povprečne hitrosti vožnje na posameznih deloviščih.

Iz preglednice 2 vidimo, da so razlike v doseženih hitrostih razmeroma velike. Absolutne in relativne razlike so največje pri prazni vožnji. Največje dosežene hitrosti so za dobrih 60% večje od najmanjših. Podobno je tudi pri polni vožnji. Tu so največje razlike 54%. Najhitrejši traktor pri polni vožnji je najpočasnejši pri prazni.

Pri vlačanju so razlike znatno manjše. Ekstrema se razlikujeta za 31%. Tu se izravnava vplivi na prazno in polno vožnjo. Največje skupne hitrosti dosežejo traktorji, ki so razmeroma hitri pri polni in prazni vožnji (n.pr. delovišče 3 in 4).

Prazna vožnja je v povprečju 26% hitrejša od polne. Razlike so tudi tu velike. Prazna vožnja je lahko do okoli 50% hitrejša od polne. Druga skrajnost pa je v primeru, ko je prazna vožnja počasnejša (za okoli 6%) od polne.

V preglednici 3 smo prikazali ugotovljene povprečne porabe goriva na posameznih deloviščih. Porabo smo prikazali v mL (cm^3) za razdaljo 1 m vlake, v mL za 1 m^4 spravila (za 1 m^3 soritmentov na razdalji 1 m) in L/obratovalno uro stroja.

Preglednica 2: Povprečne hitrosti vožnje po deloviščih
 Tabelle 2: Durchschnittliche Fahrgeschwindigkeiten auf den Arbeitsorten

Delovišče Arbeitsort	Prazna vožnja Leerfahrt		Polna vožnja Vollfahrt		Vlačenje Rückung		Razmerje praznih in polnih voženj Leer : Vollfahrt			
	m/s	km/h	indeks	m/s	km/h	indeks				
1	1,41	5,06	142	0,733	2,64	100	0,963	3,47	102	1,46
2	1,07	3,84	108	0,841	3,03	115	0,940	3,38	100	1,13
3	1,61	5,78	163	0,900	3,24	123	1,153	4,15	123	1,40
4	1,50	5,40	151	1,045	3,76	143	1,232	4,44	131	1,22
5	0,99	3,56	100	1,130	4,07	154	1,055	3,80	112	0,94
Povpr.	1,36	4,90	137	0,891	3,21	122	1,077	3,88	116	1,26

Opomba: Z vlačanjem smo označili skupaj prazno in polno vožnjo.

Bemerkung: Mit der Rückung haben wir die Leer- und Vollfahrt zusammen gerechnet bezeichnet.

Preglednica 3: Poraba goriva pri vlačanju lesa ($v \text{ cm}^3 = \text{mL}$ in L)
 Tabelle 3: *Brennstoffverbrauch bei der Rückung (in $\text{cm}^3 = \text{ml}$, l)*

Delovišče Arbeitsort	Tip. trakt. Typ Schl.	Prazna vožnja Leerfahrt		Polna vožnja Vollfahrt			Vlačenje Rückung		
		mL/m ¹	L/h	mL/m ¹	mL/m ⁴	L/h	mL/m ¹	mL/m ⁴	L/h
1	IMT 560	1,29	6,09	3,38	1,52	7,45	4,78	2,56	6,95
2		1,15	3,90	2,78	1,05	7,48	3,86	1,17	5,78
Skupaj Zusam.		1,21	4,80	3,05	1,24	7,46	4,26	1,80	6,26
3	IMT 567	1,24	6,55	3,56	1,62	10,47	4,76	2,29	8,95
4		0,87	4,73	2,72	1,07	9,17	3,67	1,62	7,31
5		1,85	6,43	1,08	0,40	3,91	3,07	1,30	5,23
Skupaj Zusam.		1,24	6,23	3,05	1,42	9,65	4,29	1,99	8,33
Vse skupaj Alles zusam.		1,23	5,82	3,05	1,37	9,03	4,28	1,99	7,75

Opomba: Povprečja so računana kot aritmetična sredina posameznih vlačenj. Pri vlačanju je gorivo prazne in polne vožnje preračunano na 1 m razdalje oziroma 1 m⁴ spravila.

Bemerkung: Die Durchschnittswerte sind als arithmetische Mittel einzelner Rückungen gerechnet. Bei der Rückung ist der Brennstoff der Leer- und Vollfahrt auf 1 m der Entfernung, beziehungsweise 1 m⁴ umgerechnet.

V preglednici 4 smo prikazali porabo goriva pri zbiranju in rampanju lesa za različne enote (min., m³, kos in m⁴) na posameznih deloviščih.

V obeh preglednicah (3 in 4) vidimo veliko pestrost porabe goriva, preračunano na katerokoli enoto. Razlike med posameznimi delovišči in s tem med posameznimi vozniki oziroma vozili (traktorji) so nekajkratne. In ne samo to. Pestrost povečuje še dejstvo, da se zaporedje posameznih sečišč spreminja pri vsaki upoštevaneni enoti, kot merski enoti, na katero smo preračunali porabo goriva pri spravilu lesa s traktorji.

Da bi poudarili razlike v porabi goriva pri spravilu lesa, smo sestavili preglednico 5. Iz nje lahko povzamemo:

1. Razlike v porabi goriva pri istem opravilu za enoto dela so med posameznimi delovišči in stroji zelo velike. Manjše so pri prazni vožnji, kjer je najmanjša poraba v razmerju z največjo 1 : 2. Podobno je tudi pri zbiranju. Največje so razlike pri polni vožnji, kjer je razmerje celo do 1 : 4. Podobno je tudi pri rampanju.

- Razmerja v porabi goriva so veliko manjša, če primerjamo porabo v časovni enoti (L/h), kot če primerjamo porabo za enoto opravljenega dela (mL/m⁴ ali mL/m ali mL/m³).
- Vrstni red pri porabi je pri vsakem opravilu drugačen. Drugačen je pri primerjavi porabe v časovni enoti in porabe za enoto opravljenega dela.
- Prav tako so zelo različna razmerja porabe goriva med posameznimi opravili. Tako porabi traktor n.pr. pri polni vožnji v obratovalni uri lahko skoraj dvakrat več (delovišče 2 in 4) ali pa celo samo dobro polovico (delovišče 5). Podobna so razmerja tudi pri drugih opravilih.
- Velike so razlike tudi pri istem traktorju in vozniku. To nam kaže primerjava delovišča 4 in 5, kjer je delal isti traktorist s svojim traktorjem.

Preglednica 4: Poraba goriva pri rampanju lesa po deloviščih

Tabelle 4: *Brennstoffverbrauch bei der Holzsammlung und Rampung nach den Arbeitsorten*

Opravilo <i>Arbeitsart</i>	Delovišče <i>Arb.ort</i>	Tip trak. <i>Typ Schl.</i>	Poraba goriva za <i>Brennstoffverbrauch für</i>				
			IMT	Min/m ³	mL/min	mL/m ³	mL/kos
Zbiranje <i>Sammlung</i>	1	IMT 560	2,85	46,79	125,71	41,57	11,10
	2		1,84	20,36	37,47	27,43	3,99
	3	IMT 567	2,35	31,89	74,89	38,50	5,28
	4		1,85	41,25	76,47	40,00	8,61
	5		5,22	19,56	102,15	28,91	10,46
Rampanje <i>Rampung</i>	1	IMT 560	1,97	41,54	81,98	27,11	—
	2		0,93	43,65	40,59	29,71	—
	3	IMT 567	0,90	21,87	19,60	10,08	—
	4		0,95	55,06	52,57	27,50	—
	5		1,51	49,39	74,54	21,09	—
Zbiranje in rampanje <i>Samml. + Rampung</i>	1	IMT 560	4,82	44,22	207,69	68,67	18,33
	2		2,77	28,18	78,07	51,14	8,31
	3	IMT 567	3,24	29,12	94,49	48,58	6,66
	4		2,81	45,94	129,04	67,50	14,53
	5		6,73	26,24	176,70	50,00	18,09

Opomba: Poraba goriva na 1 m⁴ je poraba goriva za 1 m³ na 1 m razdalje privlačevanja.
 Bemerkung: Der Brennstoffverbrauch auf 1 m⁴ ist der Brennstoffverbrauch für 1 m³ auf 1 m der Rückentfernung.

Preglednica 5: Razlike v porabi goriva
 Tabelle 5: *Unterscheide bei dem Brennstoffverbrauch*

Delovišče	Tip trakt.	Traktorist	Vlačenje — Rückung			Zbiranje in rampanje — Sammlung und Rampung									
			Prazna vožnja Leerfahrt	Index	E	Polna vožnja Vollfahrt	Index	E	Rampanje Rampung						
Arb. ort.	Typ Schl.		E	Index	E	Poln. v. Praz. v. Voll.ft. Leer.ft.	E	Index	E	Index	Zbiranje Sammlung	Index	E	Index	Zbir. Ramp. Samm. Ramp.
Poraba v L/h															
1	560	1	6.09	1.56	7.45	1.90	1.22	2.81	2.40	2.49	1.90	1.13			
2	560	2	3.90	1.00	7.48	1.91	1.92	1.22	1.04	2.62	2.00	0.47			
3	567	3	6.55	1.68	10.47	2.68	1.60	1.91	1.63	1.31	1.00	1.46			
4	567	4	4.73	1.21	9.17	2.35	1.94	2.48	2.12	3.30	2.52	0.75			
5	567	4	6.43	1.65	3.91	1.00	0.61	1.17	1.00	2.96	2.26	0.40			
Poraba v mL/m ⁴															
1	560	1	1.29*	1.48	1.52	3.80	1.18	11.10	2.78	81.98*	4.18	0.14			
2	560	2	1.15	1.32	1.05	2.62	0.91	3.99	1.00	40.59	2.07	0.10			
3	567	3	1.24	1.43	1.62	4.05	1.31	5.28	1.32	19.60	1.00	0.27			
4	567	4	0.87	1.00	1.07	2.67	1.23	8.61	2.16	52.57	2.68	0.16			
5	567	4	1.85	2.13	0.40	1.00	0.22	10.46	2.62	74.54	3.80	0.14			

Opomba: E = gorivo na enoto.

* Pri prazni vožnji je namesto mL/m⁴ podano v mL/m, pri rampanju pa v mL/m³.

Bemerkung: G = Brennstoff auf Einheit.

* Bei der Leerfahrt ist anstatt in ml/m⁴ in ml/m³ gegeben

Iz navedenega lahko ugotovimo, da nam katerikoli podatek iz preglednic 3 ali 4 ne pove ravno veliko. Pokaže pa povprečje za natančno opredeljene okoliščine dejavnikov, ki vplivajo na porabo goriva. Vpliva raznih dejavnikov pa ne poznamo. Poizkusili ga bomo ugotoviti v nadaljevanju.

4.1. Vpliv traktorja na porabo goriva

Vpliv stroja na porabo goriva iz naših proučevanj ne moremo natančno opredeliti. Zato bomo o tem sklepali iz drugih raziskav in podatkov iz prakse, ki jih bomo dopolnili z našo raziskavo.

Iz podatkov preikušanja motorjev (IMR 1986) je razvidno, da dosežejo razlike v izmerjeni moči enakih motorjev tudi do 10% ob enaki porabi goriva. Prav tako ugotavljajo pri merjenju porabe goriva pri odvozu, da so razlike med enakimi vozili in motorji znatne — do 15% (REBULA 1987, KURE 1987). Največje pa so ugotovljene razlike pri porabi goriva med posameznimi motorkami pri sečnji in izdelavi — tudi do 64% (REBULA 1984).

Na osnovi navedenega lahko sklepamo, da traktor s svojimi značilnostmi, kot so n-ravnava tlačilk injektorjev, izrabljenostjo stroja, stopnjo njegove vzdrževanosti ipd. vpliva na porabo goriva. Sodimo, da so običajno razlike v porabi goriva med posameznimi traktorji tudi do prek 10%. Ekstremne razlike pa so gotovo nekajkrat večje.

Iz podatkov v razpredelnicah 3—5 lahko sklepamo, da ni razlike v porabi goriva med traktorji IMT 560 in IMT 567. Oba traktorja imata enak motor — M 34 T. Podatki o porabi goriva pa kažejo večje razlike v porabi pri posameznem traktorju istega tipa, kot pa so razlike med tipoma traktorjev.

Gornja ugotovitev ima v naši raziskavi precejšnjo praktično vrednost. Omogoča pomembno poenostvitev, to je, da lahko oba tipa traktorjev obdelujemo skupno v eni populaciji.

Podatki v razpredelnicah 3—5 kažejo na prevladujoč vpliv okoliščin dela na porabo goriva. Sklepamo lahko, da je vpliv traktorja in traktorista manjši. Vpliv traktorja tudi zelo težko ločimo od vpliva traktorista. Zato bomo ta dva vpliva raziskali in ju podali v naslednjem poglavju kot vpliv traktorista na porabo goriva.

4.2. Vpliv voznika na porabo goriva

Vpliv voznika na porabo goriva je dokaj dobro proučen pri voznikih tovornih vozil v javnem cestnem prometu (MAASS 1983, MAROLD 1984 in dr.). Tudi pri odvozu gozdnih sortimentov smo ugotovili pomemben vpliv voznika na porabo goriva (RE-

BULA 1987). Ugotavljajo, da voznik s svojo tehniko vožnje, lahko poveča ali zniža porabo goriva za prek 20%. Vsi raziskovalci pa ugotavljajo, da je pri običajni vožnji sorazmerno težko izločiti vse ostale dejavnike in ugotoviti samo vpliv voznika. Možno je le s temu ustrezno prilagojenimi poizkusi oziroma raziskavami.

Naše raziskave so bile izvedene pri običajnem spravilu lesa. Niso bile prilagojene posebnemu ugotavljanju vpliva traktorista. Zato tudi ne moremo pričakovati natančnih podatkov. O njih lahko le sklepamo.

Domnevamo, da je vpliv voznika-traktorista na porabo goriva pri delu s traktorjem večji kot pri vozniku kamionov. Za to govorita naslednji dejstvi:

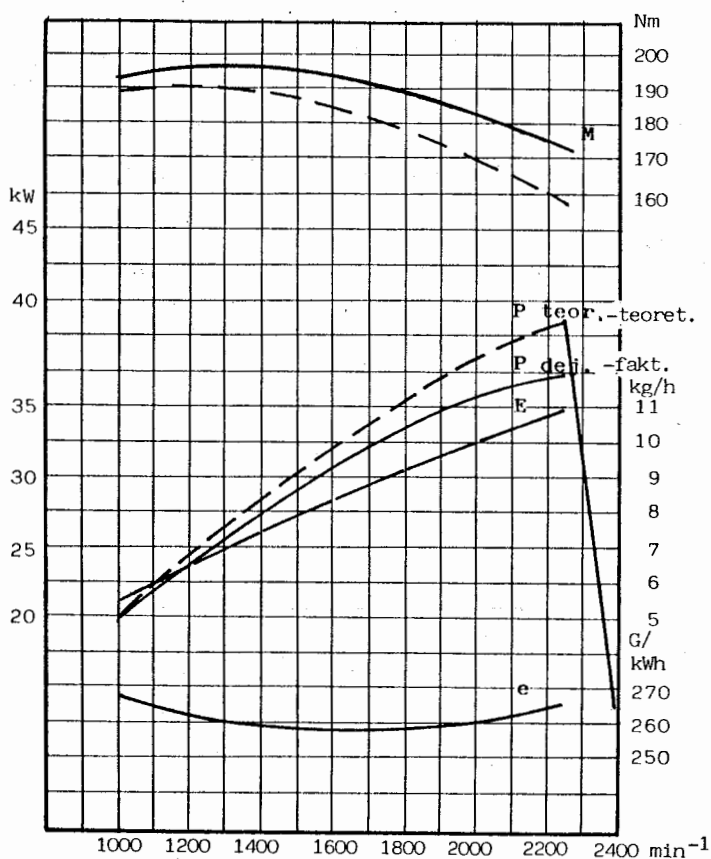


Diagram 1 KARAKTERISTIKE MOTORJA M 34 T
Charakteristika des Motors M 34 T

1. Pri vožnji vpliva voznik na porabo goriva z izbiro prestavnega razmerja, pogostnostjo prestavljanja in pritiskom na pedal za plin. To dela po svojem preudarku, ki izhaja iz znanja in občutka. Pri vožnji s traktorji se temu pridružuje še občutljivost traktorista oziroma njegova občutljivost na sunke in vibracije kot posledice različnih hitrosti vožnje po vlaki.
2. Stopnja tehnične popolnosti (ispravnosti) traktorja je v večji meri odvisna od traktorista kot pri kamionu od voznika. Tako traktorist tudi posredno, prek vsakodnevnih nege stroja in skrbi za njegovo popolnost, vpliva na porabo goriva.

O vplivu traktorista na porabo goriva lahko sklepamo iz podatkov o preizkušanju motorja M 34 T, ki je vgrajen v oba tipa traktorjev (IMR-1986). Na diagramu 1, ki kaže odvisnost specifične porabe goriva (e) v g/kWh, moči motorja (P) v kW in navora motorja (M) v Nm od števila obratov (n) vidimo, da se poraba goriva v 1 uri obratovanja motorja giblje od 5,4 do skoraj 10 L. Največja poraba je dvakrat večja od najmanjše. Drugačna razmerja so, če porabo preračunamo na druge enote. Tako se specifična poraba giblje v okviru od 258—268 g/kWh. Največja specifična poraba je tu le za 3,8% večja od najmanjše. Če pa upoštevamo različne hitrosti, različna prestavna razmerja in druge vplive lahko sklepamo, da je razlika v porabi goriva, kot posledica vpliva traktorista, nekajkrat večja kot je razlika v specifični porabi.

O vplivu traktorista na porabo goriva bomo pri naši raziskavi sklepali iz podatkov o hitrosti vožnje in vpliva hitrosti vožnje na porabo goriva pri vlačanju. V ta namen smo skupno obdelali podatke proučevanja z delovišč 2, 3 in 4. Gre za podobne razmere dela, kot je razvidno iz razpredelnice 1 in opisa objektov proučevanja. Na teh deloviščih smo proučevali delo 3 traktoristov in 3 traktorjev obeh tipov.

4.2.1. Hitrost vožnje pri vlačanju lesa po vlaki

Proučevali smo hitrost (v m/min) vožnje v odvisnosti od:

- razdalje vlačanja x_1 (v m)
- nagiba vlake x_2 (v %)
- velikost bremena T_2 (v m³)

Izračunali smo regresijske in korelacijske koeficiente regresij. Izračunali smo tudi parcialne korelacije. Vsi ti koeficienti so podani v preglednici 6.

Podatki v preglednici 6 nam kažejo, da z upoštevanimi dejavniki pojasnimo le okoli 1/4 do 1/3 vse variance ugotovljenih hitrosti. V splošnem lahko rečemo, da so ugotovljene korelacije razmeroma nizke, so pa zelo zanesljive.

Največji vpliv na hitrost vožnje ima razdalja. Z razdaljo rastejo hitrosti, in sicer za 6—10 m/min za vsakih 100 m daljšo razdaljo vlačanja.

Preglednica 6: Regresijski in korelacijski koeficienti regresije
 Tabelle 6: *Regressions und Korrelationskoeffizienten der Regression*

$$v = a + bx_1 + cx_2 + dT_2$$

Vožnja <i>Fahrt</i>	Regresijski koeficienti <i>Regressionskoeffizienten</i>				Korelacijski koeficienti <i>Korrelationskoeffizienten</i>			
	a	b	c	d	R	rx_1 ,	rx_2 ,	rT_2
Prazna <i>Leer</i>	273.57	0.1075	-2.1786		0.494	0.44	-0.38	
Polna <i>Voll</i>	-13.77	0.0644	0.9003	-12.79	0.551	0.40	0.20	-0.43
Vlačenje <i>Rückung</i>	72.26	0.0821	—	-10.035	0.591	0.52	—	-0.43

Opomba: x_2 je podan tu in v vseh nadaljevanjih enačb kot „zenitna razdalja“ — glej metodiko dela.

Bemerkung: x_2 ist hier und in allen Fortsetzungen der Gleichungen als „Zenitentfernung“ angegeben — siehe die Arbeitsmethodik.

Na prazno in polno vožnjo vpliva tudi nagib vlake. Z naraščanjem strmine oziroma zmanjševanjem padca v smeri prazne vožnje pada hitrost za 2.2 m/min za vsak % večjega vzpona. Pri polni vožnji pa hitrost narašča z večanjem padca v smeri polne vožnje, in sicer za 0.9 m/min za vsak % večjega nagiba v smeri polne vožnje. Na hitrost polne vožnje vpliva tudi velikost bremena. Večje breme, ob ostalih nespremenjenih okoliščinah, zmanjšuje hitrost, in sicer 12.8 m/min za vsak m³ bremena.

Vpliv velikosti bremena in naklona vlake v povprečnih hitrostih (glej preglednico 2) se kaže le v omejenem obsegu. Vzrok za to je interakcija naklona vlake in velikosti bremena.

Analiza kaže, da je korelacija (linearno) med tema količinama $I = 0.58$. Velikost bremena se veča z večjim padcem v smeri vlačjenja oziroma se manjša z vzponom. Tako traktorist prilagaja tovor naklonu vlake in ohranja razmeroma konstantno hitrost. Ta pojav smo ugotovili že pri drugih proučevanjih spravila s traktorji in o njem tudi že poročali (REBULA 1984).

Če obravnavamo skupaj polno in prazno vožnjo — vlačenje — vidimo, da na hitrost vlačjenja vpliva razdalja vlačjenja in velikost bremena. Večji je vpliv razdalje. Vpliva sta podobna kot pri prazni in polni vožnji.

Vpliva nagiba vlake pri vlačjenju nismo ugotovili. Izgleda, da se izravna prednost vožnje navzdol pri polni vožnji z izgubo zaradi vožnje navzgor pri prazni vožnji.

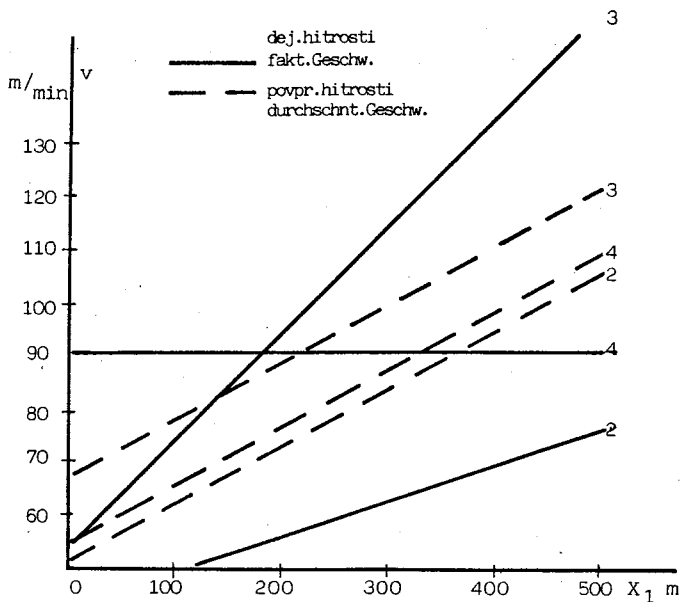


Diagram 2 HITROST PRAZNE VOŽNJE V ODVISNOSTI OD RAZDALJE VLAČENJA

Geschwindigkeit der Leerfahrt in Abhängigkeit von der Ruckeentfernung

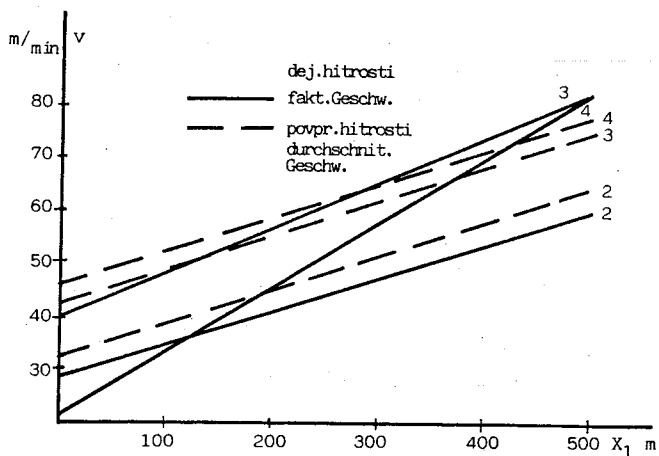


Diagram 3 HITROST POLNE VOŽNJE V ODVISNOSTI OD RAZDALJE VLAČENJA

Geschwindigkeit der Vollfahrt in Abhängigkeit von der Ruckeentfernung

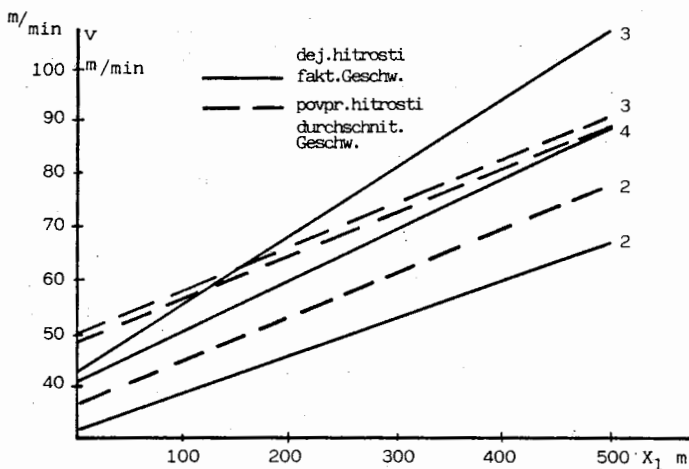


Diagram 4 HITROST VLAČENJA V ODVISNOSTI OD RAZDALJE VLAČENJA

Geschwindigkeit bei der Rückung in Abhängigkeit von der Ruckeentfernung

Ugotovimo lahko tudi, da 2/3 do 3/4 vse variabilnosti pri hitrostih vožnje izhaja iz vpliva dejavnikov, ki jih nismo merili. Tu sta predvsem kakovost vlake in pa traktorist.

Po kakovosti se vlake niso razlikovale. Bile so v podobnih rastiščih in na podobnih terenih. Tehnologija njihove gradnje pa je enaka. Zato domnevamo, da je glavni vzrok teh nepojasnjenih razlik (variance) traktorist z vplivom, kot smo ga že pojasnili.

Na diagramih 2, 3 in 4 so narisane hitrosti vožnje na posameznih vlakah (deloviščih) v odvisnosti od razdalje vlačjenja. Premice so dobljene tako, da smo v regresijske enačbe iz preglednice 6 vnesli povprečne vrednosti za nagib vlake in povprečno velikost bremena (glej preglednico 1) za posamezno vlako (delovišče), oziroma traktor in traktorista.

Premice na diagramih kažejo, s kakšno hitrostjo bi bozil „povprečen voznik“ po posamezni vlaki. Tu ni upoštevana kakovost vlake, za katero predpostavljamo, da je enaka na vseh vlakah.

Na vsakem diagramu smo označili (s polno premico) tudi dejansko doseženo hitrost posameznega voznika. Vertikalne razdalje med ustreznima premicama kažejo individualni vpliv voznika na hitrost vožnje.

Iz diagramov 2—4 je razvidno, da je način vožnje posameznih voznikov precej različen. Voznik 2 je znatno počasnejši od povprečja, voznik 3 je hitrejši. Voznik 4 je še najbližji povprečju, le nekoliko počasnejši.

Ugotovljena odstopanja so veliko večja pri prazni vožnji, ko je v stroju veliko rezerve in je človek — voznik omejujoč dejavnik. Pri polni vožnji so odstopanja manjša. Tu se verjetno človeku, kot omejujočemu dejavniku pridruži še omejena moč stroja. Razmere pri vlačanju so povprečje polne in prazne vožnje.

Zaključimo lahko z ugotovitvijo, da je individualni vpliv voznika na hitrost vožnje velik. Pri prazni vožnji, ko je vpliv voznika omejen le z njegovo vzdržljivostjo, so odstopanja posameznih voznikov od povprečja tudi do 20%.

Pri polni vožnji omejuje razlike v hitrosti moč traktorja. Nastajajo dejansko tako, da posamezen traktorist bolj obremenuje traktor (traktor obratuje bliže svoji maksimalni moči). Zato so razlike manjše. Dosegajo komaj do 10%.

4.2.2. Vpliv hitrosti vožnje na porabo goriva

Hitrost vožnje opredeljujejo okoliščine, v katerih spravljamo les s traktorji. Poleg teh vpliva nanjo v dobri meri traktorist, kot smo pokazali v prejšnjem poglavju. Tako je hitrost vožnje nekak skupni kazalec vožnje traktorja. Zato smo ugotabljali njen vpliv na porabo goriva:

1. na enoto prevožene poti ali bremena (E_s),
2. v časovni enoti (E_t).

Porabo goriva pri prazni vožnji nam podajata regresijski enačbi:

$$E_{s1} = 2,02 - 0,00913 v_1; \quad I = 0,52$$

$$E_{t1} = 67,63 + 0,338 v_1; \quad I = 0,31$$

Znaki pomenijo:

E_{s1} = poraba goriva v mL/m ali L/km

E_{t1} = poraba goriva v mL/min

v_1 = hitrost vožnje v m/min

Enačbi kažeta, da s povečano hitrostjo prazne vožnje pada poraba goriva za enoto prevožene poti in narašča poraba v časovni enoti. Sprememba porabe goriva s spreminjanjem hitrosti niso velike. Korelacija je razmeroma ohlapna.

Vpliv hitrosti vožnje (v_2) na porabo goriva pri polni vožnji (E_{s2} , E_{t2}) kažejo naslednje regresijske enačbe:

za iglavce:

$$E_{S_2} = 5,61 - 0,042 v_2; \quad I = 0,73$$

$$E_{t_2} = 135,24 + 0,450 v_2; \quad I = 0,26$$

za listavce:

$$E_{S_2} = 6,28 - 0,071 v_2; \quad I = 0,82$$

$$E_{t_2} = 157,14 - 0,961 v_2; \quad I = 0,54$$

Iglavci in listavci:

$$E_{S_2} = 5,62 - 0,044 v_2; \quad I = 0,71$$

$$E_{t_2} = 133,90 + 0,291 v_2; \quad I = 0,14$$

Tudi te enačbe kažejo enake zakonitosti kot pri prazni vožnji, le da je tu poraba znatno višja. Ugotovimo lahko razmeroma tesne korelacije med hitrostjo vožnje in porabo goriva za enoto prevožene poti. Korelacije med hitrostjo in porabo goriva v časovni enoti pa so slabše. Zveza je manj izrazita. Vzrok za to je v dejstvu, da povečana hitrost zaradi močnejše obremenitve motorja (dodajanje plina) poveča porabo goriva v časovni enoti. Hitrost vožnje pa naraste lahko tudi zaradi zmanjšanja uporov pri vožnji. Vzrok za to sta npr. manjši vzpon ali celo padec in manjši tovor. Tu lahko dosežemo večjo hitrost celo ob manjši obremenitvi motorja in s tem manjši porabi goriva. Primer za to je enačba za listavce.

Porabo goriva za 1 m^4 prevoženega tovora (1 m^3 na 1 m razdalje) v mL/m^4 kaže enačba

$$E_{S_3} = 2,24 - 0,0152 v_2; \quad I = 0,39$$

Enačba izhaja iz skupne obdelave podatkov za iglavce in listavce.

Porabo goriva pri vlačanju (za prazno in polno vožnjo) v odvisnosti od povprečne hitrosti (v) nam podajajo regresijske enačbe

$$E_S = 7,80 - 0,053 v; \text{ mL}/\text{m}; \quad I = 0,69$$

$$E_t = 101,93 + 0,409 v; \text{ mL}/\text{min}; \quad I = 0,26$$

$$E_3 = 3,13 - 0,018 v; \text{ mL}/\text{m}^4; \quad I = 0,31$$

Pri obravnavi regresijskih enačb o odvisnosti porabe goriva od hitrosti vožnje moramo upoštevati razmere, iz katerih izhajajo podatki. Zlasti to velja, če presojava in primerjamo podatke za iglavce in listavce.

4.2.3. Vpliv traktorja in traktorista na porabo goriva

Podobno kot smo ugotavljali vpliv traktoristov na hitrost vožnje, smo poskušali ugotoviti tudi njihov vpliv na porabo goriva. V ta namen smo v diagramih 5—7 porabo goriva posameznega voznika in traktorja (polna črta) primerjali s porabo

„povprečnega voznika“ v okoliščinah posamezne vlake (delovišča). To smo naredili tako, da smo v povprečno regresijsko enačbo za delovišča 2, 3 in 4, ki kaže zvezo porabe goriva od razdalje, naklona vlake in velikosti bremena, vnesli povprečne vrednosti posamezne vlake: njen naklon in velikost bremena. Tako smo dobili porabo goriva na posamezni vlaki, če bi po njej vozil „povprečni traktorist“ (črtkane črte). To smo primerjali z dejansko porabo posameznega voznika (regresija za posamezno vlako). Primerjava kaže naslednje:

Na diagramu 5 smo primerjali porabo goriva pri prazni vožnji

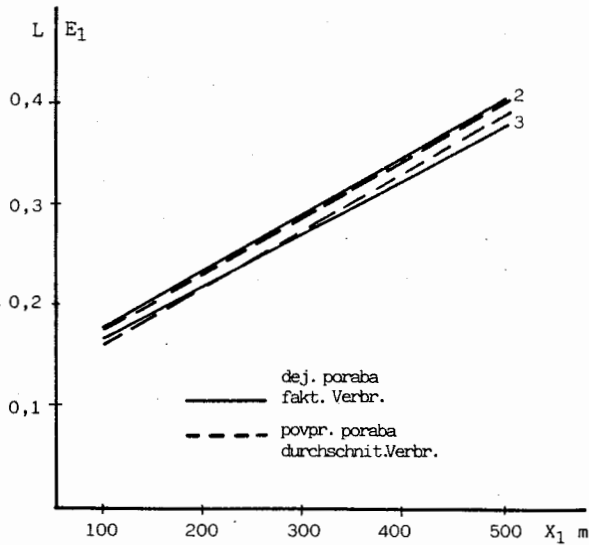


Diagram 5 PORABA GORIVA PRI PRAZNI VOŽNJI
Brennstoffverbrauch bei der Leerfahrt

Odtod lahko sklepamo:

1. Razlika v porabi goriva med obravnavanimi vlakami (delovišči) je majhna. Narisali smo le obe skrajnosti. Vlaka 4 pride vmes.
2. Poraba posameznega traktorista se neznatno razlikuje od povprečne porabe. Razlike so tako majhne, da jih na diagramu težko predstavimo v takem merilu. Praktično jih pri obravnavanih vlakah lahko zanemarimo.
3. Navedeno velja le za obravnavane okoliščine, ki se le malo razlikujejo. Razlike so pri bolj različnih vlakah (ekstremnih) gotovo večje. Domnevamo, da je tam pomemben tudi vpliv traktorista.

Porabo goriva pri polni vožnji smo primerjali na diagramu 6.

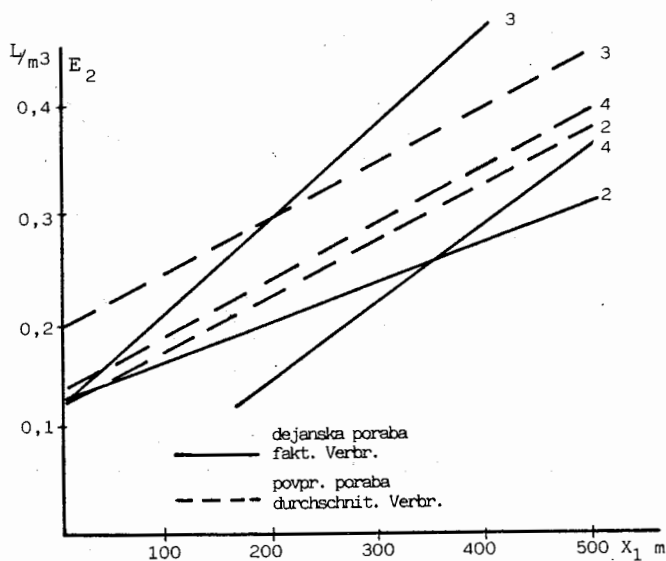


Diagram 6 PORABA GORIVA PRI POLNI VOŽNJI (vL/m^3)
Brennstoffverbrauch bei der Vollfahrt

Primerjali smo porabo vL za $1 m^3$ pri vlačanju oblovine iglavcev v lubju. Iz diagrama lahko ugotovimo:

4. Razlike med posameznimi vlakami so velike. Njihove vzroke bomo podrobneje obravnavali pozneje.
5. Velike so tudi razlike med posameznimi vozniki. Voznika 2 in 4 vozita bolj varčno; poraba pri njiju je mnogo nižja od „povprečja“. Voznik 2 porabi v povprečju (pri povprečni razdalji) okoli 15%, voznik 4 pa celo 18% goriva manj, kot bi ga porabil „povprečni voznik“. Voznik 3 pa porabi okoli 3% več goriva od povprečja.

Za prakso so najpomembnejša dognanja o porabi goriva pri vlačanju (prazni in polni vožnji skupaj). Prikazujemo jih na diagramu 7. Razmere so podobne kot na diagramu 6. Veljajo tudi ugotovitve diagrama 6 (točka 4 in 5).

Na koncu poglavja o vplivu traktorista na porabo goriva lahko ugotovimo: traktorist s svojim načinom vožnje, ki se kaže zlasti v različnih hitrostih kot posledica različnega obremenjevanja stroja in občutljivosti traktorista, bistveno vpliva na porabo goriva pri spravilu lesa. Zaradi tega vpliva razlike v porabi goriva med posameznimi vozniki presegajo 20%.

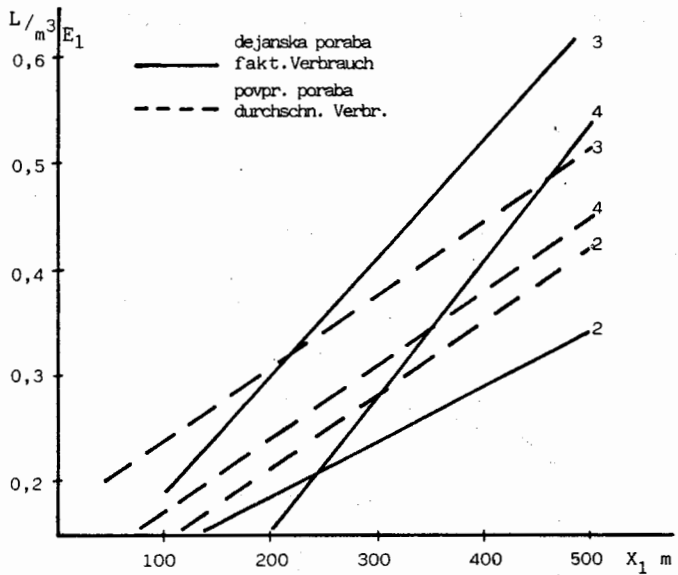


Diagram 7 PORABA GORIVA PRI VLAČENJU (v L/m^3)
 Brennstoffverbrauch bei der Rückung (in l/m^3)

4.3. Vpliv delovnih pogojev na porabo goriva pri spravilu lesa

Vpliv delovnih pogojev na porabo goriva pri spravilu lesa bomo obdelali v dveh delih. V prvem bomo obravnavali porabo goriva pri vlačanju, v drugem pa pri zbiranju in rampanju sortimentov.

4.3.1. Poraba goriva pri vlačanju sortimentov

4.3.1.1. Poraba goriva pri prazni vožnji

Z obdelavo podatkov merjenja smo ugotovili, da na porabo goriva (E_1) pri prazni vožnji vplivata razdalja spravila (X_1) in nagib vlake (X_2). Medsebojne zveze podaja regresijska enačba:

$$E_1 = 0,00012 X_1^{0,5678} X_2^{2,5012}; R = 0,79$$

Op. X_2 = „zenitna razdalja“ v smeri polne vožnje

E_1 = poraba goriva v mL

Razdalja spravila in nagib vlake („zenitna razdalja“) pojasnita 62% vse variabilnosti porabe goriva pri prazni vožnji.

Z razdaljo narašča poraba goriva. Parcialni korelacijski koeficient je $r_{EX_1 \cdot X_2} = 0,66$, kar kaže, da razdalja spravila najmočneje vpliva na porabo goriva. Poraba narašča tudi z naraščanjem vzpona ali zmanjšanjem padca v smeri prazne vožnje. Parcialni korelacijski koeficient je $r_{EX_2 \cdot X_1} = 0,50$. Relativno naraščanje porabe goriva s spreminjanjem naklona vlake je prikazano v preglednici 7.

Preglednica 7: Vpliv naklona na porabo goriva pri prazni vožnji

Tabelle 7: *Einfluss der Neigung des Rückweges auf den Brennstoffverbrauch bei der Leerfahrt*

Zenitna razdalja X_2 %	Naklon — Neigung v smeri		$X_2^{2,5012}$	Relativno naraščanje porabe goriva Index 100 Relatives Wach- stum das B.S.V.
Zenit Enfernung	polne vožnje %	prazne vožnje %		
	<i>Vollfahrt</i>	<i>in Richtung Leerfahrt</i>		
80	+20	-20	57545,1	57,2
85	+15	-15	66967,3	66,6
90	+10	-10	77259,4	76,8
95	+5	-5	88446,8	88,0
100	0	0	100554,2	100
105	-5	+5	113605,3	113,0
110	-10	+10	127623,7	126,9
115	-15	+15	142632,2	141,8
120	-20	+20	158652,9	157,8

Opomba: Naklon vlake smo podali v treh različnih enotah, da bi se čitalec lahko znašel. Drugod bomo prodajali le v zenitni razdalji.

Bemerkung: *Naigung des Rückweges ist in drei verschiedenen Einheiten angegeben um dem Leser die Auffassung zu leichtern. Anderswo wird nur in der Zenitentfernung angegeben.*

Iz preglednice 7 vidimo, da naklon vlake bistveno vpliva na porabo goriva pri prazni vožnji. V primerjavi z vožnjo po vlaki brez naklona vsak % večji padec vlake zmanjšuje porabo goriva za okoli 2%. Z naraščanjem vzpona narašča poraba progresivno. Vsak % večji vzpon vlake povzroča za 2,5—3% večjo porabo goriva pri prazni vožnji.

Prvi člen enačbe kaže, da narašča poraba goriva z razdaljo regresivno. Tako (komplicirano) obliko regresijske enačbe smo izbrali zaradi ugotavljanja dejanskega vpli-

va naklona vlake, ki je v faktorijalni zvezi. Za praktično rabo je taka enačba manj uporabna. Zato smo izračunali tudi navadno (linearno) zvezo med razdaljo spravila in porabo goriva. Ta zveza je pri vlaki brez naklona ($X_2 = 100$)

$$E_1 = 1,251 + 0,6734 X_1; \text{ v mL}; \quad I = 0,82$$

Korelacija je razmeroma tesna. Zveza pojasni 67% variabilnosti porabe goriva pri prazni vožnji. Kaže, da za vsak m prazne vožnje porabi traktor na ravni vlaki v povprečju 0,67 mL goriva.

Raziskovali smo tudi porabo goriva v časovni enoti (L/min) pri prazni vožnji. Analize kažejo, da ta poraba zelo variira. Koefficient variacije $KV = 0,2-0,6$. Nismo pa mogli ugotoviti zanesljivih vzrokov za tako variabilnost. Pri obravnavi vseh proučevanih dejavnikov se je izkazal vpliv dolžine in naklona vlake na porabo goriva v časovni enoti kot neznačilen. Če smo posebej analizirali vlake, po katerih smo spravljali iglavce, smo ugotovili majhen vpliv naklona vlake. Korelacija je sicer zelo zanesljiva, toda zelo ohlapna ($I = 0,2$). Kaže, da z naraščanjem vzpona narašča tudi poraba goriva v časovni enoti. Vsak % večji vzpon poveča porabo v minuti za 1,3 mL. Na vlakah, kjer so spravljali listavce, se je pokazal zelo značilen vpliv razdalje spravila ($I = 0,65$). Poraba goriva v časovni enoti narašča z razdaljo vlačjenja. Poraba narašča degresivno.

4.3.1.2. Poraba goriva pri polni vožnji

Pri polni vožnji smo ugotavljali vpliv razdalje vlačjenja naklona vlake, velikosti bremena in drevesne vrste na porabo goriva. Medsebojne odvisnosti obravnavanih dejavnikov nam podajata regresijski enačbi.

za iglavce:

$$E_2 = 5430 X_1^{0,6348} X_2^{-2,8229} T_2^{0,5258}; \quad R = 0,789$$

za listavce:

$$E_2 = 0,40672 \cdot 10^{13} X_1^{1,061} X_2^{-7,6727} T_2^{0,5651}; \quad R = 0,861$$

E_2 = poraba goriva v L za breme.

Parcialni korelacijski koeficienti kažejo, da je poraba goriva najbolj odvisna od razdalje ($r_{G_2 X_1 \cdot X_2 T_2} = 0,75$). Močan vpliv ima tudi naklon ($r_{G_2 X_2 \cdot X_1 T_2} = -0,40$ pri iglavcih in $-0,82$ pri listavcih). Znatno vpliv pa ima tudi velikost bremena ($r_{G_2 T_2 \cdot X_1 X_2} = 0,5$).

Porabo goriva za breme 2,5 m³ oblovine iglavcev v odvisnosti od razdalje spravila in nagiba vlake prikazujemo v gornjem delu preglednice 8. Podoben prikaz za listavce (breme 2 m³) pa je podan v spodnjem delu iste razpredelnice. Grafično je to prikazano na diagramu 8.

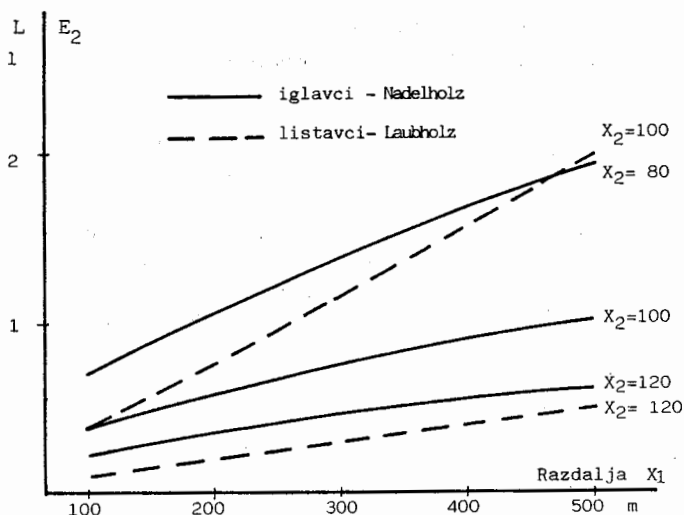


Diagram 8 PORABA GORIVA ZA BREME (igl. 2,5 m³, list. 2,0 m³) PRI POLNI VOŽNJI
Brennstoffverbrauch nach der Holzlast
(Nadelholz 2,5 m³, Laubholz 2 m³)

V preglednici 8 in diagramu 8 vidimo, da obravnavani dejavniki močno vplivajo na porabo goriva. Poraba goriva hitro narašča z razdaljo. Vsak % večji vzpon poveča porabo goriva za 2—5%. Poraba goriva za breme narašča pri listavcih znatno hitreje kot pri iglavcih.

Pri listavcih je poraba znatno večja kot pri iglavcih. Tudi spremembe porabe goriva zaradi spreminjanja naklonov in razdalj so drugačne. Razlike so večje, kot bi jih človek pričakoval. Pri tem moramo upoštevati, da razlike v porabi goriva med listavci in iglavci v naši tabeli ne odražajo le razlike zaradi različne gostote lesa ali kakovosti površine. Odražajo tudi razlike v velikosti kosov, obliki oblovine, kakovosti vlake (blatna pri listavcih) in končno tudi traktorja in traktorista. Samo tako lahko pojasnimo razmeroma velike razlike.

Porabo goriva (E_2) za 1 m³ (v mL) privlečenih sortimentov v odvisnosti od razdalje vlačanja in naklona vlake kažeta regresijski enačbi:

$$\text{za iglavce:} \\ \log E_2 = 6,7981 + 0,6132 \log x_1 - 4,4302 \log x_2; \quad R = 0,739$$

$$\text{za listavce:} \\ \log E_2 = 14,166 + 1,147 \log x_1 - 8,612 \log x_2; \quad R = 0,874$$

Preglednica 8: Poraba goriva za polno vožnjo

Tabelle 8: *Brennstoffverbrauch bei der Vollfahrt*

Razdalja vlačena X ₁ m <i>Schlepp- entfernung</i>	Naklon vlake (X ₂) % <i>Neigung des Rückeweges</i>				
	80	90	100	110	120
poraba goriva mL za breme <i>Brennstoffverbrauch mL für Last</i>					
iglavci — <i>Nadlhölzer</i>					
100	694	498	370	283	221
200	1078	773	574	439	344
300	1394	1000	742	567	445
400	1673	1200	891	681	534
500	1928	1383	1027	785	615
600	2164	1552	1153	881	690
700	2387	1712	1271	972	761
listavci — <i>Laubhölzer</i>					
100			360	173	89
200			751	361	185
300			1154	555	285
400			1566	753	387
500			1984	954	490

Opomba: Pri iglavcih so podatki za breme 2,5 m³ oblovine v lubju, pri listavcih pa za breme 2 m³ oblovine.

Bemerkung: Bei dem Nadelholz sind die Angaben für die Last von 2,5 m³ Rundholz in Rinde, bei dem Laubholz aber für die Last vom 2 m³ Rundholz.

Izračunane vrednosti iz gornjih ali prejšnjih (za breme) enačb se nekoliko razlikujejo. Korelacijski koeficienti kažejo, da je pri iglavcih nekoliko zanesljivejši račun porabe goriva za breme, pri listavcih pa za 1 m³ sortimentov.

Povprečna poraba goriva v časovni enoti (L/h — razpredelnici 2 in 5) kaže sicer manjšo porabo pri listavcih (delovišče 1 in 5). Če pa to porabo preračunamo na enake delovne pogoje, je poraba goriva v časovni enoti pri vlačanju listavcev večja za okoli 30%. To kaže, da je stroj pri spravlilu listavcev bolj obremenjen.

Ugotovitve kažejo, da na porabo goriva v časovni enoti vplivajo vse obravnavane količine. Poraba hitro narašča z večjo strmino in počasi z večjim bremenom. Izračunamo jo lahko z regresijsko enačbo

$$E_{tz} = \frac{66804 \cdot T_2^{0,1202}}{X_2^{2,8607}} ; (L/h); \quad R = 0,69$$

Prikaz na diagramu 9 kaže, da z večjim vzponom narašča poraba goriva v časovni enoti progresivno. Pri vzponu 20% je 3,2 krat večja kot pri padcu 20%.

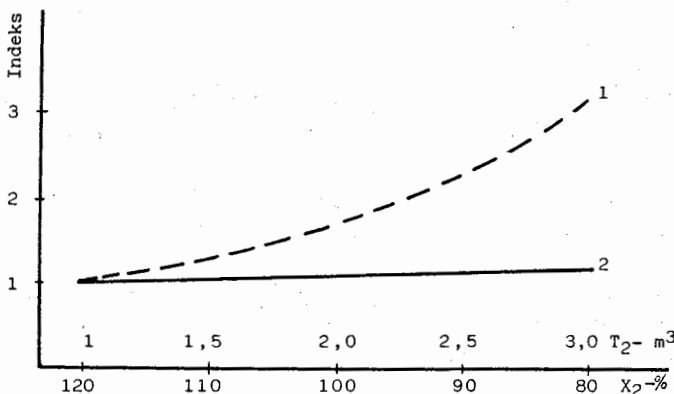


Diagram 9 VPLIV NAKLONA VLAKE (1) IN VELIKOSTI BREMENA (2) NA PORABO GORIVA V ČASOVNI ENOTI PRI POLNI VOŽNJI
Einfluss der Neigung des Rückeweges (1) und der Lastgrösse (2) auf den Brennstoffverbrauch in der Zeiteinheit bei der Vollfahrt

Večje breme povzroča tudi večjo porabo. Vpliv ni velik. Pričakovali bi večjega. Tako majhen vpliv pojasnimo le z dejstvom, da traktorist prilagaja velikost bremena naklonu vlake in tako zmanjšuje njegov vpliv na obremenitev traktorja in s tem tudi na porabo goriva v časovni enoti.

4.3.1.3. Poraba goriva pri vlačanju

Z vlačanjem označujemo prazno in polno vožnjo skupaj.

Proučevali smo vpliv razdalje vlačanja, naklona vlake, velikosti bremena in drevesne vrste na porabo goriva pri vlačanju.

Regresijska enačba, ki kaže zvezo obravnavanih dejavnikov je za iglavce:

$$E_v = \frac{36\,652,2 X_1^{1,5641} T_2^{0,3957}}{X_2^{1,5856}}; \quad (v \text{ mL/breme}); \quad R = 0,801$$

Najtesnejša zveza je med porabo goriva in razdaljo vlačanja (X_1). Kaže jo parcialni korelacijski koeficient, ki je visok ($r_{EX_1 \cdot X_2 T_2} = 0,76$). Na porabo goriva zelo vpliva tudi naklon vlake ($r_{EX_2 \cdot X_1 T_2} = -0,27$) in velikost bremena ($r_{ET_2 \cdot X_1 X_2} = 0,41$).

Zvezo pri listavcih kaže regresijska enačba:

$$G_v = \frac{4335100 X_1^{0,9781} T_2^{0,4084}}{X_2^{3,0192}}; \quad (v \text{ mL/breme}); \quad R = 0,836$$

Tudi tu najbolj vpliva razdalja ($r_{EX_1 \cdot X_2 T_2} = 0,81$). Velik pa je tudi vpliv naklona vlake ($r_{EX_2 \cdot X_1 T_2} = -0,61$) in velikosti bremena ($r_{ET_2 \cdot X_1 X_2} = 0,54$).

Z obravnavanimi dejavniki smo pri listavcih pojasnili 70% vse variabilnosti porabe goriva. Pri iglavcih pa smo pojasnili 64% variabilnosti.

Poraba goriva (v mL) za vlačenje bremena (2,5 m³ iglavcev oziroma 2,0 m³ listavcev) v odvisnosti od razdalje vlačjenja in naklona vlake je razvidna v razpredelnici 9 in grafično prikazana na diagramu 10.

Preglednica 9: Poraba goriva pri vlačanju

Tabelle 9: *Brennstoffverbrauch bei der Rückung*

Razdalja vlačanja X ₁ m <i>Rückungs- entfernung</i>	Naklon vlake (X ₂) % <i>Neigung des Rückeweges</i>				
	80	90	100	110	120
	poraba goriva mL za breme <i>Brennstoffverbrauch mL für Last</i>				
	iglavci — <i>Nadlhölzer</i>				
100	778	646	546	470	409
200	1174	974	824	709	617
300	1493	1239	1048	902	785
400	1771	1470	1244	1069	932
500	2022	1678	1420	1221	1063
600	2253	1870	1582	1360	1185
700	2468	2049	1733	1491	1298
	listavci — <i>Laubhölzer</i>				
100		655	476	357	275
200		1290	938	704	541
300		1919	1395	1046	805
400		2542	1848	1387	1067
500		3162	2300	1725	1327
600		3779	2749	2062	1586
700		4395	3196	2397	1844

Velikost bremena vpliva na porabo goriva manj od razdalje vlačénja ali naklona vlake. Za $0,5 \text{ m}^3$ večje ali manjše breme poveča oziroma zmanjša porabo goriva pri iglavcih za okoli 7—8%, pri listavcih pa za 9—11%.

Porabo goriva (e v mL) za vlačénje 1 m^3 sortimentov lahko ocenimo z regresijskima enačbama:

za iglavce:

$$\log e_v = 8,4680 + 0,566 \log X_1 - 3,634 \log X_2; \quad R = 0,711$$

$$\text{ali } e_v = 1399,78 + 0,695 X_1 - 11,96 X_2; \quad R = 0,55$$

za listavce pa:

$$\log e_v = 8,755 + 1,095 \log X_1 - 4,297 \log X_2; \quad R = 0,810$$

$$\text{ali } e_v = 45377 + 3,815 X_1 - 793,2 X_2 + 3,39 X_2^2; \quad R = 0,92$$

Navedli smo tudi preprostejše enačbe. O uporabnosti (zanesljivosti) posamezne enačbe lahko sklepamo iz korelacijskega koeficienta.

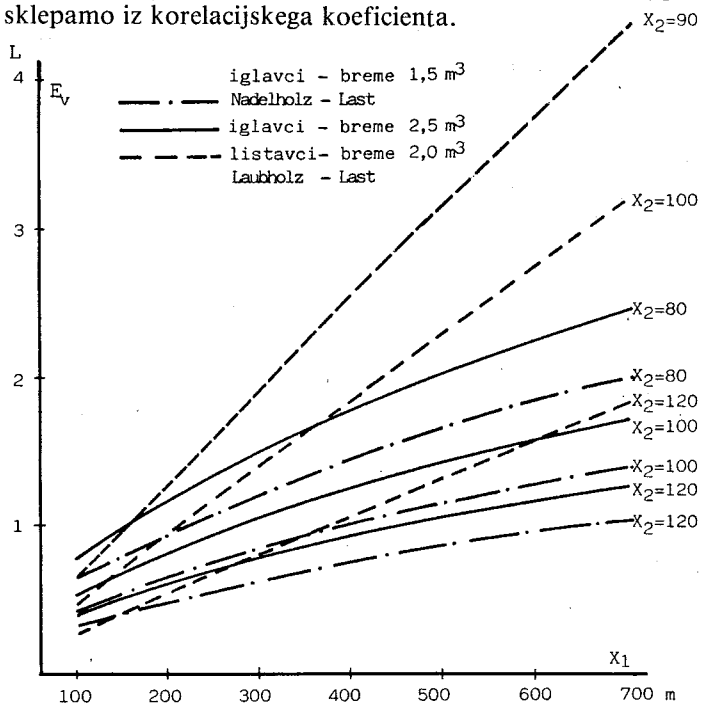


Diagram 10 PORABA GORIVA ZA VLAČENJE BREMENA (igl. $2,5 \text{ m}^3$, list. $2,0 \text{ m}^3$) V ODVISNOSTI OD NAKLONA VLAKE

Brennstoffverbrauch bei der Rückung der Last (Nadelholz $2,5 \text{ m}^3$, Laubholz 2 m^3) in Abhängigkeit von der Neigung des Rückeweges

Tudi pri vlačanju goriva smo ugotavljali porabo goriva v časovni enoti in dejavnike, ki vplivajo nanjo. Pri iglavcih smo ugotovili le vpliv naklona vlake. Pri listavcih pa na porabo goriva v časovni enoti vpliva naklon vlake, razdalja vlačanja in velikost bremena. Vse količine delujejo progresivno. Vsak % večji vzpon v smeri vlačanja poveča porabo goriva v časovni enoti za 1,5—2% pri iglavcih in 2—2,5% pri listavcih.

Velikost bremena deluje podobno kot pri polni vožnji. Za 0,5 m³ večje ali manjše breme poveča oziroma zmanjša porabo goriva v časovni enoti za 2—5%.

4.3.2. Poraba goriva pri zbiranju in rampanju

Povprečja porabljenega goriva za različne enote dela so za vsako delovišče prikazana v preglednici 4. Tam je razvidna velika pestrost povprečij, ki izhajajo iz pestrosti okoliščin dela in „grobosti“ merjenja porabe goriva, ko nismo mogli izmeriti porabe goriva pri zelo kratkih opravilih, kar smo že omenili. Pestrost porabe goriva povečuje tudi to, da nekateri traktoristi pri razvlačevanju vrvi in vezanju bremena ugasnejo motor, drugi ga pa pustijo teči v prostem teku. Snemali smo vse čase, pri računanju porabe na časovno enoto pa upoštevali le čas, ko je motor tekel — obratovalni čas.

Regresijska in korelacijska obdelava podatkov snemanja je pokazala zelo majhne (nizke) korelacije. Ponekod sploh nismo ugotovili vpliva posameznih dejavnikov, ki smo jih po logični presoji pričakovali. Zato so za uporabnika koristni podatki o povprečjih. Podajamo jih v preglednici 10. Tu so zbrana povprečja za delovišča 1 in 5, kjer so spravljali listavce in za te tudi veljajo. Na deloviščih 2, 3 in 4 so spravljali iglavce. Zato povprečja teh delovišč veljajo za iglavce.

Podatki v preglednici kažejo, da za zbiranje in rampanje 1 m³ listavcev porabimo ok. 80% več obratovalnega časa kot pri iglavcih. Vzrok za to je drobnejši les pri listavcih.

Pri listavcih porabimo tudi več goriva. Poraba goriva, preračunana na časovno enoto ali na kos, je pri listavcih le neznatno višja od iglavcev. Če pa porabo preračunamo za 1 m³ ali za 1 m⁴ pa vidimo, da je pri listavcih še enkrat večja ali pa celo več.

Poraba goriva pri rampanju je za okoli 40—45% manjša kot pri zbiranju.

Povprečja porabe goriva so različno zanesljiva. Koefficient variacije (KV) je pri porabi na časovno enoto okoli 0,5, pri porabi za kos je KV okoli 0,6, pri porabi za 1 m³ okoli 0,8—0,9. Najmanj zanesljivo je povprečje za porabo preračunano na 1 m³. Tu je KV okoli 1,50.

Pri analizi porabe goriva pri zbiranju in rampanju smo ugotovili značilne vplive naslednjih dejavnikov.

Preglednica 10: Poraba goriva pri zbiranju in rampanju po drevesnih vrstah

Tabelle 10: Brennstoffverbrauch bei der Sammlung und Rampung nah den Baumarten

Opravilo <i>Arbeitsart</i>	Drevesna vrsta <i>Baumart</i>	Obrato- valni čas <i>Betriebszeit</i> min/m ³	Poraba goriva za — Brennstoffverbrauch für			
			mL/min	mL/m ³	mL/kos	mL/m ⁴
Zbiranje <i>Sammlung</i>	iglavci	2,10	29,90	62,85	35,92	5,19
	<i>Nadlholz</i>					
	listavci	3,79	30,70	116,34	36,05	10,77
	<i>Laubholz</i> skupaj <i>Zusammen</i>	2,42	30,14	72,98	36,30	6,18
Rampanje <i>Rampung</i>	iglavci	0,92	34,70	31,81	18,18	—
	<i>Nadlholz</i>					
	listavci	1,79	44,17	79,03	24,49	—
	<i>Laubholz</i> skupaj <i>Zusammen</i>	1,10	37,67	40,75	20,27	—
Zbiranje in rampanje <i>Samml. und</i> <i>ramp.</i>	iglavci	3,02	31,35	94,66	54,10	7,82
	<i>Nadlholz</i>					
	listavci	5,58	35,02	195,37	60,54	18,09
	<i>Laubholz</i> skupaj <i>Zusammen</i>	3,50	32,46	113,74	56,57	9,61

4.3.2.1. Dejavniki, ki vplivajo na porabo goriva pri zbiranju lesa

Najbolj zanesljivo zvezo smo ugotovili med porabo goriva pri zbiranju za celo breme ($E_z - v L$) in trajanjem tega dela ($y_z = v$ obr. min). Podajajo jo regresijske enačbe:

iglavci	$E_z = 0,0587 + 0,0192 y_z;$	$I = 0,52$
listavci	$E_z = 0,1461 + 0,0150 y_z;$	$I = 0,52$
skupaj	$E_z = 0,0691 + 0,0191 y_z;$	$I = 0,59$

Indeksi korelacije (I) kažejo, da je ta zveza razmeroma ohlapna. Uporabna je le, če poznamo obratovalni čas zbiranja. Ta pa je spremenljiv in odvisen od veliko vplivov. Naša raziskava je pokazala, da ga lahko izračunamo z naslednjimi regresijskimi enačbami:

iglavci	$y_z = -1,29 \pm 0,15 X_4 + 0,59 T_1 + 0,86 T_2;$	$R = 0,66$
listavci	$y_z = 10,35 - 0,09 X_5 + 1,05 T_1;$	$R = 0,60$
skupaj	$y_z = 1,85 + 0,10 X_4 - 0,04 X_5 + 1,00 T_1 + 0,86 T_2;$	$R = 0,66$

Znaki pomenijo:

X_4 = razdalja zbiranja v m

X_5 = zenitna razdalja (naklon) zbiranja v %

T_1 = število kosov v bremenu

T_2 = velikost bremena v m^3

Neposredni vpliv na porabo goriva pri zbiranju smo ugotovili za vse obravnavane vplivne dejavnike, le da za vsakega v drugačni zvezi. Zato tu ne bomo navajali regresijskih enačb, pri katerih je korelacija zelo nizka (okoli 0,30—0,40). Kljub temu, da so regresijski koeficienti zelo značilni (zelo majhno tveganje).

Od obravnavanih dejavnikov na porabo goriva najmočneje vpliva število kosov v bremenu. Vsak kos poveča porabo za 20,1 mL pri bremenu oziroma 7,75 mL na $1 m^3$ bremena.

Z razdaljo privlačenja (X_4) raste poraba goriva za breme. Za vsak m povečane razdalje naraste poraba goriva za okoli 3 mL za breme. Vpliva tudi nagib privlačenja. Večja strmina za 1% pomeni večjo porabo za okoli 2,1 mL pri bremenu.

Vsi zgoraj navedeni podatki so razmeroma nenatančni, služijo lahko za uporabo le kot povprečje, ko računamo za večje količine, za povprečne pogoje dela. Ne moremo pa jih uporabiti v posameznih opredeljenih okoliščinah, zlasti če gre za ekstremne razmere.

4.3.2.2. Dejavniki, ki vplivajo na porabo goriva pri rampanju

Tudi pri rampanju je zanesljivost povprečij porabe goriva razmeroma majhna. Poraba goriva pri rampanju $1 m^3$ sortimentov se zato hitro spreminja. Odvisna je od časa rampanja. Na tega pa vpliva prostor rampanja, to je širina ceste, količina sortimentov v kupu, kakovost (gladkost površine) prostora ipd. Vsi ti dejavniki se pojavljajo kot slučajne spremenljivke. Zaradi razmeroma kratkotrajnega opravila so velike relativne razlike v trajanju opravila in porabi goriva.

Vpliv omenjenih, nemerjenih dejavnikov, je tako velik, da je prekril vpliv razlik v velikosti bremena in različnega števila kosov v bremenu.

Zato kaže v praksi rabiti le povprečja porabe goriva, ki so podana v razpredelnici.

4.3.2.3. Dejavniki, ki vplivajo na porabo goriva pri zbiranju in rampanju

Zbiranje in rampanje velikokrat obravnavamo skupaj, kot opravili pri spravi lesa, katerih trajanje ni odvisno od pravilne razdalje. Zato času zbiranja in rampanja pravimo tudi konstantni čas spravi. Zato smo tudi v tej raziskavi proučili porabo goriva za skupno opravilo zbiranja in rampanja. Z analizo smo ugotovili značilni vpliv istih dejavnikov kot pri zbiranju, le da so stopnje korelacije še nižje.

Porabo goriva (Ekt) v 1 obratovalni minuti zbiranja in rampanja nam (v mL/min) kažejo naslednje regresijske enačbe:

$$\begin{array}{ll} \text{iglavci} & \text{Ekt} = 48,1 - 3,14T_1; & I = 0,30 \\ \text{listavci} & \text{Ekt} = 60,9 - 2,84T_1; & I = 0,52 \end{array}$$

Vidimo, da je korelacija šibka. Z večanjem števila kosov v bremenu (pri drobnejšem lesu) je poraba goriva v časovni enoti manjša. To kaže, da je traktor pri zbiranju in rampanju v drobnejšem lesu manj obremenjen, oziroma da motor obratuje manj intenzivno.

Ko smo proučevali porabo goriva pri zbiranju in rampanju za 1 m³ sortimentov (Ek m³), nismo mogli ugotoviti značilnega vpliva razdalje zbiranja in števila kosov v bremenu.

Porabo goriva pri zbiranju in rampanju za celotno breme (Ek — v L za breme) podajajo enačbe:

$$\begin{array}{ll} \text{iglavci} & \text{Ek} = 0,0389 + 0,00201X_5 + 0,0346T_2; & R = 0,36 \\ \text{listavci} & \text{Ek} = 0,8356 - 0,00336X_5; & I = 0,42 \\ \text{skupaj} & \text{Ek} = 0,1729 - 0,0058X_4 + 0,0362T_1; & R = 0,49 \end{array}$$

V vseh enačbah je parcialna korelacija z bremenom (število kosov T₁, ali velikostjo bremena v m³ — T₂) večja — okoli 0,40 kot z razdaljo privlačenja (X₄) ali nagibom terena, kjer je okoli 0,20.

Ugotovimo lahko, da na porabo goriva pri zbiranju in rampanju vplivajo vsi proučevani vplivni dejavniki. Porabo povečuje razdalja zbiranja, drobnejši les in večja strmina na sečišču. Povečujejo jo tudi pogoji rampanja. Veliko drugih vplivov pa deluje kot slučajne spremenljivke. Njihov vpliv je relativno močan. Prav tako je veliko interakcij. Vse to otežuje ugotavljanje vpliva proučevanih dejavnikov, ker zamagljuje njihov vpliv.

5. POVZETEK IN UGOTOVITVE

Spravilo gozdnih lesnih sortimentov (spravilo lesa) je energetske najpotratnejša faza gozdne proizvodnje. Poraba energije je zlasti velika, če računamo porabo energije za enoto opravljenega dela (m³ km, ton km, m⁴) pri spravilu lesa.

Porabo goriva pri spravilu lesa smo do sedaj ugotavljali na osnovi raznih evidenc:

1. Strojnih listov, v katere je traktorist beležil količino porabljenega goriva in količino opravljenega dela.

2. Na osnovi evidence obratovnega knjigovodstva o porabi goriva in opravljenega dela pri spravilu lesa.

Tako smo dobili dokaj zanesljive podatke o sumarni in povprečni porabi goriva za enoto spravila (n.pr. l/m³) ali za enoto časa (l/delovni dan, l/norma uro ipd.) za gozdni obrat ali celo gozdno gospodarstvo. Pomanjkljivosti takih podatkov je, poleg njihove nepodrobnosti v tem, da nam ne dajejo informacij o dejavnikih, ki vplivajo na porabo goriva. Nimamo informacij o načinu in moči (jakosti, intenzivnosti) njihovega delovanja.

S to raziskavo smo želeli dobiti prav te informacije za spravilo lesa s prilagojenimi velikoserijskimi traktorji IMT 560 in IMT 567. Ugotavljali smo porabo goriva pri posamezni dejavnosti (operaciji) spravila lesa. Merili smo dejavnike, ki nanje vplivajo in ugotavljali njihove medsebojne zveze.

Porabo goriva smo proučevali na 6 deloviščih, kjer do delali 4 traktoristi s 4 različnimi traktorji. Skupno smo posneli 215 ciklusov spravila: 61 s traktorji IMT 560 in 154 s traktorji IMT 567. Spravljali so oblovino iglavcev v lubju in listavce, na različnih vlakah tako po dolžini (od 50 do 887 m), naklonu (od -25 do +13%) in kakovosti vlake (suha, blatna, snežena). Razlikovala so se tudi bremena: po velikosti (od 2,22 m³ do 3,56 m³), številu kosov v bremenu (od 4 do 10 kosov) in debelini kosov (od 0,27 m³/kos do 0,73 m³/kos).

Terenska snemanja smo izvedli od poletja (julij) 1985 do pomladi (april) 1987.

Pri snemanju porabe goriva smo snemali delovni proces, kot je običajno pri proučevanju dela. Merili smo:

1. Porabo časa ločeno za vsako dejavnost (operacijo) in vse zastoje. Čas smo merili s kronometri po ničelni metodi. Ločeno smo merili obratovalni čas, ko je motor obratoval, in ločeno čase, ko je motor miroval.
2. Količino opravljenega dela. Ugotavljali smo velikost in sestavo vsakega bremena, razdaljo zbiranja in razdaljo vlačjenja po vlaki.
3. Ugotavljali smo okoliščine, v katerih so delali. Merili smo vzpone vlake (risali vzdolžni profil) in privlačevanje. Izražali smo jih z zenitno razdaljo (X_2). To smo računali takole:

$$X_2 = 100 - i$$

Poleg merjenih dejavnikov smo opisno ugotavljali kakovost vlake in sestoja.

Na snemalni list smo beležili tudi podatke o stroju in delavcu.

Porabo goriva smo merili z merilno napravo KIENZLE, ki kaže kumulativno porabo goriva na 0,1 l natančno. Proizvajalec naprave jamči natančnost merjenja do napake $\pm 2\%$. Porabo je snemalec odčitaval na koncu vsakega delovnega elementa.

Snemala sta dva snemalca. Prvi je meril časovne vrednosti in porabo goriva. Drugi je meril količine spravljenih sortimentov, naklone in označeval razdalje. Skupno sta po končanem spravlilu izmerila vzdolžni profil vlake.

Podatke terenskega snemanja smo obdelali po poznanih načelih. Obdelava nam je omogočila naslednje ugotovitve:

1. Poraba goriva je zelo različna. Razlikuje se po deloviščih, opravljenih, strojih in traktoristih. Razlike so nekajkratne, kar pomeni, da je v primerih z največjo porabo goriva ta dva do trikrat večja od primerov z najmanjšo porabo. Ta ugotovitev velja tako za porabo goriva v časovni enoti (l/h) kot tudi za porabo goriva na enoto opravljenega dela (l/m^3 , l/m, l/m^4).
2. Razlike v porabi goriva nastajajo kot posledica delovanja vseh dejavnikov, ki so:
 - voznik (traktorist),
 - stroj (traktor),
 - delovne okoliščine.

Ugotavljanje vpliva posameznega dejavnika je težavno opravilo, ker prihaja do interakcij posameznih dejavnikov. Zlasti je težko ločiti vpliv voznika in stroja, ker smo proučevali normalno delo, kjer je nek traktor vedno vozil isti traktorist.

3. O vplivu stroja (traktorja) na porabo goriva smo sklepali iz grafikonov značilnosti posameznega motorja. Nastali so v tovarni pri preizkušanju motorjev na delovni mizi. Od tod lahko sklepamo, da so razlike v porabi goriva med posameznimi traktorji tudi do 10%. Nastajajo kot posledica različne izdelave, nastavitve in izrabljenosti oziroma stopnje vzdrževanosti motorja in celega traktorja.
4. Voznik (traktorist) vpliva na porabo goriva s svojo tehniko vožnje in svojo vzdržljivostjo oziroma (ne)občutljivostjo na sunke pri vožnji po neravni vlaki. Zato se tehnika vožnje kaže tudi v različnih hitrostih, ki jih posamezen traktorist dosega na določeni vlaki v opredeljenih okoliščinah dela.

Raziskava kaže, da se dosežene hitrosti posameznih traktoristov v enakih delovnih okoliščinah znatno razlikujejo. Razlike so zlasti pri prazni vožnji, ko je v stroju veliko rezerve. Pri polni vožnji so stroji bolj obremenjeni, rezerve moči so manjše. Kljub temu so tudi tu razlike v hitrostih med posameznimi traktoristi precejšnje.

5. Raziskava kaže velik vpliv hitrosti vožnje na porabo goriva, tako za enoto opravljenega dela (prevožene poti) kot tudi na porabo v časovni enoti. Kot posled-

dica različnih hitrosti vožnje posameznih traktoristov je poraba goriva pri posameznem traktorju različna. Razlike pri prazni vožnji so manjše, pri polni vožnji pa posamezen voznik porabi celo do 18% več goriva kot je povprečna poraba.

6. Na porabo goriva najbolj vplivajo okoliščine, v katerih spravljamo les. Pri vlačanju so to zlasti razdalja vlačjenja, naklon vlake in velikost bremena. Ti trije dejavniki so v tesni korelaciji s porabo goriva. Poraba goriva pri prazni vožnji narašča z razdaljo degresivno, z večjim vzponom pa progresivno. Pri vzponu 20% je poraba goriva za isto razdaljo skoraj trikrat večja kot pri padcu 20% in 58% večja, kot pri vožnji po vlaki brez vzpona. Poraba goriva v časovni enoti pri prazni vožnji zelo variira. Tu nismo mogli ugotoviti značilnih vplivov posameznih dejavnikov. Sklepamo lahko, da poraba goriva v časovni enoti narašča s strmino vlake in razdaljo vožnje.

Korelacija med porabo goriva in obravnavanimi dejavniki je zlasti velika pri polni vožnji. Tu z merjenimi dejavniki (razdalja, naklon, breme) pojasnimo 60—80% razlik v porabi goriva. Poraba goriva narašča z razdaljo skoraj premo sorazmerno, z vzponom pa močno progresivno. Narašča tudi z večjim bremenom, in sicer degresivno. Vpliva tudi drevesna vrsta. Pri spravilu listavcev je poraba do 50% večja kot pri spravilu iglavcev.

Pri polni vožnji smo ugotovili zelo močan vpliv naklona vlake in velikosti bremena na porabo goriva v časovni enoti.

Z večjim bremenom narašča poraba počasneje in degresivno, z večjo strmino pa zelo hitro in progresivno.

Pri vlačanju (prazni in polni vožnji) so ugotovitve zelo podobne tistim pri polni vožnji. Poveča se vpliv razdalje, zmanjša pa vpliv naklona vlake in velikosti bremena. Skupni vpliv obravnavanih dejavnikov je zelo značilen. Pojasnjuje 65—70% variance porabe goriva.

7. Zbiranje in rampanje sta delovna postopka, na katera vpliva veliko dejavnikov. Pri snemanju jih merimo le nekaj (razdaljo in naklon zbiranja, velikost bremena, število kosov v bremenu in velikost kosov v bremenu). Drugih ne kontroliramo (kakovost podlage in sestoja pri zbiranju ter velikost in kakovost rampnega prostora pri rampanju). Čeprav so zelo vplivni, se pojavljajo kot slučajne spremenljivke. To zamegljuje vpliv kontroliranih (merjenih) dejavnikov. Zato so tudi ugotovitve o vplivu merjenih dejavnikov na porabo goriva pri zbiranju in rampanju bolj skope.

Za rampanje in zbiranje smo ugotovili povprečno porabo goriva za posamezno drevesno vrsto in različne enote dela. Povprečja so dovolj zanesljiva in točna.

Pri zbiranju smo ugotovili značilno korelacijo le med porabo goriva in časom zbiranja. Z daljšim časom narašča poraba goriva. Na čas zbiranja pa vpliva razdalja privlačevanja, strmina zbiranja, velikost bremena in število kosov v bremenu. Vsi naštetih dejavniki delujejo premosorazmerno. Zato lahko sklepamo, da enako vplivajo tudi na porabo goriva pri zbiranju.

Pri rampanju nismo mogli ugotoviti nobene značilne zveze.

Pri skupni obravnavi zbiranja in rampanja smo ugotovili značilni vpliv razdalje zbiranja, velikosti bremena in števila kosov v bremenu ter strmine zbiranja na porabo goriva. Vse merjene količine delujejo premosorazmerno. Korelacije so sicer značilne, toda zelo ohlapne. Multipli korelacijski koeficienti so okoli 0,4 do 0,5.

Pri porabi goriva pri zbiranju in rampanju v časovni enoti smo ugotovili značilni vpliv števila kosov v bremenu. Poraba goriva v časovni enoti je obratnosorazmerna številu kosov v bremenu. To kaže, da je obratovanje stroja pri zbiranju in rampanju drobnega lesa manj intenzivno. Več obratuje v praznem teku ali pa celo stoji. Korelacije so zelo značilne, toda ohlapne ($r = 0,3$ do $0,5$).

6. ZUSAMMENFASSUNG UND BESCHLÜSE

Die Rückung der Forstholzsortimente (Holzrückung) ist energetisch die verschwendungssüchtigste Phase der Forstwirtschaftsproduktion. Der Energieverbrauch ist besonders gross, wenn man ihn auf die Einheit der verrichteten Arbeit ($m^3 km$, $Tonkm$, m^4) bei der Holzrückung berechnet.

Den Brennstoffverbrauch bei der Holzrückung hat man bisher auf Grund verschiedener Evidenzen festgestellt:

1. Nach den Maschinenevidenzblättern, in die der Schlepperfahrer die Menge des verbrauchten Brennstoffes und die Menge der verrichteten Arbeit eingetragen hat.
2. Nach der Evidenz der Betriebsbuchführung über den Brennstoffverbrauch und der verrichteten Arbeit bei der Holzrückung.

Auf diese Weise haben wir ziemlich zuverlässige Angaben vom gesamten und durchschnittlichen Brennstoffverbrauch für die Rückungsmengeneinheit (z.B. L/m^3) oder für die Rückungszeiteinheit (L) Arbeitstag, $L/Arbeitsnormstunde$, u.ä.) für den Forstbetrieb oder für das ganze Forstwirtschaftsunternehmen bekommen. Der Nachteil solcher Angaben liegt aber, darin daß sie uns weder Details nach Informationen über die Tätigkeitsfaktoren, die den Brennstoffverbrauch beeinflussen, ge-

ben und auch keine Informationen über die Art und Kraft (Stärke, Intensität) ihrer Wirkung bieten.

Durch diese Untersuchung hat man gerade diese Informationen über die Holzrückung mit den angepassten Grosserien-Schleppern IMT 560 und IMT 567 zu bekommen gewünscht. Dabei haben wir den Brennstoffverbrauch bei einzelner Tätigkeit (Operation) der Holzrückung festgestellt. Gemessen wurden die Tätigkeitsfaktoren, die diesen Verbrauch beeinflussen und ihre gegenseitigen Verbindungen oder Beziehungen wurden gestellt.

Der Brennstoffverbrauch wurde in 6 Arbeitsorten, wo 4 Schlepperfahrer arbeiteten, erforscht. Im Ganzen wurden 215 Zykusse der Holzrückung aufgenommen: 61 mit den Schleppern IMT 560 und 154 mit den Schleppern IMT 567. Das Nadelrundholz in Rinde und das Laubrundholz auf verschiedenen Rückungswegen gerückt wurde sowohl nach deren Länge (von 50 bis 887 m). Neigung (von minus 25 bis plus 13%) wie auch nach den Qualität der Rückwege (trocken, kotig, schneeig). Auch die Unterschiede der Holzlasten wurden festgestellt: nach der Gröse (von 2,22 bis 3,56 m³), nach der Stückzahl in der Last (von 4 bis 10 Stück) und nach der Stärke einzelner Stücke (von 0.27 bis 0.73 m³/Stück).

Die auswärtigen Aufnahmen auf dem Gelände wurden vom Sommer (Juli) 1985 bis zum Frühling (April) 1987 durchgeführt.

Bei der Aufnahme des Brennstoffverbrauchs wurde der Arbeitsvorgang wie gewöhnlich bei den Arbeitsuntersuchungen, aufgenommen. Gemessen wurden:

1. Der Zeitverbrauch, getrennt für jede Tätigkeit (Operation) und für alle Stockungen. Die Zeit wurde mit den Chronometern nach der Null-Methode gemessen. Getrennt wurde die Betriebszeit mit dem laufenden Motor und (getrennt) die Leerzeit mit dem Motor im Stillstand, gemessen.
2. Die Menge der verrichteten Arbeit: Dabei wurde die Gröse und die Zusammensetzung jeden Last, die Sammlungsentfernung und die Rückungsentfernung auf dem Rückwege festgestellt.
3. Die Arbeitsumstände dieser Operationen. Es wurden die Steigungen der Rückwege (aufgezeichnet der Längsprofil) und der Holzsammlung, gemessen. Diese wurden mit der Zenitentfernung (X_2) ausgedrückt und folgenderweise gerechnet:

$$X_2 = 100 - i$$

Neben des gemessen Tätigkeitsfaktoren hat man die Qualität des Rückweges und des Forststandes schriftlich dargestellt.

Auf dem Aufnahmeblatt wurden auch die Maschinen- und Arbeiterangaben notiert.

Der Brennstoffverbrauch wurde mit der KIENZLE-Meesvorrichtung gemessen. Diese zeigt den betreffenden kumulativen Verbrauch auf 0,1 L genau. Der Erzeuger dieser Apparatur garantiert die Meesgenauigkeit bis zum Fehler $\pm 2\%$. Der Verbrauch wurde am Ende jedes Arbeits — elementes abgelesen und notiert.

Die Messungen haben zwei Aufnahmearbeiter durchgeführt. Der erste hat die Zeitwerte und den Brennstoffverbrauch, der zweite aber die Menge der gerückten Holzsortimente, die Rückungsneigungen und die Entfernungen, gemessen. Beide haben am Ende der Holzrückung den Längsprofil des Rückweges ausgemessen.

Die Angaben der beschriebenen Arbeitsaufnahmen wurden verarbeitet und nach den bekannten Prinzipien ausgewertet. Das hat uns folgende Feststellungen ermöglicht:

1. Der Brennstoffverbrauch ist sehr verschieden. Es unterscheidet sich nach Arbeitssorten, Arbeitsarten, Maschinen und Schlepperfahrern. Die Unterschiede sind mehrmalig. Das heisst, dass im Fall des grössten Brennstoffverbrauches, dieser zwei bis dreimal grösser ist, als der kleinste Verbrauch. Diese Feststellung gilt sowohl für den Brennstoffverbrauch in der Zeiteinheit (L/h) als auch für den Verbrauch auf die Einheit der verrichteten Arbeit (L/m³, L/m, L/m⁴).
2. Die Unterschiede beim Brennstoffverbrauch entstehen als Folge der Wirkung aller einflussreichen Tätigkeitsfaktoren und zwar:
 - Schlepperfahrer,
 - Maschine (Schlepper),
 - Arbeitsumstände.

Die Feststellung des Einflusses eines einzelnen Tätigkeitsfaktoren ist eine schwierige Aufgabe, weil man mit den Interaktionen verschiedener Tätigkeitsfaktoren zu rechnen hat. Besonders ist es schwer den Einfluss des Fahrers von demjenigen der Maschine zu unterscheiden, weil man eine tätägliche Arbeit erforscht hat, wobei derselbe Fahrer immer der selben Schlepper gefahren hat.

3. Vom Einfluss des Schleppers auf den Brennstoffverbrauch hat man Beschlüsse aus den Charakteristik-Graphikonen einzelner Motoren gezogen. Diese entstanden in der Fabrik auf dem Prüfungstisch des Erzeugers. Daraus kann man einen Beschluss ziehen, dass die Unterschiede beim Brennstoffverbrauch zwischen einzelnen Schleppern auch bis 10% betragen. Sie entstehen als Folge verschiedener Konstruktionssorten, Anstellungen und Abnützungen, beziehungsweise der Verpflegung des Motors und des Schleppers als die Ganzheit.
4. Der Schlepperfahrer beeinflusst den Brennstoffverbrauch mit seiner Fahrtechnik und mit seiner Durchhaltung, beziehungsweise Unempfindlichkeit oder Empfindlichkeit auf die Stösse bei der Fahrt auf unebenen Rückewegen. Deshalb

zeigt sich die Fahrtechnik der Fahrer auch bei verschiedenen Geschwindigkeiten, die der einzelne Fahrer auf bestimmten Rückwegen, bei bestimmten Arbeitsumständen erreicht. Die Untersuchung zeigt, dass die erzielten Geschwindigkeiten einzelner Schlepperfahrer, bei gleichen Arbeitsumständen ziemlich unterscheiden. Diese Unterschiede zeigen sich als besonders gross bei der Leerfahrt, als in der Maschine noch grosse Kraftreserven liegen. Bei der Vollfahrt sind die Maschinen mehr belastet und die Kraftreserven geringer. Trotzdem sind auch hier die Geschwindigkeitsunterschiede zwischen den einzelnen Schlepperfahrern beträchtlich.

5. Die Untersuchung zeigt grossen Einfluss der Fahrgeschwindigkeit auf den Brennstoffverbrauch so in der Einheit der verrichteten Arbeit (des zurückgelegten Weges), wie auch auf den Verbrauch in der Zeiteinheit. Als Folge verschiedener Fahrgeschwindigkeiten zeigt sich verschiedener Brennstoffverbrauch einzelner Schlepper. Die Unterschiede bei der Leerfahrt sind kleiner, bei der Vollfahrt aber verbraucht einzelner Fahrer sogar bis 18% mehr Brennstoff als der durchschnittliche Verbrauch beträgt.
6. Die Arbeitsumstände der Holzrückung beeinflussen den Brennstoffverbrauch am meisten. Dabei sind besonders Rückeentfernung, die Neigung des Rückeweges und die Holzlastgrösse massgebend. Diese drei Tätigkeitsfaktoren sind in enger Korrelation mit dem Brennstoffverbrauch. Bei der Leerfahrt wächst dieser Verbrauch mit der Entfernung degressiv, mit grösserer Steigung aber progressiv. Bei einer 20% Steigung ist der Brennstoffverbrauch bei gleicher Entfernung fast dreimal grösser als beim 20% Gefälle und 58% grösser als bei der Fahrt auf dem Rückewege ohne Steigung. Der Verbrauch bei der Leerfahrt variiert sehr bezüglich auf die Zeiteinheit. Hier konnten man charakteristische Einflüsse einzelner Tätigkeitsfaktoren nicht feststellen. Es lässt sich nur der Schluss ziehen, dass der Brennstoffverbrauch in der Zeiteinheit mit der Steigung und Entfernung des Rückeweges steigt. Die Korrelation zwischen dem Brennstoffverbrauch und den behandelten Tätigkeitsfaktoren ist besonders gross bei der Vollfahrt. Dabei kann man mit den gemessenen Faktoren (Entfernung, Neigung, Last) 60 bis 80% der Differenzen erklären. Der Brennstoffverbrauch steigt mit der Entfernung fast proportional, mit der Steigung jedoch sehr progressiv. Er steigt auch mit der Lastgrösse und zwar degressiv. Auch die Baumart hat ihren Einfluss darauf. Bei der Holzrückung des Laubholzes ist der Verbrauch bis zu 50% grösser als bei der Rückung des Nadelholzes.

Bei der Vollfahrt hat man einen grossen Einfluss der Rückewegssteigung und der Holzlastgrösse auf den Brennstoffverbrauch in der Zeiteinheit festgestellt. Mit grösserer Last wächst der Verbrauch langsamer und degressiv, mit grösserer Steigung aber sehr schnell und progressiv.

Bei der Rückung (Leer- und Vollfahrt zusammen gefasst) sind die Feststellungen sehr ähnlich jenen bei der Vollfahrt. Es vergrössert sich der Einfluss der Entfer-

nung, vermindert aber der Einfluss der Neigung und der Lastgrösse. Der gemeinsame Einfluss der behandelten Tätigkeitsfaktoren ist sehr charakteristisch. Er erklärt 65—70% der Varianz des Brennstoffverbrauches.

7. Die Sammlung und Rampung sind Arbeitsverfahren, worauf viele Tätigkeitsfaktoren ihren Einfluss haben. Bei der Untersuchungsaufnahme werden nur einige davon gemessen (Entfernung und Neigung der Sammlung, Lastgrösse, Stückzahl und Stückstärke in der Last). Die anderen werden nicht kontrolliert (die Qualität der Untergrund des Forstbestandes, wo die Sammlung verläuft und die Grösse und Qualität des Rampungsplatzes). Obwohl ihr Einfluss sehr gross ist kommen sie nur als zufällige Unterschiedlichkeiten vor. Das vernebelt den Einfluss der kontrollierten (gemessenen) Tätigkeitsfaktoren. Deshalb sind auch die Feststellungen vom Einfluss gemessener Tätigkeitsfaktoren auf den Brennstoffverbrauch bei der Sammlung und Rampung sehr gering.

Für die Rampung und Sammlung haben wir den durchschnittlichen Brennstoffverbrauch für einzelne Baumarten und verschiedene Arbeitseinheiten, festgestellt. Die Durchschnittswerte sind verlässlich und genau genug.

Bei der Sammlung haben wir eine charakteristische Korrelation nur zwischen dem Brennstoffverbrauch und der Sammlungszeit festgestellt. Mit längerer Zeit wächst der Brennstoffverbrauch. Auf die Sammlungszeit wirken aber die Entfernung und Steilheit der Sammlung, Holzlastgrösse und die Stückzahl in der Last. Alle aufgezählten Tätigkeitsfaktoren wirken direkt proportional. Demzufolge kann man beschliessen, dass die bei der Sammlung gleichermassen auch den Brennstoffverbrauch beeinflussen.

Bei der Rampung konnte man keine charakteristischen Verbindungen feststellen.

Bei der gemeinsamen Behandlung der Sammlung und Rampung, hat man den charakteristischen Einfluss der Sammlungsentfernung, der Lastgrösse und der Stückzahl in der Last, wie auch die Sammlungssteilheit auf den Brennstoffverbrauch festgestellt. Alle ausgemessenen Mengen wirken direkt proportional. Die Korrelationen sind zwar charakteristisch, aber sehr locker. Die multiplen Korrelationskoeffizienten betragen rund 0,4 bis 0,5.

Bei der Sammlung und Rampung hat man den charakteristischen Einfluss der Stückzahl auf den Brennstoffverbrauch in der Zeiteinheit festgestellt. Der Brennstoffverbrauch in der Zeiteinheit ist umgekehrt proportional der Stückzahl in der Last. Dies zeigt, dass der Maschinenbetrieb bei der Sammlung und Rampung des schwachen Rundholzes wenig intensiv ist. Die Maschine läuft nämlich lange Zeit im Leerlauf, oder steht sogar. Die Korrelationen sind charakteristisch, aber locker ($r = 0,3$ bis $0,5$).

7. LITERATURA

1. FURLAN, F., 1987. Razvoj spravila lesa in proizvodnost prilagojenih traktorjev na TOZD gozdarstvo Snežnik, GV 45 (1987), s. 223.
2. KRIVEC, A., 1979. Proučevanje traktorskega spravila lesa, Strokovna in znanstvena dela št. 65, Ljubljana 1979.
3. KURE, J., 1987. Poraba goriva pri prevozu gozdnih sortimentov, GV 45 (1987), s. 120.
4. MAASS, H., 1983. Studie über den Einfluss der Getriebeabstufung der Drehmomenten, Kennlinie und des Kraftstoffverbrauchskennfeldes eines Motors auf den Steckenverbrauch eines Fahrzeugs in Verbindung mit der Streckenführung und der Fahrweise des Fahrers, Suvremeni promet 5 (1983), s. 182—190, Zagreb.
5. MAROLD, B., 1983. Tehnika uporavljanja motornim vozilima u cestovnom prometu, zbornik referata, Opatija 1983.
6. REBULA, E., 1984. Spravilo lesa z zgibniki LKT v Sloveniji, Ljubljana 1984.
7. REBULA, R., 1985. Gorivo in mazivo pri sečnji in izdelavi gozdnih sortimentov, BF VTOZD za gozdarstvo, Ljubljana 1985, 43 s.
8. REBULA, E., 1987. Fahrtechnik und Kraftstoffverbrauch bei der Holzabfuhr, University of Helsinki, Research Notes No. 49, Vortragssammlung, Helsinki 1987.
9. VENGUST, F., 1985. Analiza porabe goriva in maziva pri GG Postojna v letih 1982 in 1983, GV 43 (1985), s. 130.