

DJELOTVORNOST STROJNE SJEČE I IZRADE U SASTOJINAMA TVRDIH I MEKIH LISTAČA – 2. DIO: DJELOTVORNOST HARVESTERA U KULTURI MEKIH LISTAČA

EFFICIENCY OF MECHANICAL FELLING AND PROCESSING IN SOFT AND HARDWOOD BROADLEAVED STANDS – PART 2: EFFICIENCY OF HARVESTERS IN THE CULTURE OF SOFT BROADLEAF TREES

Ante P. B. KR PAN*, Tomislav PORŠINSKY**

SAŽETAK: U radu su prikazani rezultati istraživanja strojne sječe i izradbe harvesterom Timberjack 1270B u 23-godišnjoj vrbovoj kulturi. Obujam srednjeg sječnog stabla iznosio je $0,5 \text{ m}^3$, a prsni promjer 25 cm. Sječna gustoća iznosila je 633 stabala po ha. Gusti sloj grmlja čine sremza, bazga, svib i trušljika. Praćenje je rada harvestera trajalo ukupno 6 radnih dana (54,11 h), za koje je vrijeme posječeno 1825 stabala, odnosno izrađeno $949,1 \text{ m}^3$ oblovine.

Srednji je promjer tehničke oblovine 29 cm, duljina 4,5 m i obujam $0,30 \text{ m}^3$. Srednji je promjer celuloznog drva 17 cm, srednja duljina 4 m te srednji obujam $0,11 \text{ m}^3$. Računalni sustav Timberjack 3000 je prije početka rada umjeren. U njega su unešene zadane minimalne dimenzije (promjer na tanjem kraju s korom i duljina) pilanske oblovine I klase (27 cm, 2,5 m), pilanske oblovine II klase (22 cm, 2,5 m) te celuloznoga drva (7 cm, 4 m). Rezultati su potvrdili da dimenzije izrađenih sortimenata ne odstupaju od zadanih vrijednosti.

Studijem vremena utvrđena su opća vremena u visini od 52,7 %, i efektivno vrijeme u visini od 47,3 % ukupno snimljenoga vremena. Uz takav je omjer vremena harvester ostvario učinak od $17,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ili 34 stabla/h, trošeći ukupno $3,42 \text{ min}/\text{m}^3$. Prosječni je utrošak efektivnoga vremena $1,62 \text{ min}/\text{m}^3$. Sječa i izradba čini 66,1 %, prazni hod hidraulične dizalice 17,8 %, čišćenje grmlja 12,8 %, a premještanje harvestera u sječini 3,3 % efektivnoga vremena. Dodatno je vrijeme iznosilo 30,9 % efektivnoga vremena.

Vrijednosti su norme vremena i proizvodnosti harvestera istražene regresijskom analizom i izjednačene eksponencijalnom krivuljom uz vrlo jaku korelaciju, pri čemu je utvrđeno da se 84 % varijabilnosti proizvodnosti i norme vremena pojašnjava utjecajem prsnog promjera stabla.

Ključne riječi: strojna sječa, Timberjack 1270B, čista sječa kulture vrba, djelotvornost

1. UVOD – Introduction

U prvoj je objavi raspravljena uvodna tema o općim načelima uporabe harvestera, tehničkim i tehnološkim značajkama uz prinos rezultata ankete o strojnoj sječi, koja je provedena među stručnim osobljem trgovačkog društva Hrvatske šume d.o.o. Zagreb, po-

najprije onima koji se bave problematikom pridobivanja drva. U ovom broju Šumarskoga lista donosi se drugi po redu članak od predviđenih pet, koji su tematski povezani sa strojnom sječom i izradbom bjelog-

* Prof. dr. sc. Ante P. B. Krpan

** Mr. sc. Tomislav Poršinsky

Zavod za iskorištavanje šuma, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb
ante.krpan@zg.tel.hr
porsinsky@hrast.sumfak.hr

ričnih vrsta drva harvesterom Timberjack 1270B. Članak je posvećen proučavanju strojne sječe i izradbe stabala 23 – godišnje kulture bijele vrbe i crne johe, koja je posječena čistom sječom.

Na proizvodnost harvestera uglavnom će utjecati uvjeti i metoda rada, uvježbanost operatora i konačni proizvod. Sječna gustoća u slučaju čiste sječe pogoduje djelotvornosti harvestera za razliku od proreda, u kojima je sječna gustoća znatno manja (Peltola i Papunen 2001). Isti autori upućuju na jednostavnost matematike rada harvesterom (u proredama četinjača): ukoliko se želi smanjiti jedinični trošak, nužno je povećati proizvodnost stroja po pogonskom satu (*productive hour*) ili smanjiti trošak po pogonskom satu. U oba slučaja, pri čistoj sječi i proredi, na proizvodnost harvestera snažno će utjecati obujam stabla. Analizom utroška vremena za stabla prsnih promjera od 10 cm do 45 cm,

Peltola i Papunen (2001) zaključuju da se s povećanjem prsnoga promjera stabla obujam stabala u odnosu na stablo prsnoga promjera od 10 cm povećava u znatno većem postotku nego vrijeme sječe i izradbe, koje ostaje u uskom rasponu. To naravno utječe na utrošak vremena po jedinici obujma krupnijih stabala.

Otežavajuće su okolnosti pri strojnoj sječi i izradbi vrbovih stabala razvijene krošnje s debljim granama ili s pojedinačnim debljim granama, koje zahtijevaju premještanje sječne glave iznad grane ili ponavljanja posmika stabla kroz sječnu glavu. Daljnja je otežavajuća okolnost djelomično isključivanje automatike, odnosno uključivanje operatora pri krojenju i trupljenju I. i II. klase pilanskih trupaca. Iz navedenoga se vidi da će na strojnu sječnu vrbovih stabala djelovati čimbenici koji utječu na povećanje proizvodnosti, ali i oni suprotnoga djelovanja.

2. TEHNIČKE ZNAČAJKE HARVESTERA TIMBERJACK 1270B

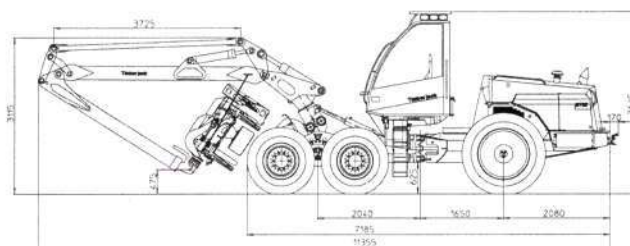
Technical features of Timberjack 1270B Harvester

Jednozahvatni harvester Timberjack 1270B, šesterokotačno je vozilo (6 WD) s bogi sustavom na prednjoj osovini. Harvester 1270B je veliki harvester (duljina 7,2 m, širina 2,86 m, masa 16 t) širokoga raspona primjene.

Osnovne su tehničke značajke harvestera Timberjack 1270B:

- ⇒ Masa neopterećenog vozila je 16350 kg.
- ⇒ Dimenzije harvestera su dane u skici koju prikazuje slika 2.
- ⇒ Motor Perkins 1306-8T1 vodom je hlađeni linijski šesterocilindarski Dieslov motor s prednabijanjem, stapajna obujma 7600 cm³, nazivne snage 152 kW (206 KS) pri frekvenciji vrtnje 1800 min⁻¹ te najvećega momenta od 847 Nm (1600 min⁻¹).
- ⇒ Prosječna potrošnja goriva iznosi 13,2 L/pogonskom satu rada (KWF 1997). Zapremina spremnika goriva je 465 L.

- ⇒ Transmisija je hidrostatsko-mehanička, sa sporim i brzim hodom, koja omogućuje pokretanje i promjenu brzine kretanja vozila bez prekida tijekom zakretnog momenta. Mehanički se diferencijali uključuju hidraulički, a u brzom hodu temeljni je pogon na stražnjim kotačima, prednji most uključuje se po potrebi automatski. U bogiju je zupčanička transmisija. Najveća je obodna sila vozila 150 kN. Brzina kretanja vozila po šumskom bespuću iznosi do 7 km/h, a po izgrađenim transportnim sustavima doseže do 25 km/h.



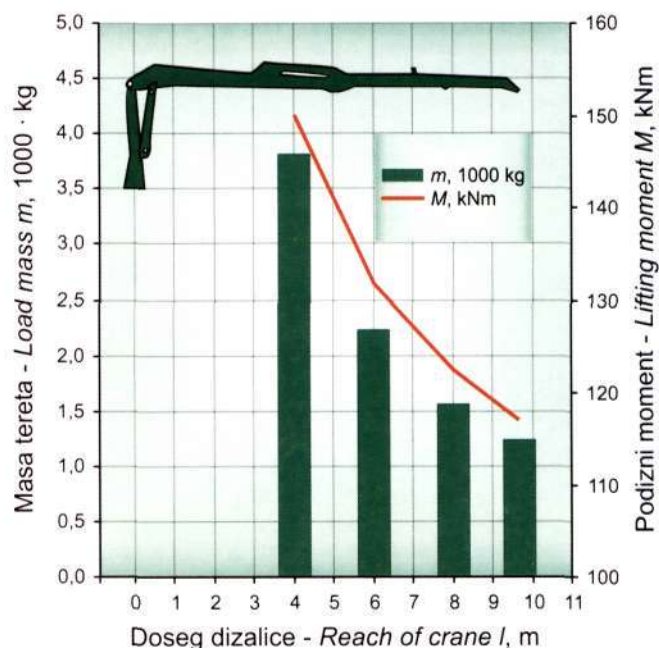
Slika 2. Osnovne dimenzije
Fig. 2 Basic dimensions



Slika 1. Harvester Timberjack 1270B
Fig. 1 Timberjack 1270B

- ⇒ Upravljanje je zglobo s najvećim kutom od $\pm 40^\circ$, proporcijom tehnikom. Vanjski radijus okretanja od 14,4 m, klirens od 0,65 m te mogućnost savladavanja prepreka visine do 1,1 m omogućuju vozilu veliku kretnost pri radu u šumi.
- ⇒ Hidraulički je sustav s radnim tlakom od 24 MPa. Radna hidraulika ima protok od 288 L/min pri 1800 min⁻¹. Spremnik ulja sadrži 190 L.
- ⇒ Paralelna hidraulička dizalica je model TJ 200 H 97, na kojoj je ugrađena sječna glava. Dizalica ima de-

klarirani podizni moment od 168 kNm te zakretni moment od 43,6 kNm s najvećim dosegom od 10 m. Kut zakretanja dizalice iznosi 195°, a zahvatni kut sječne glave od -15° do +30°.



Slika 3. Dijagram nosivosti dizalice TJ 200H97

Fig. 3 Lifting moment of TJ 200H97 Loader

- ⇒ Gume prednje su dimenzija 700/50 – 26,5, a stražnje 700/55 – 34. Pri korištenju guma ove širine pritisak vozila na tlo iznosi 61 kPa (KWF 1997).
- ⇒ Upravljanje se i kontrola rada harvesterom izvodi preko dva sustava. Timberjackov TMC (*Total Machine Control*) brine se za pouzdano i optimalno upravljanje pogonskim motorom, transmisijom, radom dizalice te stabilnošću vozila. Računalni sus-

tav Timberjack 3000 kontrolira rad sječne glave, izmjeru stabla, donošenje odluke o mjestu trupljenja u svrhu polučanja najveće financijske iskoristivosti debla, odnosno o izradi sortimentata zadanih dimenzija te pohranjuje podatke o izrađenoj oblovinu. Podaci se o izrađenim sortimentima mogu isprintati na pisaču, prenijeti u obliku datoteke na osobno računalo ili poslati korisniku e-mailom.

- ⇒ Sječna glava Waratah HTH 470-HD ima širok raspon primjene, od proreda do dovršnih sječa. Masa sječne glave iznosi 1080 kg, a najveći sječni promjer 65 cm. Posmik stabla kroz sječnu glavu ostvaruju četiri čelična valjka, sa silom od 24,5 kN uz posmičnu brzinu do 4,7 m/s. Kresanje grana obavljaju tri pokretna te dva fiksna noža. Vodilica lančane pile dugačka je 70 cm, a brzina kretanja lanca je 40 m/s. Zapremina spremnika za ulje iznosi 12 L. Timberjack 1270B optimalno koristi modele originalnih Timberjackovih sječnih glava: 745, 746C, 755B, 762C.
- ⇒ Električni je sustav napona 24 V, s kapacitetom akumulatora 2x140 Ah. Alternator napaja sustav s naponom 28 V, odnosno strujom 140 A. Radnu rasvjetu čini 16 Twin-Power farova te 4 halogenska svjetla na dizalici, koja osiguravaju svjetlost od 30 luxa, potrebnih za nesmetan rad harvestera u gus-toj šumi, odnosno po noći ili oblačnom vremenu.
- ⇒ Kočnice su hidraulički upravljane, uljne s disk djelovanjem na oba mosta.
- ⇒ Kabina je lagana, komforna s dobrim pregledom, za koju proizvođač navodi da je u skladu s međunarodnim normama ISO (ROPS, FOPS, OPS, BC). Pri ispitivanju ergonomske značajke kabine izmjerena je buka od 73 dB (filter A) i utvrđen odnos između vršne i prosječne razine vibracija u iznosu od 7,8 (KWF 1997).

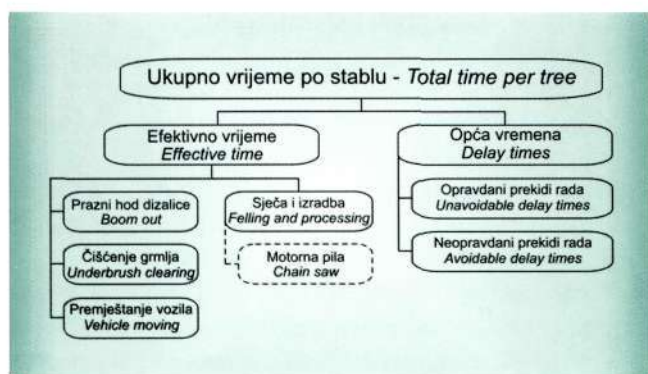
3. METODA ISTRAŽIVANJA – Method of research

Spoznaje o proučavanju strojne sječe harvesterom temeljile su se na stranim stručnim i znanstvenim objavama te određenim vlastitim iskustvima stečenim pri kratkoročnom proučavanju rada harvestera Timberjack 1070B, u kulturi običnoga bora na području UŠP Ogulin (Krpan i Poršinsky 2002). Odabir metode olakšan je dubokim poznavanjem vrijednosti uporabe studija rada i vremena pri istraživanju radova pridobivanja drva, koji su u okviru zagrebačkog Šumarskog fakulteta i današnjega Zavoda za iskorištavanje šuma proučavani u proteklom desetljećima (ručno – strojna sječa i izradba, privlačenje drva po tlu traktorima, izvoženje forvarderima i traktorima s (polu)prikolicom, iznošenje žičarama, daljinski transport drva kamionima). Pri tome je potrebno naglasiti da se zagrebačka škola proučavanja radova u šumarstvu naslanja na nje-

mačku školu, čiji je osnivač u godinama nakon Prvoga svjetskoga rata bio H. H. Hilf te na skandinavsku školu, koju razvijaju Sammsset i slijedbenici.

Proučavanje rada zasniva se na studiju rada i vremena i studiju toka rada. Osnova je studija rada i vremena rasčlamba radnoga procesa ili faze rada na sastavnice što kraćega vremenskoga trajanja, koje se još uvijek mogu točno izmjeriti. O tome piše i Barnes (1964), navodeći da će se određeni rad upravo na taj način najbolje opisati.

Pri istraživanju strojne sječe i izradbe vrbovih stabala harvesterom, primijenjen je studij rada i vremena. Vrijeme sječe i izradbe drva podijeljeno je na radne sastavnice (slika 4) s unaprijed odabranim fiksaznim točkama. Utrošci vremena trajanja radnih sastavnica,



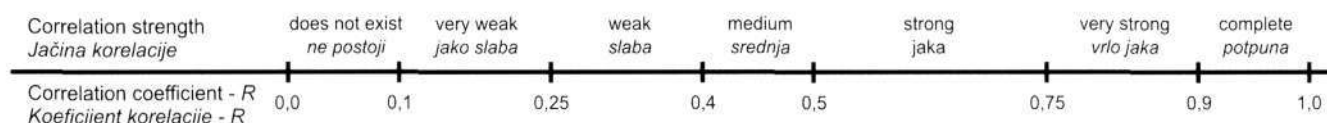
Slika 4. Radne sastavnice

Fig. 4 Working components

kao glavni podaci u studiju vremena, snimani su povratnom metodom kronometrije uz snimku radnoga dana. Ova je metoda u stručnim krugovima dovoljno poznata te ju nećemo posebno opisivati. Podaci su o dimenzijama posječenih stabala i izrađenih sortimenata prikupljeni ispisom iz računala harvestera (slika 5).

Terenski mjerni podaci prenijeti su iz snimačkih listova u računalne datoteke radi lakše dostupnosti pri obradi podataka. Obradom je snimljenih podataka obuhvaćena kontrola i odabir podataka, razvrstavanje snimljenih vremena te izračunavanje ostvarenih radnih učinaka. Matematičko-statistička obrada podataka obavljena je uz pomoć osobnog računala, primjenom programskih paketa Microsoft Excel 97 i Sta Soft Statistica 5.0.

Kod nezavisnih varijabli izučene su različite mjere središnje tendencije rasipanja mjernih podataka, a kao



Slika 6. Roemer-Orphalova raspodjela

Fig. 6 Roemer-Orphals scale

najpovoljnije odabrane su medijan i aritmetička sredina sa standardnom devijacijom kao mjerom rasipanja te vrijednosti.

Regresijskim je analizama utvrđena stohastička ovisnost između nezavisnih i zavisnih varijabli. Krivulje izjednačenja odabirane su na osnovi sljedećih parametara: koeficijenta (determinacije) korelacije (R),

11.09.2002 18:06:08

(18)

LETZTE STAMM SORTEN LANGHOLZ - LETZTE STÄMME(100 St)

Sorte	Länge	Durchm.	Durchm.	Preis
TVK Qual.	m3f	m3f	m3f	m3f
cm/	mm/	mm	m.R.	typ
Klasse	Klasse			Gruppe
				m.R.
				Farbe

SALIX, STAMMDATEN NUM 2, ZEIT 18:05

INDUSTRI	401/300	178/110	193	m3fmoR	0	9	1	0	142
INDUSTRI	401/300	163/110	178	m3fmoR	0	9	1	0	104
INDUSTRI	401/300	144/110	159	m3fmoR	0	9	1	0	89
INDUSTRI	401/300	117/110	127	m3fmoR	0	9	1	0	67
INDUSTRI	400/300	83/80	93	m3fmoR	0	9	1	0	42

444

SALIX, STAMMDATEN NUM 2, ZEIT 18:05

STAMHOLZ	513/490	268/260	288	m3ZooR	0	7	1	0	417
STAMHOLZ	614/520	229/220	244	m3ZooR	0	7	1	0	339
INDUSTRI	402/300	180/110	195	m3fmoR	0	9	1	0	157
INDUSTRI	401/300	163/110	178	m3fmoR	0	9	1	0	106
INDUSTRI	401/300	139/110	149	m3fmoR	0	9	1	0	83
INDUSTRI	401/300	123/110	133	m3fmoR	0	9	1	0	58

1160

SALIX, STAMMDATEN NUM 2, ZEIT 18:05

STAMHOLZ	514/490	231/220	251	m3ZooR	0	7	1	0	306
INDUSTRI	400/300	196/110	211	m3fmoR	0	9	1	0	167
INDUSTRI	400/300	165/110	180	m3fmoR	0	9	1	0	116
INDUSTRI	402/300	145/110	160	m3fmoR	0	9	1	0	92
INDUSTRI	400/300	122/110	132	m3fmoR	0	9	1	0	62

743

Slika 5. Ispis iz računala harvestera

Fig. 5 Harvester printout

4. MJESTO ISTRAŽIVANJA – Study site

Snimanje rada harvestera obavljeno je u razdoblju od 3. do 13. rujna 2002. u odjelu 49d, G.J. Svibovica, Šumarije Kloštar Podravski, UŠP Koprivnica. Sastojina u odjelu 49d je 23-godišnja kultura bijele vrbe s pri-

mjesom crne johe podignuta 1980. godine kao znanstveni pokus obnove šuma na podravskom tresetu. Bijela vrba sadena je u ponavljanjima 5×5 stabala s razmakom sadnje $4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$, dok je u nekim repeticija-

ma crna joha sađena između redova vrbe. Ukupno je posađeno 25 klonova vrbe (Mađarska 40, MB 1, MB 15, MB 368, MB 386, MB 388, Repaš 1, Repaš 2, Repaš 3, Repaš 4, S 70, S 71, S 78, S 86, S 110, S 118, V 024, V 052, V 053, V 093, V 099, V 150, V 158, V 160, V 161).

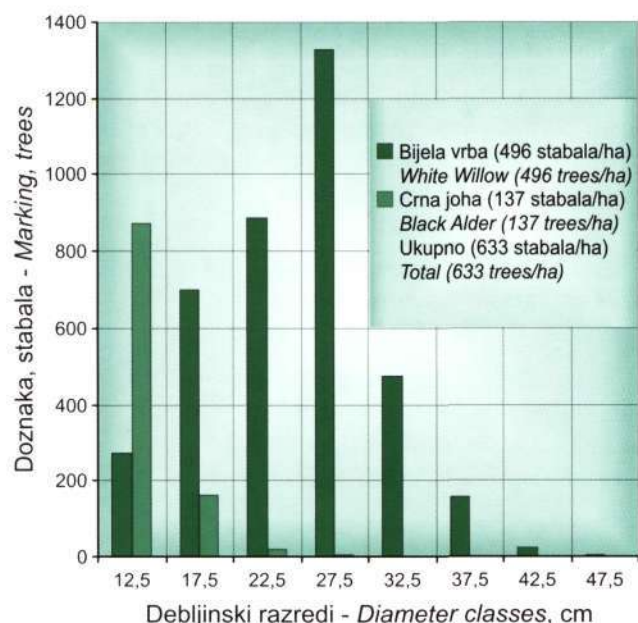
Odjel 49d površine je 7,76 ha, nalazi se na nadmorskoj visini od 110 m, a teren je ravan. Srednja udaljenost privlačenja drva iznosi 200 m.

Drvena je zaliha 209,3 m³/ha, obrast 0,99, a temeljnica 27,3 m²/ha uz 633 stabla/ha. U omjeru smjese prednjači bijela vrba s 93,5 % drvnoga obujma, dok ostatak od 6,5 % otpada na crnu johu. U gustom sloju grmlja pridolaze sremza, bazga, svib i trušljika. U sastojini se je provodila čista sječa.



Slika 7. Izgled sastojine

Fig. 7 Appearance of the stand

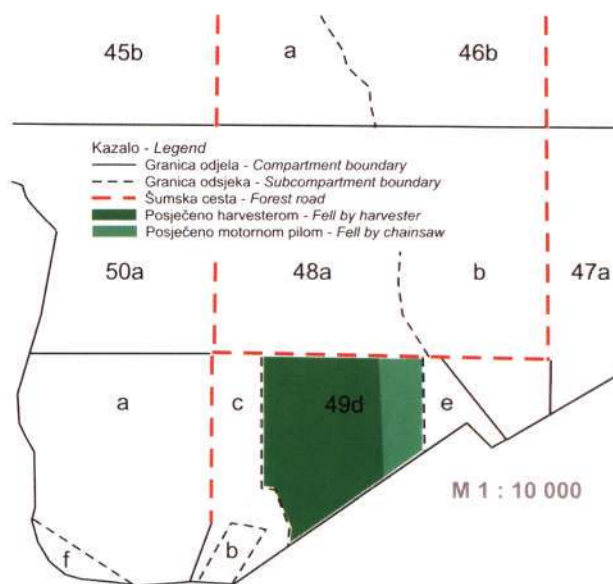
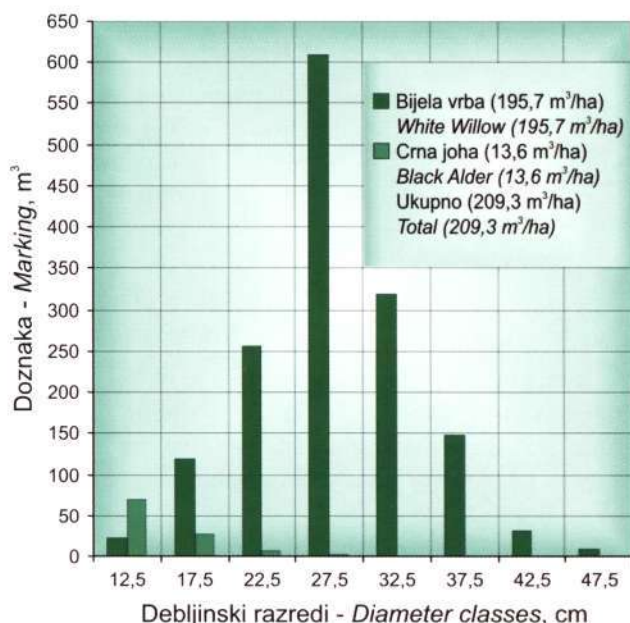


Slika 8. Struktura doznake – Fig. 8 Structure of marking

U odjelu su motornom pilom posječena stabla na površini od 1,5 ha, a preostali dio od 6,26 ha posječen je harvesterom. Pri radovima je zapaženo da su vrbova stabla zbog zimotrenosti bila loše kvalitete.

Na slici 8 prikazana je struktura doznake po broju stabala i drvnom obujmu za bijelu vrbu i crnu johu. Na osnovi podataka iz obračuna doznačne knjižice i plana sječa, bruto je sječna gustoća 209,3 m³/ha (633 stabala po ha), a neto sječna gustoća 186,6 m³/ha. Sječna je gustoća tehničke oblovinne 33,2 m³/ha.

Pri radu, harvester se kretao okomito na šumsku cestu zahvaćajući prugu širine pet stabala (slika 10). Vozilo se je uvijek kretalo po sredini pruge, pravcem određenim trećim redom stabala na pruzi. Na taj su način oba reda stabala s lijeve i desne strane harvestera bila u dohvat dizalice koja je dosega 10 m.



Slika 9. Skica radišća – Fig. 9 Shema of cut-block

Stabla su izrađivana ispred vozila te su na taj način okresane grane polagane pred kotače harvesterera. Time je poboljšana nosivosti vlažnoga tresetnog tla u tragovima prolaska harvesterera te forvardera pri izvoženju sortimenata. Vozač harvesterera izrađene je sortimente odlagao u hrpe s lijeve i desne strane vozila. Pri izvoženju drva, forvarder se kretao isključivo po tragu harvesterera, a uhrpani sortimenti olakšali su utovar drva. Djelotvornost forvardera nije bila predmetom ovih istraživanja.

Obzirom da je nakon čiste sječe predviđeno pošumljavanje sadnicama crne johe, harvester je u radnom zadatku imao i sječu sloja grmlja (čišćenje grmlja). Ovaj se radni zahvat pojavljivao učestalo te je opravdano uvršten u efektivno vrijeme (tablica 1).



Slika 10. Način rada harvesterera

Fig. 10 Harvester operation

5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA – Results of research

Rezultati istraživanja djelotvornosti strojne sječe i izradbe harvesterom Timberjack 1270B u navedenoj kulturi bijele vrbe i crne johe prikazani su kroz: analizu strukture utrošenoga vremena i ostvarene proizvodno-

sti, analizu izrađenih sortimenata, moguću proizvodnost i normu vremena te analizu izvršenja proizvodnje s usporedbom sortimentne strukture drva izrađenoga motornom pilom i harvesterom.

5.1 Struktura utrošenoga vremena i ostvarena proizvodnost

Structure of total times and realised productivity

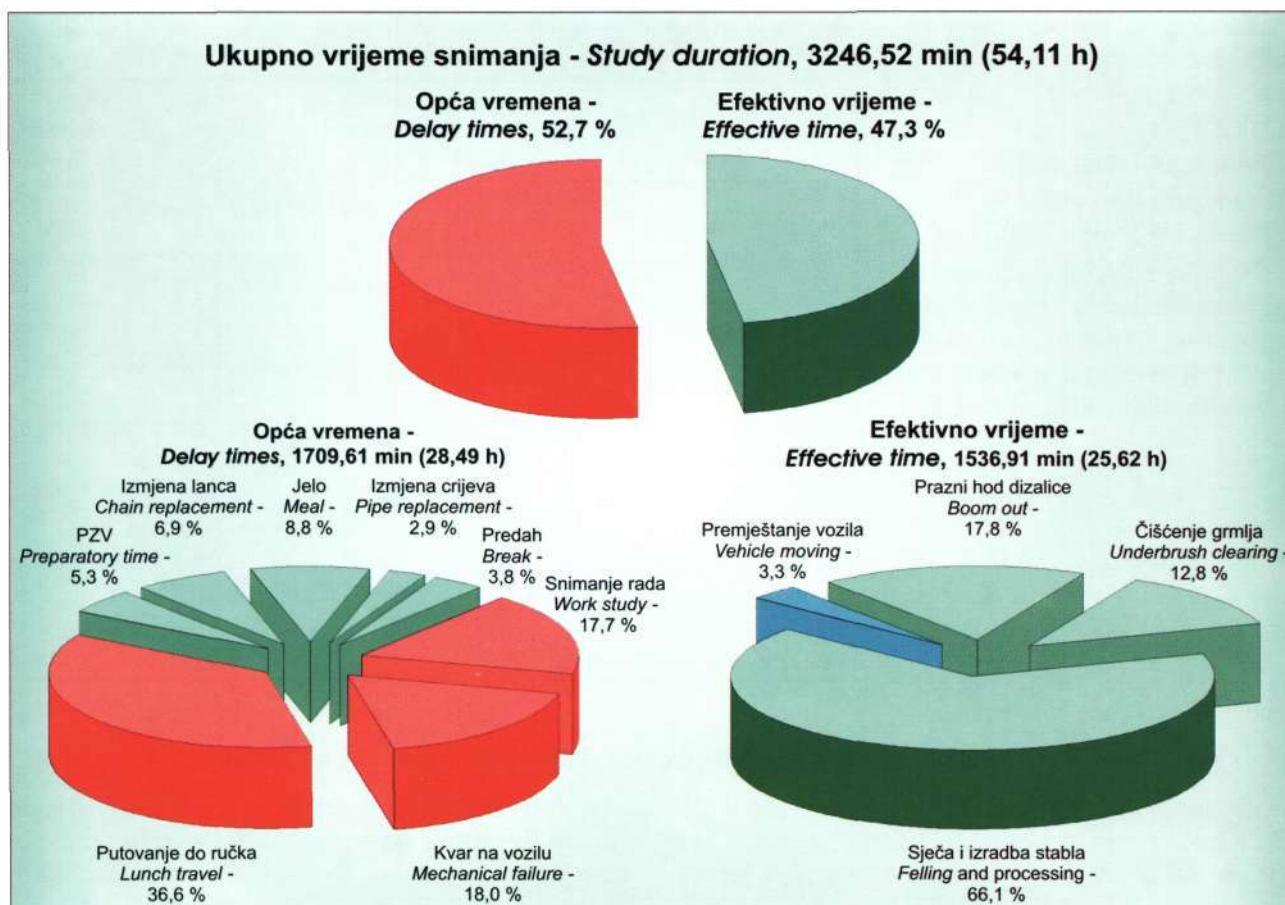
Praćenje rada harvesterera trajalo je ukupno 6 radnih dana (54,11 h), za koje je vrijeme posječeno 1825 stabala, odnosno izrađeno 949,1 m³ oblovine. Prosječni izrađeni obujam krupnoga drva stabla iznosio je 0,5 m³.

U strukturi efektivnoga vremena sječa i izradba stabala sudjeluje sa 66,1 %, prazni hod hidraulične dizalice sa 17,8 %, čišćenje grmlja s 12,8 %, a premještanje harvesterera pri radu sa 3,3 %.

Tablica 1. Struktura utrošaka vremena rada i neke prosječne ostvarene vrijednosti

Table 1 Structure of total time consumption and some realized average values

Radne sastavnice <i>Work components</i>		Utrošak vremena <i>Time consumption</i>	Postotni udio – <i>Percentage of</i>	
			od ukupnoga vremena <i>total time</i>	od efektivnoga vremena <i>effective time</i>
		min	%	
Premještanje vozila – <i>Vehicle moving</i>		50,39	1,6	3,3
Prazni hod dizalice – <i>Boom out</i>		273,22	8,4	17,8
Čišćenje grmlja – <i>Underbrush clearing</i>		196,95	6,1	12,8
Sječa i izradba stabla – <i>Felling and Processinng</i>		1016,35	31,3	66,1
Efektivno vrijeme – <i>Effective time</i>		1536,91	47,3	100,0
Opća vremena – <i>Delay time</i>		1709,61	52,7	
Ukupno utrošeno vrijeme – <i>Total time</i>		3246,52	100,0	
Ukupno izrađeno drvo <i>Total processed timber</i>	m ³	949,1		
	stabala – <i>trees</i>	1825		
Efektivno vrijeme po jedinici <i>Effective time per unit</i>	min/m ³	1,62		
	min/stablo	0,84		
Ukupno vrijeme po jedinici <i>Total time per unit</i>	min/m ³	3,42		
	min/tree	1,78		
Ostvareni učinak <i>Realised productivity</i>	m ³ /h	17,5		
	tree/h	34		



Slika 11. Struktura utroška vremena – Fig. 11 Structure of time consumptions

Utrošak efektivnoga vremena rada harvestera po jedinici iznosio je 1,62 min/m³ ili 0,84 min/stablu.

U strukturi općih vremena visoki udio zauzimaju neopravdani prekidi rada (66,3 %), nastali zbog dugačkih prekida za jelo, odnosno mjerenja proizvodnosti harvestera. Tehnički su prekidi nastali zbog pucanja crijeva na hidrauličnoj dizalici. Opravdani prekidi rada

odnose se na pripremno-završno vrijeme, prekide za jelo, zamjenu rezne garniture u sječnoj glavi, izmjenu crijeva hidraulične dizalice te odmor vozača.

Zbog visokog udjela općih vremena u ukupno snimljenom vremenu (52,7 %), harvester je ostvario relativno nisku prosječnu proizvodnost od 17,5 m³/h (34 stabla/h), trošeći 3,42 min/m³.

5.2 Analiza izrađenih sortimenata – Analysis of processed assortments

Prije početka rada računalni sustav harvestera Timberjack 3000 umjerenje je, te su u njega unešene zadane minimalne dimenzije (promjer na tanjem kraju s korom i duljina) za pilansku oblovinu I klase (27 cm, 2,5 m), pilansku oblovinu II klase (22 cm, 2,5 m) te celuložno drvo (7 cm, 4 m).

Na temelju zadanih minimalnih dimenzija sortimenata i mjerenja dimenzija pojedinog debla, sustav Timberjack 3000 donosio je odluku o mjestu trupljenja uz polučenje najveće iskoristivosti debla.

Statistička analiza izrađenih sortimenata iz posječenih stabala prikazana je u tablici 2.

Prosječni srednji promjer izrađene oblovine iznosio je 19 cm, duljina 4,1 m te obujam 0,14 m³.

Slika 12. Izrađeni vrbovi sortimenti
Fig. 12 Processed willow assortments

Prosječni izrađeni sortiment tehničke oblovinne imao je srednji promjer 29 cm, duljinu 4,5 m te obujam 0,30 m³.

Prostorno (celulozno) je drvo bilo prosječnog promjera od 17 cm, duljine 4 m te obujma od 0,11 m³.

Ovom je analizom utvrđeno da ostvarene dimenzije izrađenih sortimenata ne odstupaju od zadanih vrijednosti unesenih u kompjutor harvester, koji nadzire rad sječne glave.

Tablica 2. Statistička analiza izrađenih sortimenata
Table 2 Statistical analysis of processed assortments

	Sred. promjer <i>Mid diameter</i> cm	Duljina <i>Length</i> m	Obujam <i>Volume</i> m ³
Trupci (1159 komada) – <i>Logs (1159 pcs.)</i>			
Medijan – <i>Median</i>	28	4,53	0,29
Aritmetička sredina – <i>Mean</i>	29 ± 3	4,47 ± 0,98	0,30 ± 0,08
Minimum – <i>Minimum</i>	25	2,51	0,16
Maksimum – <i>Maximum</i>	43	6,50	0,73
Celulozno drvo (5649 komada) – <i>Pulpwood (5649 pcs.)</i>			
Medijan – <i>Median</i>	17	4,01	0,10
Aritmetička sredina – <i>Mean</i>	17 ± 5	4,08 ± 0,46	0,11 ± 0,07
Minimum – <i>Minimum</i>	5	4,00	0,01
Maksimum – <i>Maximum</i>	45	8,46	1,09
Ukupno oblovinna (6808 komada) – <i>All roundwood (6808 pcs.)</i>			
Medijan – <i>Median</i>	18	4,01	0,10
Aritmetička sredina – <i>Mean</i>	19 ± 6	4,14 ± 0,60	0,14 ± 0,10
Minimum – <i>Minimum</i>	5	2,51	0,01
Maksimum – <i>Maximum</i>	45	8,46	1,09

5.3 Moguća proizvodnost i norma vremena – *Possible productivity and standard time*

Statistička analiza utrošaka vremenskih sastavnica rada harvestera prikazana je u tablici 3. Radni ciklus (posječenje i izrađeno stablo) jednozahvatnoga harvestera sastoji se od nekoliko radnih sastavnica, od kojih su neki (premještanje vozila, prazni hod dizalice) potpuno neovisni o veličini posječenoga stabla. Peltola

i Papunen (2001) navode da se rad jednozahvatnoga harvestera sastoji od većega broja koraka, koji većinom pokazuju potpunu ovisnost o veličini stabla. Gornja se tvrdnja u našem slučaju odnosi samo na korake sječe i izradbe stabala, koji nisu raščlanjivani (slika 4).

Tablica 3. Statistička analiza utrošaka vremena radnih sastavnica
Table 3 Statistical analysis of work components time consumption

	Suma* <i>Sum*</i>	Medijan <i>Median</i>	Arit. sredina <i>Mean</i>	Minimum <i>Minimum</i>	Maksimum <i>Maximum</i>
Utrošak vremena, min/stablo – <i>Time consumption, min/tree</i>					
Efektivno vrijeme po stablu <i>Effective time per tree</i>	1536,91	0,75	0,84 ± 0,45	0,09	3,70
Premještanje vozila – <i>Vehicle moving</i>	50,39	0,00	0,03 ± 0,11	0,00	1,96
Prazni hod dizalice – <i>Boom out</i>	196,95	0,00	0,11 ± 0,28	0,00	2,78
Čišćenje grmlja – <i>Underbrush clearing</i>	273,22	0,14	0,15 ± 0,09	0,00	1,00
Sječa i izradba – <i>Felling and Processing</i>	1016,35	0,52	0,56 ± 0,29	0,05	3,43

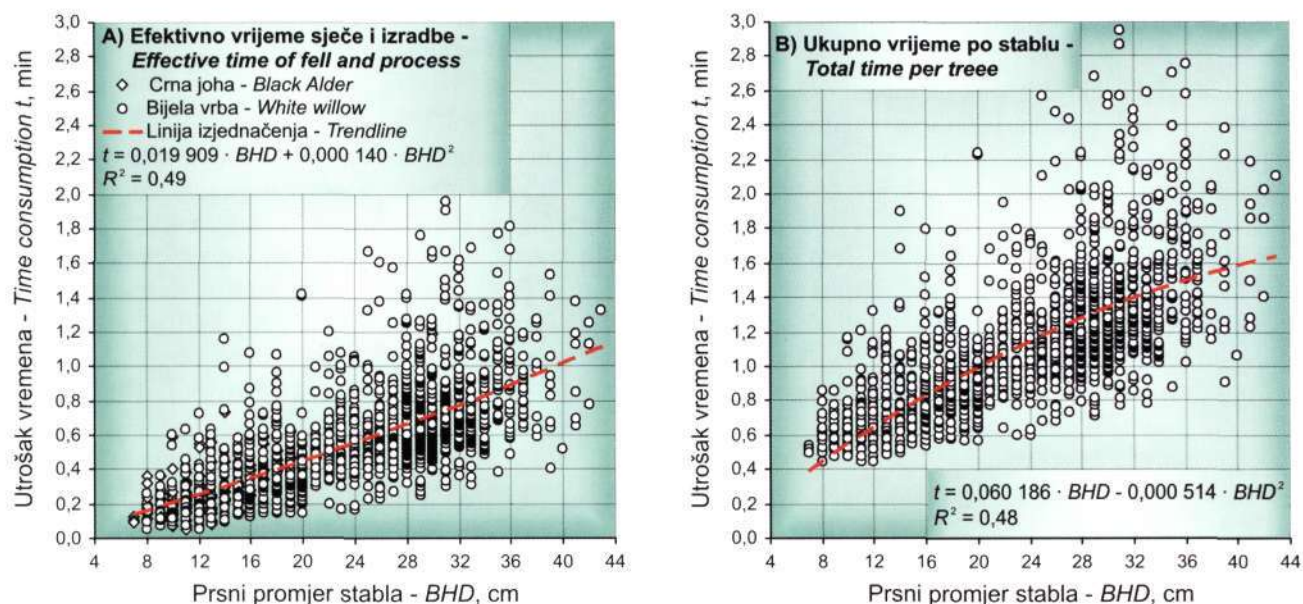
* Veličina uzorka (1825 stabala) – * *Count (1825 trees)*

Stoga je istražena ovisnost efektivnoga vremena sječe i izradbe stabla o prsnoj promjeru stabala (slika 13A). Podaci su istraženi regresijskom analizom i izjednačeni parabolom iz ishodišta uz srednju korelaciju između varijabli ($R^2 = 0,49$).

Uvećavanjem utroška efektivnoga vremena sječe i izradbe svakoga pojedinoga stabla s prosječnim utrošcima vremena vožnje harvestera (0,03 min/stablo), praznoga hoda hidraulične dizalice (0,11 min/stablo) i čišćenja grmlja (0,15 min/stablo) izračunan je utrošak efektivnoga vremena po stablu.

Iz općih je vremena izbacivanjem neopravdanih prekida određeno u apsolutnom iznosu dodatno vrijeme (474,45 minuta). Dodatno se vrijeme računa prema efektivnom vremenu te se istome dodaje u apsolutnom iznosu, u obliku postotka ili faktora dodatnoga vremena. U ovom istraživanju dodatno je vrijeme iznosilo 30,9 % efektivnog vremena rada.

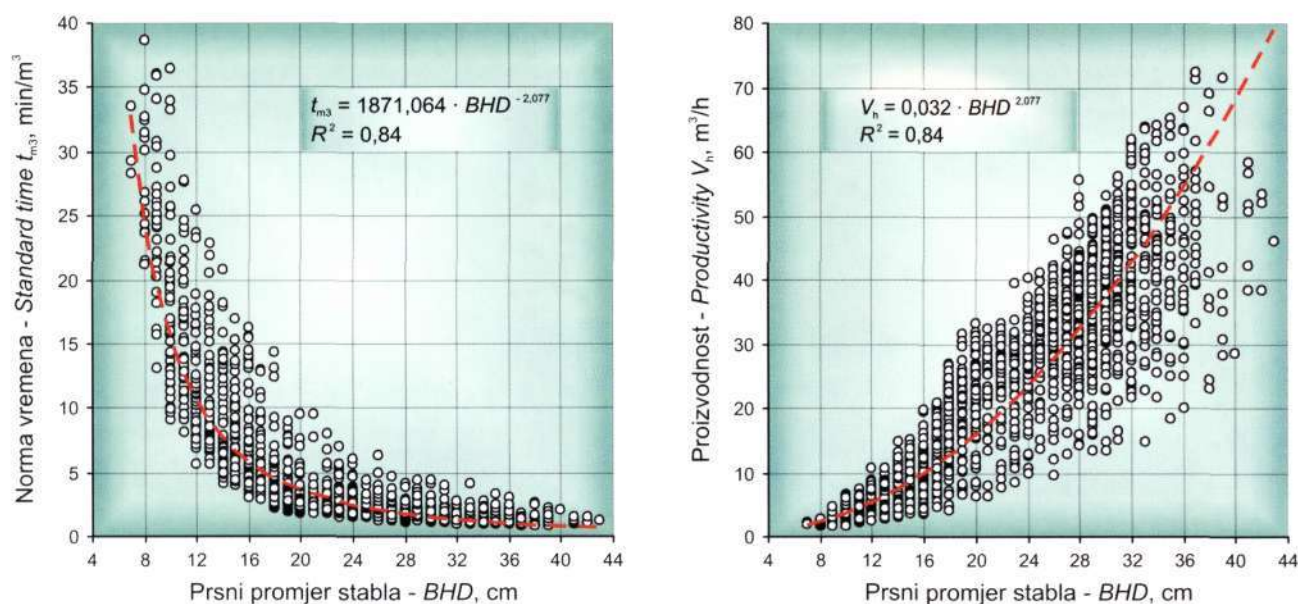
Efektivno vrijeme stabla uvećano je za utvrđeno dodatno vrijeme (30,9 % efektivnog vremena rada) te je na taj način izračunano ukupno vrijeme po stablu odnosno norma vremena po stablu. Podaci su istraženi re-



Slika 13. Ovisnost utroška vremena o prsnom promjeru stabla – Fig. 13 Dependence of time consumptions vs. BHD



Slika 14. Sječa i izradba vrbovih stabala – Fig. 14 Felling and processing of willow trees

Slika 15. Ovisnost norme vremena i proizvodnosti o prsnom promjeru posječenih stabala
 Fig. 15 Standard time and productivity of Timberjack 1270B vs. BHD of felled trees

gresijskom analizom i izjednačeni jednadžbom parabole iz ishodišta (slika 13B).

Stavljajući u odnos utrošak ukupnog vremena rada harvesteri po stablu (slika 13B) s izrađenim obujmom krupnoga drva svakog pojedinog stabla izračunate su vrijednosti norme vremena po jedinici obujma drva, odnosno proizvodnost harvesteri za svako pojedino stablo u rasponu prsnih promjera od 7 cm do 43 cm (slika 15). Podaci su istraženi regresijskom analizom i izjednačeni eksponencijalnom krivuljom uz vrlo jaku korelaciju, pri čemu je utvrđeno da se 84 % varijabilnosti proizvodnosti i norme vremena pojašnjava utje-

cajem prsnog promjera posječenoga stabla. Oblikovanjem norme vremena po stablu otvoren je put utvrđivanju moguće proizvodnosti harvesteri po stablu i jedinici obujma, koja vrijedi za prihvaćeno dodatno vrijeme.

Mogući učinak harvesteri kreće se u rasponu od 3,8 m³/h kod stabala prsnoga promjera od 10 cm do 68,1 m³/h kod stabala prsnog promjera 40 cm. Iz navedenih je ovisnosti vidljiv snažan uticaj prsnog promjera posječenih stabala na proizvodnost i normu vremena sječe i izradbe drva harvesterom, koji je u literaturi prepoznatljiv kao Speidlov zakon obujma komada (Staff i Wiksten 1984, Grammel 1988).

5.4 Izvršenje proizvodnje i usporedba sortimentne strukture drva izrađenoga motornom pilom i harvesterom

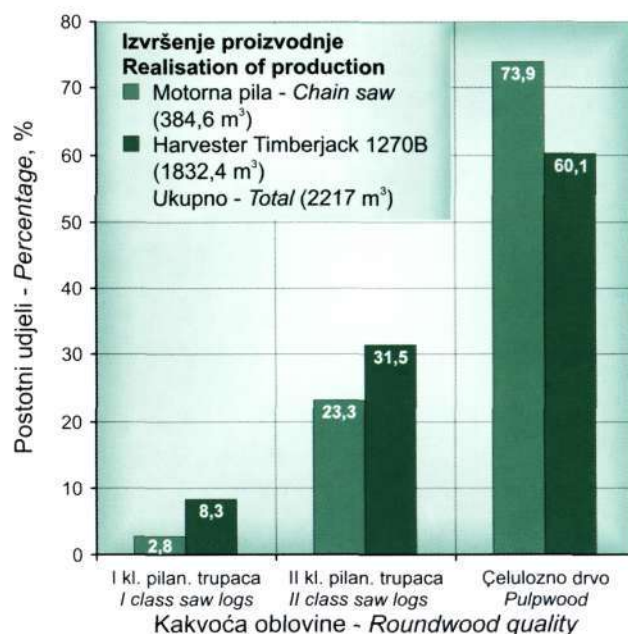
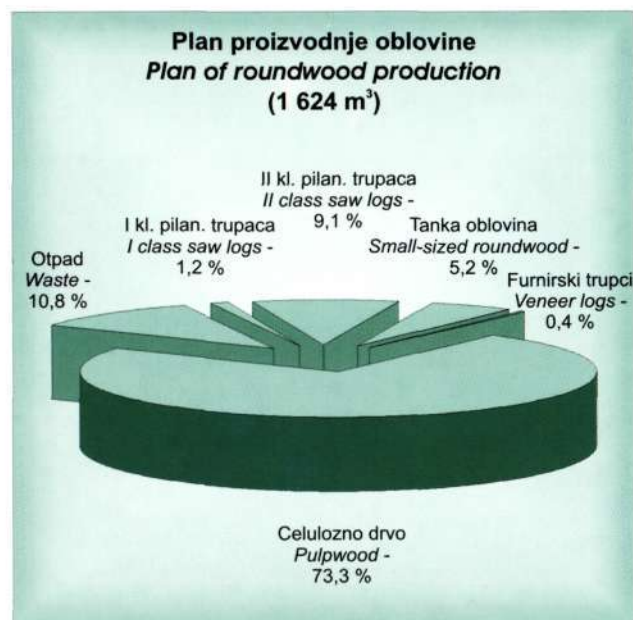
Realisation of production and comparison of assortment structure between timber processed with chainsaw or harvester

Ostvarena proizvodnja u odjelu 49d od 2217 m³ nadmašila je plan proizvodnje za 53 %. Ova razlika posljedica je varijabilnosti obujma stabala između velikoga broja zasađenih klonova vrbe, odnosno mogućega pogrešnoga odabira tarifnoga niza pri kubiranju vrbovih stabala.

Na temelju podataka izvršenja proizvodnje glede načina izvođenja sječe i izradbe drva, izračunana je struktura sortimenata izrađenih ručno-strojnim radom motornom pilom odnosno strojnim radom harvesteri-

rom. Kod drva izrađenoga harvesterom utvrđeno je značajno veći udio obje klase kakvoće pilanskih trupaca, u odnosu na obujam drva izrađenog motornom pilom.

Ovaj podatak još više začuđuje iz razloga, što mjeri sustav harvesteri nema mogućnosti prepoznavanja grešaka obloga drva propisanih normama za oblo drvo, već ima isključivo mogućnost mjerenja dimenzija oblovine.



Slika 16. Izvršenje proizvodnje i usporedba sortimentne strukture drva izrađenoga motornom pilom i harvesterom

Fig. 16 Realisation of production and comparison of assortment structure between timber processed with chainsaw or harvester

6. ZAKLJUČAK – Conclusion

Pri strojnoj su se sječi vrbove kulture harvesterom iskristalizirali dominantni čimbenici djelotvornosti. Pozitivan učin imaju način rada (čista sječa), povećana sječna gustoća i veće dimenzije stabala. Krošnjatost, odklon od automatskog krojenja, nedovoljna obučenost jednoga od operatera i čišćenje grmlja u konkretnom slučaju bili su otežavajući čimbenici. Istraživanja su potvrdila poznate zakonitosti koje se pojavljuju pri primjeni strojne sječe stabala.

Pri sječi bjelogoričnih stabala na učinak djeluje krošnjatost ili bolje rečeno debele grane u krošnji, koje se, noževima u sječnoj glavi prilagođenoj kresanju tanjih grana, ne mogu okresati. Potvrđena je jaka ovisnost učinkovitosti o prsnom promjeru odnosno obujmu

stabala. Utrošak je vremena po stablu upravo proporcionalan prsnom promjeru, odnosno obujmu stabla. Međutim, porast utroška vremena za stablo određena ga prsnoga promjera ne slijedi jednakomjerno porast obujma stabla, koji je znatno izraženiji. Navedeni odnos pojašnjava utjecaj obujma stabla na utrošak vremena po jedinici obujma drva.

Harvester je za vrijeme rada ostvario prosječni učinak od 17,5 m³/h. Uz dodatno vrijeme od 30,9 % efektivnoga vremena moguće je učinak od 27,5 m³/h.

Prema učinkovitosti strojne čiste sječe u kulturama vrbe vidljiva je opravdanost primjene harvestera u takvim i sličnim bjelogoričnim umjetno podignutim ili prirodnim sastojinama.

7. LITERATURA – References

- Andersson, B., 1994: Cut-to-length and tree-length harvesting systems in central Alberta: a comparison. For. Eng. Res. Inst. Can. (FERIC), Pointe-Claire, Que. Tech. Rep. TR-108. 1–32.
- Anon., 1994: Osnova gospodarenja G. J. "Svibovica" za razdoblje (1995–2004).
- Anon., 2001: Knjižica doznake – odsjek 49d, G. J. "Svibovica", Šumarija Kloštar Podravski.
- Anon., 2001: Plan sječa za 2002 godinu G. J. "Svibovica", Šumarija Kloštar Podravski.
- Barnes, R., M., 1964: Studij pokreta i vremena. Zagreb, Panorama, 1–164.
- Bulley, B., 1999: Effect of tree size and stand density on harvester and forwarder productivity in commercial thinning. For. Eng. Res. Inst. Can. (FERIC), Pointe-Claire, Que. Tech. Note TN-292. 1–8.
- Grammel, R., 1988: Holzernte und Holztransport. Verlag Paul Parey, Hamburg – Berlin, 1–242.
- Kachigan, S. K., 1991: Multivariate statistical analysis – A conceptual introduction. Radius Press, New York, 1–303.
- Krpan, A. P. B., T. Poršinsky, 2001: Harvester Timberjack 1070 u Hrvatskoj. (Harvester Timberjack 1070 in Croatia). Šumarski list 125 (11–12): 619–624.
- Krpan, A. P. B., T. Poršinsky, 2002A: Produktivnost harvestera Timberjack 1070 pri proredi kulture običnoga bora (Productivity of Timberjack 1070 Harvester in Scotch Pine Thinning). Šumarski list 126 (11–12): 551–561.
- Krpan, A. P. B., T. Poršinsky, 2002B: Djelotvornost strojne sječe i izradbe u sastojinama mekih i tvrdih listača. Znanstvena studija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–40.
- Krpan, A. P. B., T. Poršinsky, 2004: Djelotvornost strojne sječe i izrade u sastojinama tvrdih i mekih listača – 1. dio: Promišljanje struke o strojnoj sječi i izradbi drva (Efficiency of Mechanical Felling and Processing in Soft and Hardwood broadleaved stands – Part 1: Attitudes of Forest Professionals towards Mechanical Felling and Processing). Šumarski list 128 (3–4): 127–136.
- Meek, P., 1993: An evaluation of four methods for processing timber at the stump. For. Eng. Res. Inst. Can. (FERIC), Pointe-Claire, Que. Tech. Note TN-208. 1–8.
- Meek, P., 2000: Effect of the commercial thinning prescription on the performance of single-grip harvesters. For. Eng. Res. Inst. Can. (FERIC), Pointe-Claire, Que. Advantage Vol.1 No. 42, 1–2.
- Kump, M. i suradnici, 1970: Poljski pokusi (Metodika postavljanja i statistička obrada). Centar za primjenu nauka u poljoprivredi SR Hrvatske, Zagreb, 1–86.
- KWF, 1997: Prüfbericht – Kranvollernter Timberjack 1270B mit Vollernteaggregat 755B. FPA-Verzeichnis-Nr. 1.04.26., Groß-Umstadt., Deutschland, 1–2.
- Peltola, A., K. Papunen, 2001: The mechanisation of thinning in the Nordic countries. Proceedings of International conference "Thinnings: A valuable forest management tool", September 9–14, 2001, IUFRO Unit 3.09.00 & FERIC & Natural Resources Canada & Canadian Forest Service, CD.

- Pulkki, R., 2001: Cut-to-length, tree-length or full tree harvesting. http://flash.lakeheadu.ca/~re-pulkki/ctl_ft.html
- Richardson, R., I. Makkonen, 1994: The performance of cut-to-length systems in eastern Canada. For. Eng. Res. Inst. Can. (FERIC), Pointe-Claire, Que. Tech. Rep. TR-109, 1–16.
- Serdar, V., I. Šošić, 1981: Uvod u statistiku. Školska knjiga Zagreb, 1–452.
- Staff, K. A. G., N. A. Wiksten, 1984: Tree harvesting Techniques. Martinus Nijhoff/DR W. Junk Publishers, Dodrecht/Boston/Lancaster, pp. 371.
- Tufts, R. A., 1997: Productivity and cost of the Ponsse 15-series, cut-to-length harvesting system in southern pine plantations. Forest Products Journal 47 (10): 39–46.

SUMMARY: This paper shows the results of research of machine felling and processing carried out by Timberjack 1270B Harvester in a 23-year old willow culture. The volume of the mean felling tree was 0.5 m^3 , and diameter at breast height 25 cm. The felling density was 633 trees/ha. Thick undergrowth layer is made of bird cherry, black elder, common dogwood and glossy buckthorn. The harvester's operation was monitored for 6 working days (54.11 h), and during that time 1825 trees were felled and 949.1 m^3 of roundwood was processed.

The mean diameter of technical roundwood is 29 cm, the length is 4.5 m and the volume 0.30 m^3 . The mean diameter of pulpwood is 17 cm, the mean length is 4 m and the mean volume 0.11 m^3 . The computer system Timberjack 3000 was calibrated before the operation started. The preset minimum sizes were entered (diameter at the thinner end with bark and length) of first class saw logs (27 cm, 2.5 m), second class saw logs (22 cm, 2.5 m) and pulpwood (7 cm, 4 m). The results confirmed that the dimensions of the processed assortments do not vary from the preset values.

Delay times of 52.7 % and effective time of 47.3 % of the total recorded time were established by time study. With such a time ratio, the harvester achieved an efficiency of $17.5 \text{ m}^3/\text{h}$ or 34 trees/h, consuming a total of $3.42 \text{ min}/\text{m}^3$. The average consumption of effective time is $1.62 \text{ min}/\text{m}^3$. Felling and processing account for 66.1 %, hydraulic crane idling for 17.8 %, undergrowth cleaning for 12.8 %, and harvester moving at the felling site for 3.3% of effective time. Allowance time was 30.9 % of effective time.

The values of standard time and harvester productivity have been investigated by regression analysis and fitted by exponential curve with a very strong correlation. In doing so, it has been established that 84 % of productivity and standard time variability can be explained by the influence of the trees diameter at breast height.

Key words: machine felling, Timberjack 1270B, clear cut of willow culture, efficiency