

PROIZVODNOST HARVESTERA TIMBERJACK 1070 PRI PROREDI KULTURE OBIČNOGA BORA

PRODUCTIVITY OF TIMBERJACK 1070 HARVESTER
IN SCOTCH PINE THINNING

Ante P. B. KRPAN*, Tomislav PORŠINSKY**

SAŽETAK: U radu su prikazani rezultati istraživanja proizvodnosti i troškova strojne sječe i izradbe drva harvesterom Timberjack 1070 u kulturi četinjača. Proizvodnost harvester je utvrđena metodom studija rada i vremena. Vremena sječe i izradbe drva harvesterom razdijeljena su u radne sastavnice. Utrošci vremena pojedinih radnih sastavnica mjereni su povratnom metodom kronometrije uz snimku radnog dana. Podaci o dimenzijama posjećenih stabala i izrađenih sortimenata prikupljeni su ispisom iz računala harvester. Prikupljeni podaci obrađeni su matematičko statističkim metodama pomoći osobnog računala. Osnovna je jedinica analize posjećeno i izrađeno stablo.

Analiza utrošaka vremena rada pojedinih radnih sastavnica sječe i izradbe drva harvesterom nije pokazala ovisnost između utroška vremena i dimenzija posjećenih stabala. Stavljanjem u odnos utrošaka ukupnog vremena rada harvester po stablu s izrađenim obujmom sortimenata pojedinog stabla izračunane su norme vremena i proizvodnost harvester za svako pojedino stablo. Podaci su istraženi regresijskom analizom i izjednačen eksponencijalnom krivuljom uz vrlo jaku korelaciju.

Poznato djelovanje zakona obujma komada uočljivo je kroz ovisnost proizvodnosti i jediničnih troškova sječe i izradbe drva harvesterom o prsnom promjeru posjećenih stabala. Pri sjeći i izradbi stabala prsnog promjera 10 cm ($0,03 \text{ m}^3/\text{stablu}$) proizvodnost harvester iznosi $2,3 \text{ m}^3/\text{h}$, a trošak $30,24 \text{ EUR/m}^3$, dok je kod sjeće stabala prsnog promjera 30 cm ($0,63 \text{ m}^3/\text{stablu}$) proizvodnost harvester $25,4 \text{ m}^3/\text{h}$ ($2,74 \text{ EUR/m}^3$).

U radu je uspoređena proizvodnost i jedinični troškovi sječe i izradbe drva motornom pilom i harvesterom ovisno o prsnom promjeru stabla. Podaci o troškovima rada preuzeti su iz baze podataka FBVA (Austrija) kalkulacija rada šumarskih strojeva.

Proizvodnost motorne pile niža je u rasponu od 22 % (prjni promjer 10 cm) do 16 % (prjni promjer 30 cm) u odnosu na proizvodnost harvester. Jedinični su troškovi sječe i izradbe drva motornom pilom niži u rasponu od 4,8 puta (prjni promjer 10 cm) do 3,6 puta (prjni promjer 30 cm) u odnosu na strojnu sjeću i izradbu harvesterom.

Ključne riječi: sortimentna metoda pridobivanja drva, harvester, proizvodnost, trošak po m^3

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

** Mr. sc. Tomislav Poršinsky

Zavod za iskorištavanje šuma, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Svetosimunska 25, 10000 Zagreb
ante.krpan@zg.tel.hr; tomislav.porsinsky@zg.hinet.hr

1. UVOD – Introduction

Metode sječe i izradbe drva određene su oblikom u kojem se drvo doprema do pomoćnoga stovarišta, a ovise o stupnju izradbe drva na mjestu sječe (kresanje grana, prikrajanje, trupljenje, koranje, iveranje). Sustav pridobivanja drva obuhvaća tehnologije, strojeve i alate koji se koriste prilikom eksplotacije neke sječne jedinice. Pojedine sastavnice sustava pridobivanja drva mogu se mijenjati, a da se ne mijenja metoda izradbe drva. Različite metode izradbe drva su: sortimentna, deblovna i stablovna metoda.

Pri sortimentnoj metodi izradbe, stabla se obaraju, krešu se grane i izrađuju različiti sortimenti prema važećim normama na mjestu sječe (kod panja). Sječa i izradba može biti ručno-strojna s primjenom motornih pila ili potpuno mehanizirana. Drvo izrađeno sortimentnom metodom najčešće se po bespuću izvozi forvarderom, iako je moguća primjena i ostalih sredstava privlačenja drva po tlu i zraku. Sortimentna metoda može se koristiti pri svim uzgojnim zahvatima (prorede, oplodne sječe, preborne sječe). Pri izvoženju sortimenata forvarderima moguće je razvrstavanje i slaganje obloga drva u visoke složajeve uz rubove šumskih cesta, što smanjuje potrebu za prostranim pomoćnim stovarištima. Izvoženjem drva smanjuje se mogućnost oštećenja i zadržava se čistoća (blato, kamenje) sortimenata u odnosu na vuču drva traktorima po tlu.

Sustav mehaniziranog pridobivanja kratkog drva zasniva se na grupnom radu jednozahvatnoga harvester-a i forvardera uskladištenih proizvodnih mogućnosti. Harvester vrši sjeću stabala, kresanje grana, trupljenje debla, mjerjenje sortimenata i njihovo slaganje u hrpe koje će forvarder utovariti i izvesti do pomoćnoga stovarišta. Zahvaljujući prednostima računalne izmjere i kontrole, deblo se optimalno prikraja i iskoristi. Računalni sustav harvester-a osim toga, omogućuje izradbu oblovine prema zahtjevima kupaca. Sustav je okolišno prihvativljiv jer harvester pri radu okresane grane polaze pred kotače vozila, čime poboljšava uvjete nosivosti podloge i smanjuje oštećenje tla (Meeck 1993, Ward i Lyons 2001). Time važna hranjiva ostaju nakon sječe u sastojini čime se potiče stvaranje humusa i povećavaju hranidbene mogućnosti staništa.

Na proizvodnost jednozahvatnoga harvester-a značajno utječe veličina stabla (Tufts 1997, Bulley 1999, Meeck 2000). Zbog toga su razvijene harvester-ske glave za sjeću više tanjih stabala u jednom zahvatu (Peltola i Papunen 2001). Proizvodnost forvardera pri ovoj tehnologiji nije toliko utjecana dimenzijama stabala, jer su sortimenti izrađeni od više tanjih stabala složenih u jednu hrpu. Tako složeno drvo, čak i malih pojedinačnih dimenzija omogućuje veću učinkovitost dizalice forvardera. Ipak duljina sortimenata ima veliki utjecaj, jer je zamjetan pad proizvodnosti kod oba stroja u slučaju velikoga udjela prostornoga

drva duljine 2,5 m (Pulkki 2001). Iz toga se razloga nastoji izrađivati trupce i prostorno drvo u što većim duljinama (do 7 m).

Ako je proizvodnost jednozahvatnoga harvester-a i forvardera uravnotežena, forvarderu je omogućeno izvoženje drva na udaljenostima privlačenja do 600 m. Ukoliko su sječne jedinice bolje primarno otvorene (srednja udaljenost privlačenja ispod 150 m), ravnoteža sustava harvester – forvarder je narušena. U tom je slučaju izgubljena jedna od glavnih prednosti sustava – manja gustoća potrebnih šumskih cesta po jedinici površine (Bulley 1999).



Slika 1. Harvester Timberjack 1070
Figure 1 Harvester Timberjack 1070

Godišnja proizvodnost sustava harvester – forvarder sa iskusnim vozačima pri dvosmjenskom dnevnom radu i prosječnim sječnim stablom od $0,2 \text{ m}^3$ iznosi $50\ 000 \text{ m}^3$ ($15 \text{ m}^3/\text{h}$) (Pulkki 2001). Isti autor navodi da se u skandinavskim zemljama, pri radu u čistim sječama proizvodnost navedenoga sustava iznosi $60\ 000 \text{ m}^3$ te između $40\ 000 \text{ m}^3$ i $50\ 000 \text{ m}^3$ u slučaju kombiniranoga rada u proredama i čistim sječama.

Glavni nedostatak jednozahvatnoga harvester-a je njegova složenost zbog koje vozači moraju biti vrhunski obučeni. Obuka je vozača vrlo skupa i može trajati do dvije godine, dok vozač u cijelosti ne ovlada

rukovanjem strojem. Ipak, kroz nekoliko mjeseci većina vozača stječe zadovoljavajuća znanja i vještine (Hoss 2001).

2. Harvester Timberjack 1070

Jednozahvatni harvester Timberjack 1070, šestero-kotačno je vozilo (6 WD) s bogi sustavom na prednjoj osovini. Harvester 1070 je srednje veliki harvester (dužina 6,6 m, širina 2,8 m, masa 14 t) namijenjen širokom rasponu primjene, od ranih proreda do dovršnih sječa.

Osnovne su tehničke značajke harvesterja Timberjack 1070:

⇒ Motor Cummins 6TBA vodom je hlađeni linijski šesterocilindarski Dieselov motor s prednabijanjem, stupajnoga obujma 5900 cm^3 , nazivne snage 123 kW pri ferkvenciji vrtnje 2200 min^{-1} te najvećega zakretnoga momenta od 694 Nm (1500 min^{-1}).

U globalnim razmjerima na sortimentnu metodu otpada 30 % potpuno mehaniziranoga pridobivanja drva (www.timberjack.com).

2. Harvester Timberjack 1070

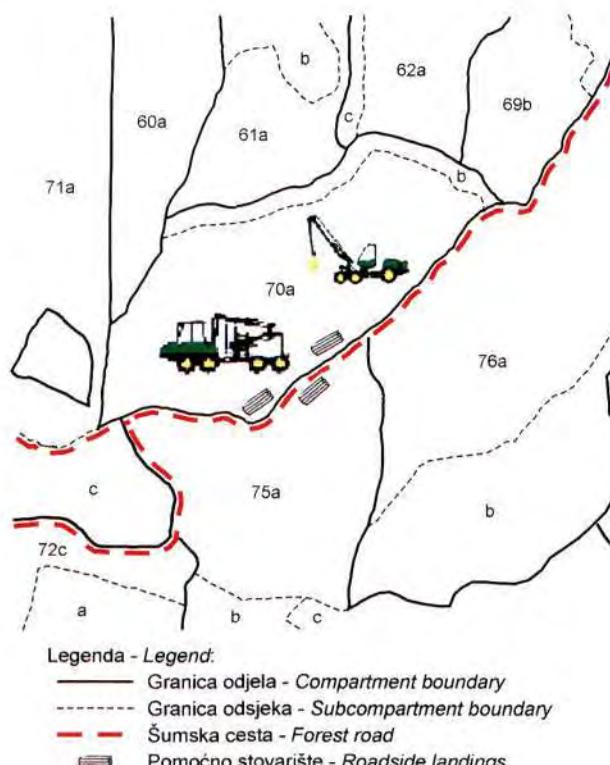
⇒ Paralelna hidraulična dizalica TJ 180 H97, ostvaruje podizni moment od 135 kNm i dohvati 10 m.

⇒ Sječna glava Timberjack 745, širokoga je raspona primjene, od proreda do dovršnih sječa. Najveći sječni promjer iznosi 55 cm, dok najbolje učinke postiže pri sjeći stabala od 0,2 do 0,7 m³.

⇒ Računalni sustav Timberjack 3000 kontrolira rad sječne glave, izmjeru stabla, donošenje odluke o mjestu trupljenja u svrhu polučenja najveće iskoristivosti debla, odnosno o izradbi sortimenata zadatah dimenzija.

3. MJESTO ISTRAŽIVANJA – Research site

Tijekom održavanja proslave "Dana hrvatskog šumarstva" 2001. godine, u organizaciji JP "Hrvatske šume" Zagreb, Šumarskog fakulteta Zagreb i proizvođača šumarskih strojeva Timberjack, po prvi je puta u Hrvatskoj prikazana šumarskoj struci, ali i ostaloj javnosti, strojna sječa i izradba četinjača harvesterom (Krpan i Pošinski 2001). Četverodnevni (od 11. do 14. lipnja 2001.) prikaz rada harvesterja održan je na području Šumarije Ogulin u gospodarskoj jedinici Zalije – Međuvode.

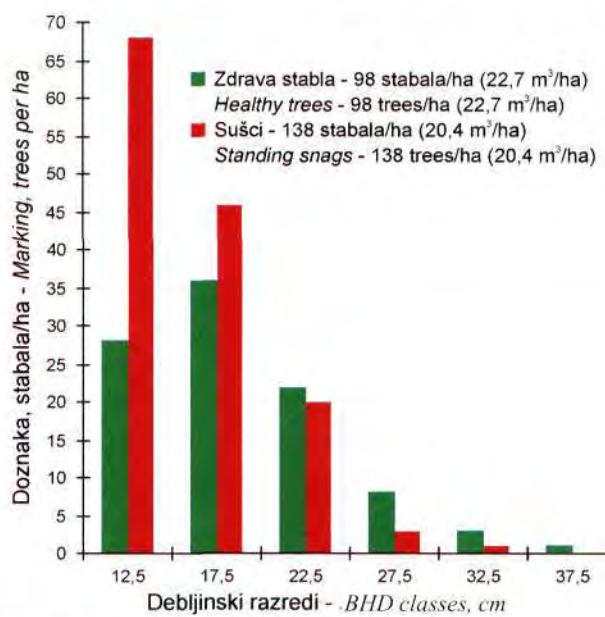


Slika 2. Skica radilišta

Figure 2 Shema of felling site

Sastojina u odsjeku 70a je 37-godišnja kultura četinjača. Drvna je zaliha odsjeka $155 \text{ m}^3/\text{ha}$, obrast 0,71, a temeljnica $18,2 \text{ m}^2/\text{ha}$ uz 433 stabla po hektaru. U omjeru smjese prednjači obični bor sa 67 % drvnog obujma, a ostatak otpada na američki borovac (24 %) te europski ariš (9 %).

Odsjek je površine 16,59 ha, a nalazi se na padini sjeverne ekspozicije s nadmorskom visinom od 220 m do 240 m. Srednja je udaljenost privlačenja 200 m. Ograničavajući terenski čimbenici su vrtače i inklinacija terena do 15° . Površinsko kamenje nije prisutno. Distrično smeđe tlo, ovisno o stupnju nagiba terena odsjeka, je plitko do srednje duboko. U sječnoj jedinici nisu postajali traktorski putovi te si je tijekom rada



Slika 3. Struktura doznake

Figure 3 Structure of marking

harvester sam prosjecao vlake (*ghost trails*). Tijekom istraživanja tlo je bilo suho i dobre nosivosti.

U sastojini se provodila proreda, sječene gustoće $43,1 \text{ m}^3/\text{ha}$ (236 stabala/ha). Razmak između posjećenih stabala bio je 6,5 m. Obujam srednjeg sječnog sta-

bla iznosio je $0,18 \text{ m}^3$ (prsnji promjer 19 cm). Zbog velikog udjela sušaca i suhovrhih stabala (snjegolom i ledolom na Božić 1997) među doznačenim stablima, proreda je velikim dijelom imala značajke sanitarne sječe (slika 3).

4. METODA ISTRAŽIVANJA I ANALIZA PODATAKA Method of research and data analysis

Rad harvestera istražen je metodom studija rada i vremena. Vrijeme sječe i izradbe drva podijeljeno je na radne sastavnice s unaprijed odabranim fiksaznim točkama, koje su odgovarale postavljenom cilju istraživanja (slika 4). Utrošci vremena trajanja radnih sastavnica snimani su povratnom metodom kronometrije, uz snimku radnoga dana. Podaci o dimenzijama posjećenih stabala i izrađenih sortimenata prikupljeni su ispisom iz računala harvestera (slika 5).



Slika 4. Radne sastavnice

Figure 4 Working components

Podaci su mjerena unijeti iz terenskih snimačkih listova u računalne datoteke radi lakše dostupnosti pri obradi podataka. Obradom snimljenih podataka obuhvaćena je 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.

5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA – Results of research

Rezultati istraživanja rada harvestera prikazani su kroz: strukturu utrošenih vremena rada, dodatno vrijeme, analizu utrošaka vremena rada pojedinih radnih sastavnica ovisno o dimenzijama posjećenih stabala,

5.1 Ostvarena proizvodnost i struktura utrošenoga vremena – Realised productivity and structure of total time

Praćenje rada harvestera trajalo je ukupno 4 radna dana (27,11 h), za koje je vrijeme posjećeno 832 stabala, odnosno izrađeno $144,8 \text{ m}^3$ oblovine.

Zbog visokog udjela općih vremena u ukupno snimljenom vremenu (51,3 %), harvester je ostvario re-

Timberjack 3000

13.06.2001 0:58:55

LETZTE STAMM SORTEN
LANGHOLZ – LETZTE STÄMME(100 St)

Sorte s TÜK Qual.	Länge m/ Klasse	Durchm. mm/ Klasse	Durchm. mm a.R. Klasse	Preis typ	Gruppe m.R.		
					Klasse	Farbe	

KIFER, STAMMDATEN NUM 1, ZEIT 16:52							
BRENNHOL	411/400	143/120	143	m3Fmor	0	10	10
BRENNHOL	413/400	120/120	120	m3Fmor	0	10	10
BRENNHOL	405/400	78/60	78	m3Fmor	50	10	10
INDUSTRI							32
							162

KIFER, STAMMDATEN NUM 1, ZEIT 16:51							
ABFALL	606/100	84/30	84	m3Fmor	50	9	10
INDUSTRI							57

KIFER, STAMMDATEN NUM 1, ZEIT 16:50							
ABFALL	610/100	91/30	91	m3Fmor	0	9	10
INDUSTRI							76

KIFER, STAMMDATEN NUM 1, ZEIT 16:49							
BRENNHOL	411/400	138/120	138	m3Fmor	0	10	10
BRENNHOL	412/400	116/100	116	m3Fmor	0	10	10
BRENNHOL	413/400	90/80	90	m3Fmor	0	10	10
INDUSTRI							35
							163

Slika 5. Ispis računala harvestera

Figure 5 Harvester printout

Kod nezavisnih su varijabli izučene različite mjere središnje tendencije rasipanja mjernih podataka, a kao najpovoljnije odabранe su medijan i aritmetička sredina sa standardnom devijacijom kao mjerom rasipanja te vrijednosti. Regresijskim je analizama utvrđena stohastička ovisnost između nezavisnih i zavisnih varijabli.

analizu broja i dimenzija izrađenih sortimenata, ovisno o dimenzijama posjećenog stabla, proizvodnost i normu vremena, ovisno o prsnom promjeru posjećenih stabala.

lativno nisku proizvodnost od $5,3 \text{ m}^3/\text{h}$ ili $11,23 \text{ min}/\text{m}^3$ ($31 \text{ stablo}/\text{h}$).

U strukturi općih vremena visoki udio zauzimaju neopravdani prekidi rada (75,3 %), nastali zbog prezentacije stroja, odnosno mjerjenja proizvodnosti har-

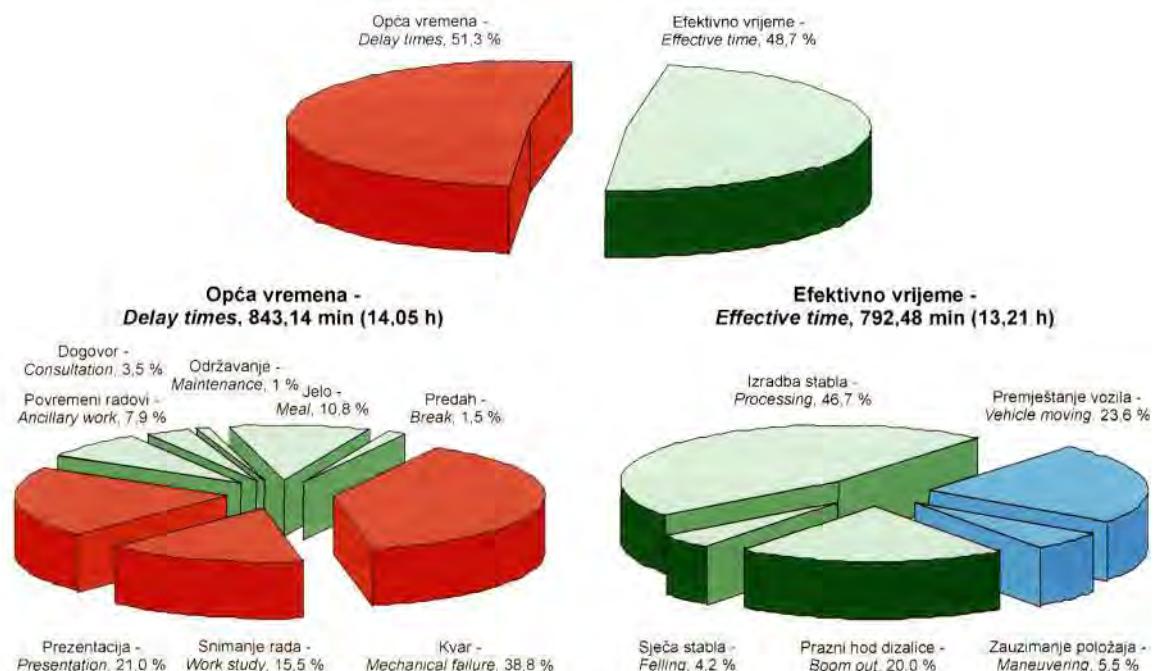
vestera. Tehnički su prekidi nastali zbog kvara elektroventila na harvesterskoj glavi.

Opravdani prekidi rada odnose se na dogovor, prekide za jelo, predah vozača, održavanje vozila te povremene radove. Veći je udio povremenih radova posljedica sječe suhih stabala, koja su se pri samom dodiru harvesterske glave raspadala te se uopće nisu mogla izraditi.

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 - Percentage of od ukupnoga vremena <i>total time</i>	
		min	%
Premještanje vozila - <i>Vehicle moving</i>	187,58	11,5	23,7
Zauzimanje položaja - <i>Maneuvering</i>	43,40	2,7	5,5
Prazni hod dizalice - <i>Boom out</i>	158,19	9,7	20,0
Sječa stabla - <i>Felling</i>	33,05	2,0	4,2
Izradba stabla - <i>Processing</i>	370,26	22,8	46,7
Efektivno vrijeme - <i>Effective time</i>	792,48	48,7	100,0
Opća vremena - <i>Delay time</i>	834,14	51,3	
Ukupno utrošeno vrijeme - <i>Total time</i>	1626,62	100,0	
Ukupno izrađeno drvo <i>Total processed timber</i>	m ³ stabala - <i>trees</i>	144,8 832	
Efektivno vrijeme po jedinici <i>Effective time per unit</i>	min/m ³ min/tree	5,47 0,95	
Ukupno vrijeme po jedinici <i>Total time per unit</i>	min/m ³ min/tree	11,23 1,96	
Ostvareni učinak <i>Realised productivity</i>	m ³ /h tree/h	5,34 31	

Ukupno vrijeme snimanja - Study duration, 1626,62 min (27,11 h)



Slika 6. Struktura utrošaka vremena – Figure 6 Structure of time consumptions

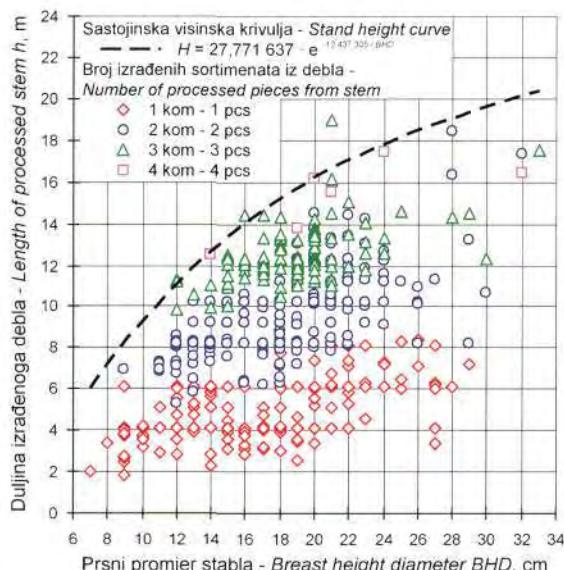
U strukturi efektivnog vremena, sječa i izradba sudjeluje sa 70,9 %, dok ostatak otpada na vožnju harvestera (29,1 %).

Utrošak efektivnog vremena rada harvestera po jedinici iznosio je 5,47 min/m³ ili 0,95 ≈ 1 stablo u minuti.

5.2 Analiza posjećenih stabala i izrađenih sortimenata – Analysis of felled trees and processed assortments

Prije početka rada računalni sustav harvestera Timberjack 3000 je umjeren i u njega su unešeni zahtjevi za minimalnim dimenzijama (promjer na tanjem kraju i duljina) tri tipa sortimenata i to: pilansku oblovinu (20 cm, 3 m), stupove (12 cm, 5 m) te celulozu (6 cm, 1,5 m).

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



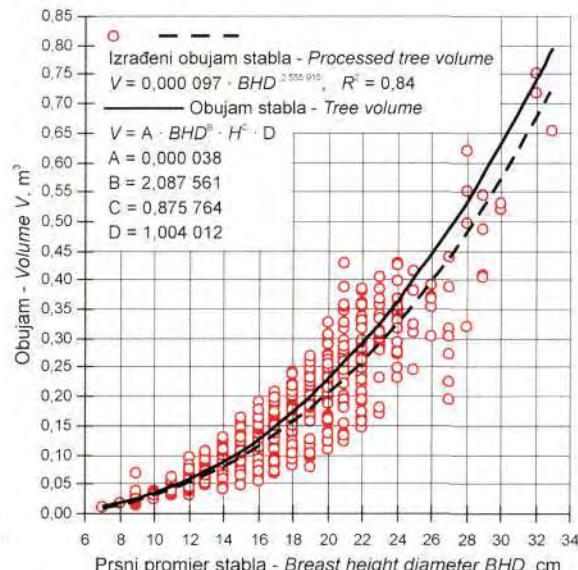
Slika 7. Analiza posjećenih stabala - Figure 7 Analysis of felled trees

Analiza je posjećenih stabala provedena i prikazana kroz ovisnost broja izrađenih sortimenata i duljine izrađenoga debla o prsnom promjeru posjećenoga stabla te kroz ovisnost bruto i neto (izrađenog) obujma stabla o prsnom promjeru (slika 7).

Duljina izrađenoga debla pojedinih posjećenih stabala uspoređena je sa sastojinskom visinskom krivljom (Anon. 1999) pri čemu nije uočeno povećanje duljine izrađenoga debla (i broja izrađenih sortimenata) s povećanjem prsnog promjera, odnosno visine posjećenih stabala. Razlog tomu je velik udio suhih i prelomljenih stabala u strukturi doznake (slika 3). Iz posjećenih stabala harvester je izrađivao od 2 m do 19 m debla (prosječno 8,4 m), odnosno 1 do 4 komada sortimenata (prosječno 1,85).

Obujam je krupnoga drva posjećenih stabala izračunat pomoću Schumacher-Hallove formule (Bezak 1992), dok je obujam izrađenih sortimenata ovisno o prsnom promjeru izjednačen eksponencijalnom krivljom uz vrlo jaku korelaciju ($R^2 = 0,84$). Stavljanjem u odnos ove dvije krivulje, izračunato je prosječno iskoristenje pri sjeći i izradbi drva harvesterom, koje je iznosilo 92 % obujma krupnoga drva stabla.

Statistička analiza izrađenih sortimenata iz posjećenih stabala prikazana je u tablici 2. Prosječni je sred-



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

	Sred. promjer Mid diameter	Duljina Length	Obujam Volume
	cm	m	m³
Medijan - Median	15	4,1	0,07
Aritmetička sredina - Mean	15 ± 4	4,6 ± 1,3	0,10 ± 0,07
Minimum - Minimum	6	1,5	0,01
Maksimum - Maximum	32	15,3	0,67



Slika 8. Izrađeni sortimenti na pomoćnom stovarištu
Figure 8 Processed assortments (roadside landing)

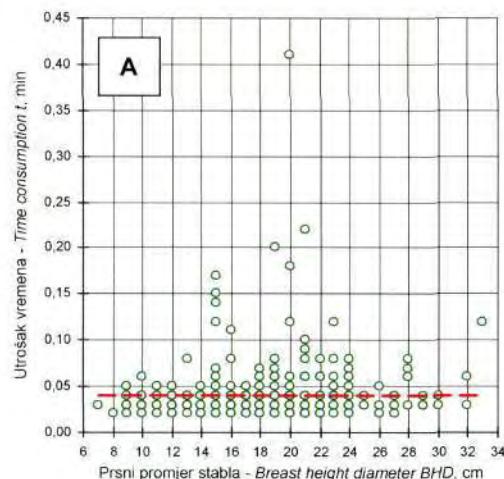
nji promjer izrađene oblovine iznosio 15 cm, duljina 4,6 m te obujam 0,1 m³.

5.3 Analiza utrošaka vremena radnih sastavnica – Analysis of time consumptions of work components

Statistička analiza utrošaka vremenskih sastavnica rada harvester prikazana je u tablici 3. Radni ciklus (posjećeno i izrađeno stablo) jednozahvatnoga harvestera sastoji se od nekoliko radnih sastavnica, od kojih je većina (vožnja harvester, prazni hod dizalice) logički potpuno neovisna o veličini posjećenoga stabla. Stoga su istražene moguće ovisnosti koje pojedine ili

grupe radnih sastavnica o dimenzijama posjećenih stabala (slika 9).

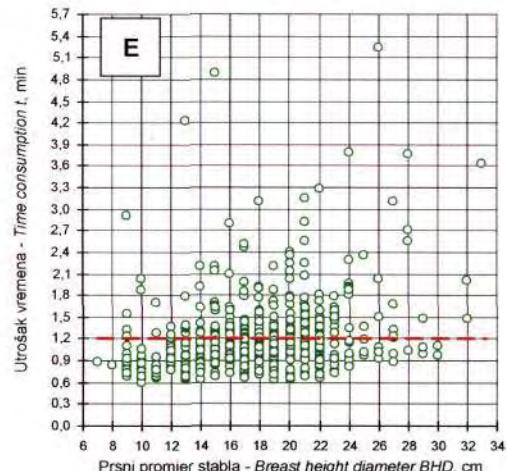
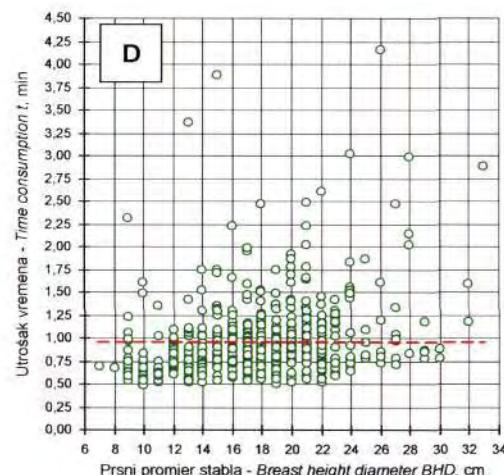
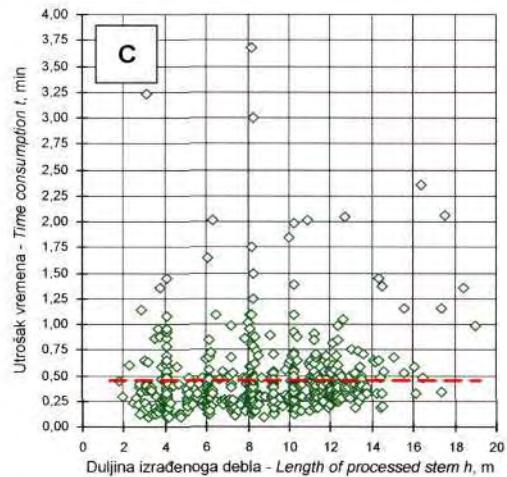
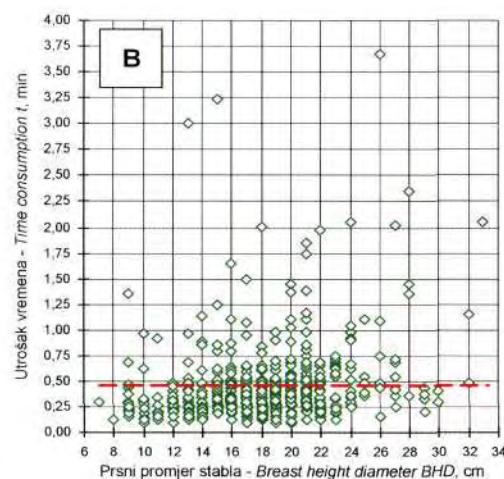
Utrošak vremena sječe neovisan je o prsnom promjeru stabla (slika 9A). Isto tako, nije pronađena ni ovisnost utroška vremena izradbe stabla o prsnom promjeru stabla (slika 9B) i duljini izrađenog debla (slika 9C).



Legenda - Legend:

- A - Ovisnost utroška vremena sječe o prsnom promjeru stabla
Dependance of felling time vs. BHD
- B - Ovisnost utroška vremena izradbe o prsnom promjeru stabla
Dependance of processing time vs. BHD
- C - Ovisnost utroška vremena izradbe o duljini izrađenoga debla
Dependance of processing time vs. H
- D - Ovisnost utroška efektivnog vremena o prsnom promjeru stabla
Dependance of effective tree time vs. BHD
- E - Ovisnost utroška ukupnog vremena o prsnom promjeru stabla
Dependance of total tree time vs. BHD

— · Srednje vrijednosti utrošaka vremena
Average values of time consumptions



Slika 9. Neovisnost utrošaka vremena nekih radnih sastavnica o prsnom promjeru stabla

Figure 9 Independence of time consumptions of some work components vs. BHD

Na utrošak vremena za premještanje vozila i zauzimanje položaja harvester-a utječe sječna gustoća (doznaka, stabala/ha), odnosno broj stabala koje harvester sječe s jednog stajališta. Tijekom istraživanja harvester je s jednoga stajališta posjekao od jednog do pet stabala (prosječno 2,3) s prosječnim utroškom od 0,28 min po stablu.

Uvećavanjem utroška vremena sječe i izradbe svakoga pojedinog stabla s prosječnim utroškom vremena

vožnje harvester-a (0,28 min/stablu) izračunat je utrošak efektivnog vremena sječe i izradbe stabla (slika 9E).

Izbacivanjem neopravdanih prekida iz općih vremena određeno je u apsolutnom iznosu dodatno vrijeme (206 minuta). Dodatno se vrijeme računa prema efektivnom vremenu, te se istome dodaje u obliku postotka ili faktora dodatnog vremena. U ovom istraživanju dodatno je vrijeme iznosilo 26,4 % efektivnog vremena rada harvester-a.

Tablica 3. Statistička analiza utrošaka vremena radnih sastavnica

Table 3 Statistical analysis of work components time consumption

	Suma Sum	Vel. uzorka Count	Medijan Median	Arit. sredina Mean	Minimum Minimum	Maksimum Maximum
Utrošak vremena, min/stablo - Time consumption, min/tree						
Efektivno stableno vrijeme - <i>Effective tree time</i>	792,48	832	0,73	0,95 ± 0,81	0,23	6,89
Vožnja harvester-a - Harvester driving	230,98	832	0,00	0,28 ± 0,62	0,00	6,49
Premještanje vozila - Vehicle moving	187,58	832	0,00	0,23 ± 0,62	0,00	6,49
Zauzimanje položaja - Maneuvering	43,40	832	0,00	0,05 ± 0,12	0,00	0,65
Sječa i izradba - Felling and processing	561,50	832	0,56	0,67 ± 0,53	0,20	3,88
Prazni hod dizalice - Boom out	158,19	832	0,15	0,19 ± 0,15	0,04	1,10
Sječa stabla - Felling	33,05	832	0,03	0,04 ± 0,03	0,02	0,41
Izradba stabla - Processing	370,26	832	0,34	0,45 ± 0,49	0,09	3,67

Efektivno vrijeme stabla uvećano je za utvrđeno dodatno vrijeme (26,4 % efektivnog vremena rada) te je na taj način izračunana norma vremena harvester-a, koja iznosi prosječno 1,2 min po stablu (slika 9E). Ova

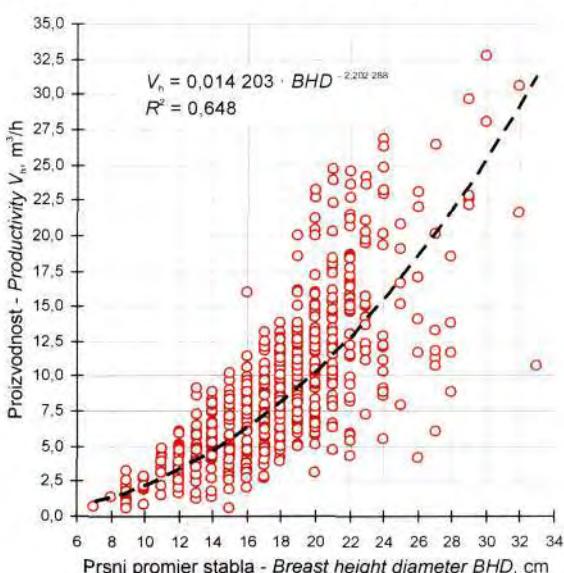
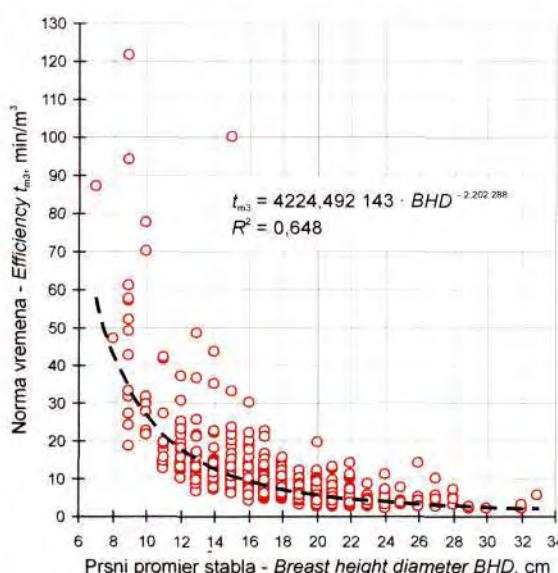
analiza potvrdila je već poznatu nezavisnost utrošaka vremena rada harvester-a o prsnom promjeru posječenoga stabla.

5.4 Moguća proizvodnost i norma vremena harvester-a Timberjack 1070 –

Possible productivity and efficiency of Timberjack 1070

Stavljanjem u odnos utroška ukupnog vremena rada harvester-a po stablu (slika 9D) s izrađenim obujmom sortimenata svakog pojedinog stabla (slika 7) izračunate su vrijednosti norme vremena, odnosno proizvod-

nost harvester-a za svako pojedino stablo (slika 10). Podaci su istraženi regresijskom analizom i izjednačeni eksponencijalnom krivuljom uz vrlo jaku korelaciju, pri čemu je utvrđeno da se 65 % varijabilnosti proizvo-



Slika 10. Ovisnost norme vremena i proizvodnosti o prsnom promjeru posječenih stabala

Figure 10 Efficiency and productivity of Timberjack 1070 vs. BHD of felled trees

dnosti i norme vremena pojašnjava utjecajem prsnog promjera posječenoga stabla.

Iz navedenih je ovisnosti vidljiv snažan utjecaj prsnog promjera posječenih stabala na proizvodnost i nor-

mu vremena sječe i izradbe drva harvesterom, koji je u stručnoj literaturi prepoznatljiv kao zakon obujma komada (Staff i Wiksten 1984, Grammel 1988).

5.5 Usporedba proizvodnosti i jediničnih troškova pri radu motornom pilom i harvesterom –

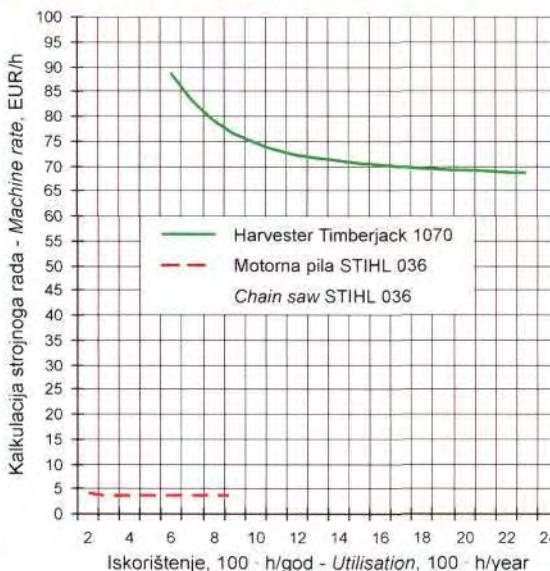
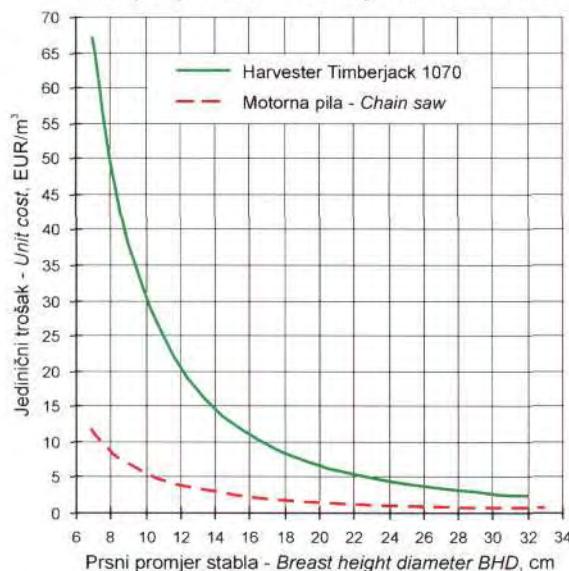
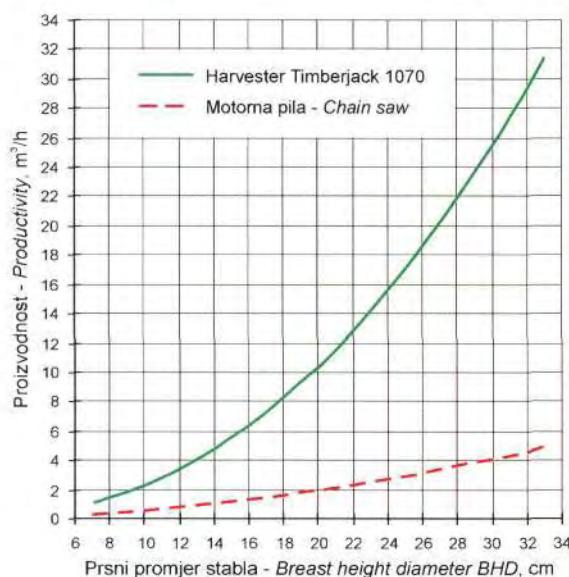
Productivity and unit cost comparision between chain-saw and harvester

Odabir strojeva i metoda rada temelji se općenito na prosudbi o njihovoj proizvodnosti i troškovima rada te prilagođenosti ekološkim, ergonomskim, ekonomskim, energijskim i estetskim zahtjevima (5. E). Ovdje se uspoređuju troškovne i proizvodne značajke sječe i izradbe drva ručno-strojnim radom motornom pilom i strojnim radom harvesterom.

Podaci o proizvodnosti motorne pile pri sjeći i izradbi četinjača, preuzeti su iz istraživanja Bensch i Urbaniak (2001) te uspoređeni s proizvodnošću istraži-

vanoga harvestera.

Proizvodnost sječe i izradbe drva motornom pilom i harvesterom raste s porastom prsnog promjera stabla. Pri sjeći i izradbi stabala prsnog promjera 10 cm (0,03 m³/stablu) proizvodnost motorne pile je 0,5 m³/h, što čini 22 % od proizvodnosti harvester (2,3 m³/h), odnosno učinak je 4,6 puta manji. Kod sjeće stabala prsnog promjera 30 cm (0,63 m³/stablu), proizvodnost motorne pile je 4,1 m³/h, što čini 16 % od proizvodnosti harvester (25,4 m³/h), odnosno učinak je 6,2 puta manji.



Slika 11. Usporedba značajki ručno-strojne i strojne sjeće i izradbe drva

Figure 11 Comparision of features between motor-manual and mechanized felling and processing

Za izračunavanje troška rada harvester-a i motorne pile ovisno o godišnjoj iskoristivosti (broj pogonskih sati godišnje), korištene su kalkulacije izravnog troška rada Odjela za šumsku tehniku šumarskog istraživač-kog instituta austrijskog ministarsva poljoprivrede i šumarstva (FBVA).

Izravni trošak rada harvester-a Timberjack 1070 prema kalkulaciji zasnovanoj na 1800 pogonskih sati godišnje, iznosi 69,55 EUR/h, dok je trošak rada motorne pile (STIHL 036) pri godišnjoj uporabi od 800 sati 3,12 EUR/h.

Unatoč izrazito većoj proizvodnosti strojne sječe i izradbe drva harvesterom u odnosu na ručno-strojni

rad motornom pilom, jedinični trošak sječe i izradbe drva pokazuje da je motorna pila u cijelom istraživanom rasponu jeftinije sredstvo rada, što je najvećim dijelom posljedica velike razlike između nabavnih cijena ova dva sredstva rada.

Pri sjeći i izradbi stabala prsnog promjera 10 cm, jedinični trošak motorne pile ($6,24 \text{ EUR/m}^3$) je 4,8 manji od jediničnog troška harvester-a ($30,24 \text{ EUR/m}^3$), dok je kod sjeće stabala prsnog promjera 30 cm jedinični trošak motorne pile ($0,76 \text{ EUR/m}^3$) za 3,6 puta manji od jediničnog troška harvester-a ($2,74 \text{ EUR/m}^3$).

6. ZAKLJUČCI – Conclusions

Mehanizirana sječa i izradba drva eksperimentalno je, po prvi puta u Hrvatskoj, provedena harvesterom Timberjack 1070 u mješovitoj kulturi običnog bora, američkoga borovca i europskoga ariša starosti 37 godina.

Zbog tehničkih rješenja, visoke proizvodnosti i bolje prilagodljivosti ekološkim, ergonomskim, ekonomskim, energijskim i estetskim zahtjevima okolišno prihvatljivog i potrajanog gospodarenja šumama, harvesteri i forvarderi čine vrhunsku tehnologiju pridobivanja drva koja se u šumarstvu nekih zemalja koristi već tridesetak godina.

Rezultati istraživanja mehanizirane sječe i izradbe drva harvesterom u spomenutim uvjetima, posebno

troškovi rada, daju prevagu primjeni ručno-strojne sjeće i izradbe drva motornom pilom.

Mišljenja smo dà je veći jedinični trošak rada harvester-a u odnosu na motornu pilu djelomično posljedica velikoga udjela sanitarnih sjeća, i da bi pri sjeći zdravih stabala rezultati za harvester bili povoljniji. Ukoliko bi se u obzir uzele ekološke, ergonomski i estetske značajke rada harvester-a te dodatni troškovi mjerjenja drva i svi drugi naknadni troškovi klasične tehnologije, troškovni odnosi bi se pomakli u korist mehanizirane sjeće i izradbe drva. Budućim će se istraživanjima ova pretpostavka potvrditi ili odbaciti, što će utjecati na konačnu odluku o primjeni mehanizirane sjeće i izradbe drva u našim kulturama i 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., 1999: Plan gospodarenja za gospodarsku jedinicu "Zalije – Međuvode" 1999-2008.
- Bensch, P., W. Urbanik, 2001: Timberjack today and for ever. Sammelbuch "Stand und Entwicklung der Forstlichen Verfahrenstechnik an der Wende des Jahrhunderts", 34. Internationales Symposium "Mechanisierung Der Waldarbeit" Forstliche Fakultät Varschau, Polen, 10.-13. Juli 2000, 15-21.
- Berg, S., 1992: Terrain Classification System For Forestry Work. Forest Operations Institute "Skogsarbeten", 1-28.
- Bezak, K., 1992: Double-entry tables of tree volumes for Bitter Oak (*Quercus cerris* L.), Black Pine (*Pinus nigra* Arn.) and Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). Radovi, Special Report No. 5, Forestry Institut Jastrebarsko, 1-120.
- Bojanin, S., A. P. B. Krpan, 1997: Möglichkeit der Hoch- und Vollmechanisierung der Einschlags-
- arbeiten, und Mechanisierung des Holzrückens in Wäldern Kroatiens. Šumarski list 121 (7-8): 135-150.
- 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.
- Drushka, K., H. Konttinen, 1997: Tracks in the Forests – The Evolution of Logging Machinery. Timberjack Group Oy, Helsinki, Finland, 1-254.
- Grammel, R., 1988: Holzernte und Holztransport. Verlag Paul Parey, Hamburg - Berlin, 1-242.
- Krpan, A. P. B., T. Pošinski, 1997: The Future of Roundwood Forwarding in Croatian Forests. International Scientific Conference Forest-Wood-Environment '97, Working Group No 4: Progressive Harvesting Technologies, Soil Erosion Control and Utilization of Forest Biomass, Zvolen, Slovakia, 27-35.
- Krpan, A. P. B., T. Pošinski, 2001: Harvester Timberjack 1070 in Croatia. Šumarski list 125 (11-12): 619-624.

- 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.
- Mellgren, P.G., 1980: Terrain Classification for Canadian Forestry. Canadian Pulp and Paper Association, 1-13.
- 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.
- Poršinsky, T., 1996: Forwarder application to wood transportation in Croatia. Proceedings "Progresses in Forest Operations", Ljubljana, Slovenija, 133-141.
- Poršinsky, T., 2000: Efficiency factors of Timberjack 1210 at forwarding the main felling roundwood in Croatian lowland forests. Master Thesis, Forestry Faculty of Zagreb University, 1-140.
- 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.
- Sambo, S. M., 1999: Reduction of trail density in a partial cut with a cut-to-length system. *For. Eng. Res. Inst. Can.* (FERIC), Pointe-Claire, Que. Tech. Note TN-293. 1-12.
- Staff, K. A. G., N.A. Wiksten, 1984: Tree harvesting Techniques. Martinus Nijhoff/DR W. Junk Publishers, Dodrechts/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 research results of productivity and costs of mechanized felling and processing of wood by harvester Timberjack 1070 in the culture of conifers. The productivity of harvester was determined by time and work study method. Times of felling and processing wood by harvester were broken down into work components. Time consumptions of specific work components were measured by snap-back chronometry method with the record of the whole working day. The data on the size of felled trees and processed assortments were printed from the harvester computer. The collected data were processed by mathematical and statistical methods by use of a PC. The basic unit of analysis was the cut and processed tree.

The analysis of work time consumptions of specific work components of felling and processing of wood by harvester showed no dependence between time consumption and size of felled trees. Putting into correlation the consumption of total harvester work time per tree with processed volume of assortment of each tree, the values were calculated of efficiency and productivity of harvester for each tree. The data were investigated by use of regression analysis and equalized by exponential curve with very strong correlation.

The well known effect of the law of piece volume can be easily seen through the dependence of productivity and unit costs of felling and processing of wood by harvester on breast height diameter of felled trees. In felling and processing trees of 10 cm BHD ($0.03 \text{ m}^3/\text{tree}$) the harvester productivity is $2.3 \text{ m}^3/\text{h}$ (EUR 30.24 per m^3) and in felling trees of 30 cm BHD ($0.63 \text{ m}^3/\text{tree}$), the harvester productivity is $25.4 \text{ m}^3/\text{h}$ (EUR 2.74 per m^3).

This paper also shows the comparison between productivity and unit costs of felling and processing of wood performed by chain saw and harvester depending on breast height diameter of the tree. The data related to machine rate have been taken from FBVA (Austria) database – the calculation of forest machines performance.

In felling and processing wood, the chain saw productivity is lower from 22 % (10 cm BHD) to 16 % (30 cm BHD) in relation to harvester productivity. Unit costs of felling and processing wood by chain saw are lower from 4.8 times (10 cm BHD) to 3.6 times (30 cm BHD) in relation to mechanized felling and processing performed by harvester.

Key words: cut-to-length harvesting method, harvester, productivity, cost per m^3