

## DJELOTVORNOST STROJNE SJEČE I IZRADE U SASTOJINAMA TVRDIH I MEKIH LISTAČA – 3. DIO: DJELOTVORNOST HARVESTERA U PRIRODNOJ PROREDNOJ SASTOJINI TVRDIH LISTAČA

EFFICIENCY OF MECHANICAL FELLING AND PROCESSING IN SOFT AND HARDWOOD  
BROADLEAVED STANDS – PART 3: EFFICIENCY OF HARVESTER IN NATURAL  
THINNING STANDS OF HARDWOOD BROADLEAF SPECIES

Ante P. B. KRPAN\*, Tomislav PORŠINSKY\*\*, Igor STANKIĆ\*\*\*

**SAŽETAK:** U radu su prikazani rezultati istraživanja strojne sječe i izrade harvesterom Timberjack 1270B u 80-godišnjim prirodnim prorednim sastojinama hrasta kitnjaka, obične bukve i običnoga graba.

Istraživane sječine podjednakih su sastojinskih značajki: drvna zaliha – 310 m<sup>3</sup>/ha, temeljnica – 24,3 m<sup>2</sup>/ha uz 430 stabala po ha, sječna gustoća – 30 m<sup>3</sup>/ha uz 47 stabala po ha. Sastojine nisu bile sekundarno otvorene usporednim vlastitim tipičnim za rad harvester-a, niti je u tom smjeru provedena doznaka stabala. Stoga se harvester do doznačenih stabala kretao po sječini, pri čemu je, radi neometanog prolaza, posjekao pokoje nedoznačeno (tanje) stablo.

Stabla, čiji su promjeri u visini panja nadilazili mogućnost zahvatanja sječnom glavom harvester-a, posjekao je motornom pilom pomoći radnik – sjekač. Isto tako, stabla s izrazitije razvijenim krošnjama izradivo je sjekač. U strukturi efektivnoga vremena strojni rad harvesterom prevladava s udjelom od 81,3 %, a na ručno-strojni rad motornom pilom otpada 18,7 %.

Raščlambom strojnog rada harvester-a utvrđeno je da sječa i izradba stabala sudjeluje sa 44,2 %, prazni hod hidraulične dizalice sa 7,9 %, čišćenje grmlja sa 4,8 %, a premještanje harvester-a pri radu sa 24,4 %.

Prosječna ostvarena proizvodnost sječe i izrade drva zajedničkim radom harvester-a i motorne pile iznosila je 14,5 m<sup>3</sup>/h ili 24 stabla/h, uz utrošak ukupnog vremena od 4,13 min/m<sup>3</sup> odnosno 2,45 min/stablu. Utrošak efektivnoga vremena harvester-a iznosio je 3,78 min/m<sup>3</sup> ili 2,24 min/stablu.

Na temelju rezultata istraživanja strojne sječe u sastojinama mekih i tvrdih listača i tržišne cijene sječe i izrade drva motornom pilom, preporučuje se područje primjene harvester-a u bjelogoričnim sastojinama.

**Ključne riječi:** strojna sječa, Timberjack 1270B, proreda, tvrde listače, djelotvornost

### 1. UVOD – Introduction

Objava, koja je pred nama, nalazi se u središtu interesa šumarske struke, posebno dijela usmjerenoga na

\* Prof. dr. sc. Ante P. B. Krpan, Mr. sc. Tomislav Poršinsky, Igor Stankić, dipl. ing., Zavod za iskorištavanje šuma, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb, ante.krpan@htnet.hr – stankic@hrast.sumfak.hr

prihodovanje u osjetljivom području proreda bjelogoričnih sastojina. Vidjeli smo iz dosadašnjih objava da je područje rada harvester-a uvjetovano većim brojem čimbenika. Tehnička rješenja sječne glave i sukladnost konstrukcijskih sustava svrstavaju harvester u red strojeva uporabljivih za sječu i izradbu stabala ograničenih dimenzija i mase. Područje rada harvester-a u prirod-

nim sastojinama tvrdih listača u najužem smislu određeno je prsnim promjerima sjećivih stabala – s lijeve strane debljinske raspodjele stablima minimalnog promjera s još prihvativom djelotvornošću (troškovima), a s desne strane najvećim promjerom određenim tehničkim značajkama sjećne glave. Ukoliko promjeri pridanka prelaze kapacitet sjećne glave, a stablo se inače može izraditi strojno, tada se za rušenje stabala, kao i pokoje druge radove, koristi motorna pila, odnosno kombinacija strojnoga i ručno-strojnoga rada.

Za stjecanje spoznaja o strojnoj sjeći bjelogoričnih sastojina dragocjena su strana iskustva, posebno iskustva zemalja u kojima se takav rad provodi u praksi u sličnim sastojinskim i terenskim uvjetima poput Francuske i Njemačke. Zbog toga ovdje iznosimo neka, po našem mišljenju, važna zapažanja iz radova Sionneau i Cuchet (2001), Bigot i Cuchet (2003) te Forbrig i Encke (2004).

U Francuskoj se godišnje posječe 13 mil. m<sup>3</sup> bjelogorice, od čega 8 mil. m<sup>3</sup> pilanskih i furnirskih trupaca i 5 mil. m<sup>3</sup> drva za celulozu i ploče vlaknatice. Od navedene se količine strojno posječe i izradi 350 000 m<sup>3</sup>. Celulozno drvo dobiva se čistom sjećom panjača, čistom sjećom degradiranih sastojina male vrijednosti, iz preda u visokim šumama hrasta i bukve i iz ovršina stabala u dovršnim sječama. Početak primjene harvester-a pada sredinom 90-tih godina prošloga stoljeća. Poseban se poticaj strojnoj sjeći dogodio u prosincu 1999. godine, kada je u dva dana olujnim vjetrom porušeno 140 mil. m<sup>3</sup> drva, uključujući 60 mil. m<sup>3</sup> bjelogoričnog.

Važnu ulogu u razređbi sastojinskih i terenskih uvjeta pogodnih za primjenu harvester-a ima Francuski nacionalni institut za šumsku inventuru (*Inventaire Forestier National, IFN*), koji svakih deset godina obnavlja podatke o površini šuma, strukturi sastojina, vlasničkoj strukturi, nagibu terena, udaljenosti od šumske ceste i druge važne parametre. Za bjelogorične sastojine su utvrđeni uzgojni oblici: visoke šume, srednje šume i panjače. Razredbom su određene površine i drvene zalihe navedenih bjelogoričnih šuma za mehaničku sjeću na temelju sljedećih kriterija:

- ⇒ šest vrsta drva – bukva, hrast, grab, kesten, breza, trepetljika,
- ⇒ 3 klase promjera: 7,5–17,5 cm; 17,5–27,5 cm; 27,5–37,5 cm,
- ⇒ stabla prsnoga promjera iznad 40 cm nisu predviđena za strojnu sjeću,
- ⇒ javne ili privatne šume,
- ⇒ nagib terena unutar 30 %,
- ⇒ najveća udaljenost od ceste 2000 m.

Na temelju navedenih kriterija za strojnu je sjeću u Francuskoj prema visokoj prosudbi pogodno 5,3 mil. m<sup>3</sup>/godišnje, a prema niskoj prosudbi 3,8 mil. m<sup>3</sup>/godišnje.



Slika 1. Strojna sjeća lužnjaka u Francuskoj

Izvor: Sionneau i Cuchet (2002)

Fig. 1 Oak mechanical felling in France

Sionneau and Cuchet (2002)

Krajem 2002. u francuskim bjelogoričnim sastojinama radi 20 harvester-a, a još 20 povremeno. Od navedenih strojeva 40 % su kotačni (4, 6 i 8 kotačni), a 60 % gusjenični harvesteri. Autori ističu da su 4 - kotačni harvesteri jeftiniji, ali slabije prilagođeni nagibu terena. S obzirom na harvester-sku glavu razlikuju se tri grupe strojeva:

- ⇒ harvesteri s konvencionalnom glavom za meko drvo bez značajnih preinaka,
- ⇒ harvesteri s konvencionalnom glavom prilagođenom tvrdom drvu listača (broj, pozicija i profil noževa i njihov kontrolni mehanizam, gornja pila),
- ⇒ glave za tvrdo drvo (mogu raditi i meko).

Razvijena su tri sustava organizacije rada:

- ⇒ sustavni rad u tandemu harvester i sjekač (povećani troškovi kompenziraju se povećanom kvalitetom i proizvodnošću strojnog rada te prevencijom mehaničkih incidenta),
- ⇒ strojni rad uz povremenu uporabu sjekača,
- ⇒ vozač forvardera radi od  $\frac{1}{2}$  do 1 dan tjedno s motorom pilom.

Proizvodnost harvester-a varira u širokim granicama od 6–8 m<sup>3</sup>/h, 50–300 m<sup>3</sup>/dan, 12 000–30 000 m<sup>3</sup>/godišnje. Uz trošak od 115 EUR/h odnosno 15 EUR/m<sup>3</sup> najmanja proizvodnost za profitabilan rad iznosi zaokruženo 7,5 m<sup>3</sup>/h.

Sionneau i Cuchet (2001) donose preporuke za strojnu sjeću listača: najmanji srednji prsnji promjer stabala 14–15 cm, najmanja visina stabala 16–18 m, mala granatost, ravno deblo, 35–60 % stabala za sjeću, 50–75 m<sup>3</sup>/ha, nagib terena manji od 30 %, razmak vlaka 12–15 m, širina vlaka 4 m, granje se kreše ispred stroja radi zaštite tla, izbjegavati rad u vegetacijskom razdoblju, stabla obilježiti bojom s obje strane, dati jasne i jednostavne upute s obzirom na razlike među vrstama drveća i duljinama oblovine, upute o preostalim stablima i drugo.



Slika 2. Bukova sastojina posjećena harvesterom u Njemačkoj  
Fig. 2 Stand of beech felled by harvester in Germany

Prema navedenim autorima razvoj strojne sjeće je "globalan" jer u njemu nalaze interes svi u lancu šuma – prerada drva:

- ⇒ proizvođači opreme – kroz razvoj strojeva,
- ⇒ šumoposjednici i manageri – kroz razvoj metoda uzgoja prikladnih za strojni rad,
- ⇒ poduzetnici u šumarstvu – kroz povećanje proizvodnosti i kakvoće u lancu sjeća – izradba – privlačenje – prijevoz,
- ⇒ drvna prerada – kroz razvoj proizvoda iz oblovine manje kakvoće,
- ⇒ obrazovanje – kroz osposobljavanje operatera.

Harvesteri se u Njemačkoj (Forbrig i Eneke 2004) primjenjuju u bjelogoričnim prorednim čistim i mješovitim sastojinama uz različite razmake vlaka. U pokrajini Hessen najmanji je međusobni razmak usporednih vlaka 30 m. Pri čistom strojnom radu razmak vlaka ne prelazi vrijednost od 20 m. Širina vlaka je 4 m. Autori upozoravaju na povećanu osjetljivost stabala u vegetacijskom razdoblju, kada su štete na stablima (ozljede kore na deblu i pridanačkom žilju) izraženije u odnosu na štete u razdoblju mirovanja vegetacije.

U pripremi i izvođenju rada uključen je veći broj subjekata:

- ⇒ šumoposjednik postavlja i jasno obilježava mrežu vlaka, izabire i obilježava tzv. Z – stabla (stabla budućnosti), obilježava doznačena stabla i sklapa ugovor o prodaji na panju s poduzetničkim servisom,

⇒ poduzetnički servis planira sortiranje i obilježavanje sortimenata, njihovo privlačenje i prijevoz, ugovara sjeću i izradbu s poduzetnikom koji obavlja strojnu sjeću, planira organizaciju i izvođenje transportne logistike,

⇒ poduzetnik za sjeću organizira i izvodi sjeću i privlačenje u režiji poduzetničkoga servisa.

Nadzor količine i kakvoće za vrijeme izvođenja radova provodi voditelj projekta, a konačnu kontrolu voditelj projekta i šumoposjednik.

U primjeru koji prinose autori, visoka proreda u 53-godišnjoj bukovoj sastojini provedena je harvesterom Timberjack 1470D, a izvoženje sortimenata forvarderom Valmet 860. Sjećena su i izrađivana bukova stabla prsnih promjera s korom od 18 cm do 24 cm, pri čemu su u navedenom rasponu postignuti učinci od 35 do 27 stabala/hrs (hrs – sat rada stroja), odnosno od 9,0 do 11,0 m<sup>3</sup>/hrs. Troškovi sjeća i izradbe kretali su se od 17,04 EUR/m<sup>3</sup> do 13,94 EUR/m<sup>3</sup>. Učinak izvoženja forvarderom Valmet 860 je 10 m<sup>3</sup>/hrs, a trošak 10,37 EUR/m<sup>3</sup>. Autori zaključuju da je tehnologija strojne prorjede, uz dosegnutu visoku proizvodnost i gospodarski učinak u navedenom primjeru, provediva i podržava ciljeve gospodarenja prirodnim šumama.

Iz navedenih francuskih i njemačkih primjera vidljivo je da je strojnu sjeću moguće prilagoditi gospodarenju prirodnim bjelogoričnim šumama u fazi prorjeda, bez da se ugrozi struktura sastojina i postavljenih ciljeva gospodarenja. Ekološka prilagođenost vrhunske tehnologije također govori u prilog strojnoj sjeći, a visoka djelotvornost i mogućnost primjene just-in-time načina rada otklanja troškovne upite.

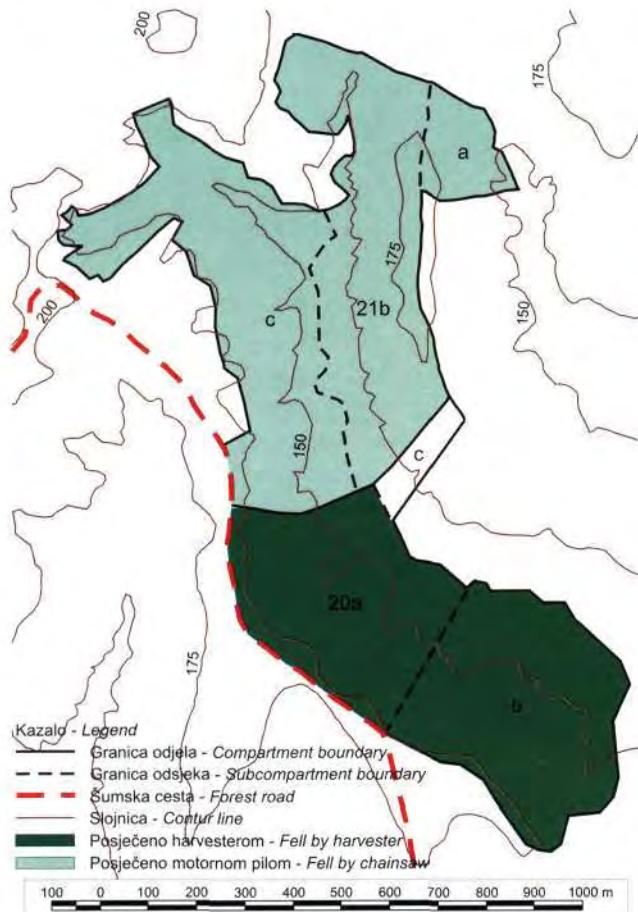
Slunjski i Bedeković (2003) su na temelju analize područja djelotvornosti harvestera u prorjeda naših mješovitih bjelogoričnih sastojina i podataka o debljinskoj strukturi iz Plana sjeća za 2003. godinu poduzeća Hrvatske šume d.o.o. Zagreb, vrlo opreznim izračunom došli do brojke od 7 harvestera, kojih bi količinski kapacitet u sklopu prorjeđivanja naših bjelogoričnih sastojina bio zadovoljen.

U ovome je radu proučavana strojna sjeća harvesterom u proredi tvrdih bjelogoričnih vrsta. S obzirom na starost sastojine odnosno dimenzije i krošnjatost najdebljih doznačenih stabala, u graničnim je slučajevima primjenjen ručno-strojni rad motornom pilom, što je dodatno omogućilo proučavanje kombiniranog strojnog i ručno-strojnog rada.

## 2. MJESTO ISTRAŽIVANJA – Study site

Istraživanje rada harvestera obavljeno je u razdoblju od 19. do 30. rujna 2002. u odsjeku 20a i 20b, G.J. Dišnica – Zobikovac – Petkovača, Šumarije Garešnica, Uprave šuma podružnice Bjelovar.

Sastojine u odsjecima 20a i 20b su prirodne jednodobne mješovite šume hrasta kitnjaka, obične bukve i običnoga graba, starosti 79 godina, u kojima se izvodi la proreda. Pripadaju uređajnom razredu hrasta kitnjaka.



ka (gospodarenje uz ophodnju 120 godina), odnosno ekološko-gospodarskom tipu II-D-11.

Radi usporedbе sortimentne strukture drva izrađenoga ručno-strojnim odnosno strojnim radom koristit će se podaci iz odjela 21 (odsjeci a, b i c iste starosti i ekološko-gospodarskog tipa kao odjel 20), koji je posječen motornom pilom u proljeće 2002. Osnovni su sastojinski i eksploracijski podaci odsjeka u kojima

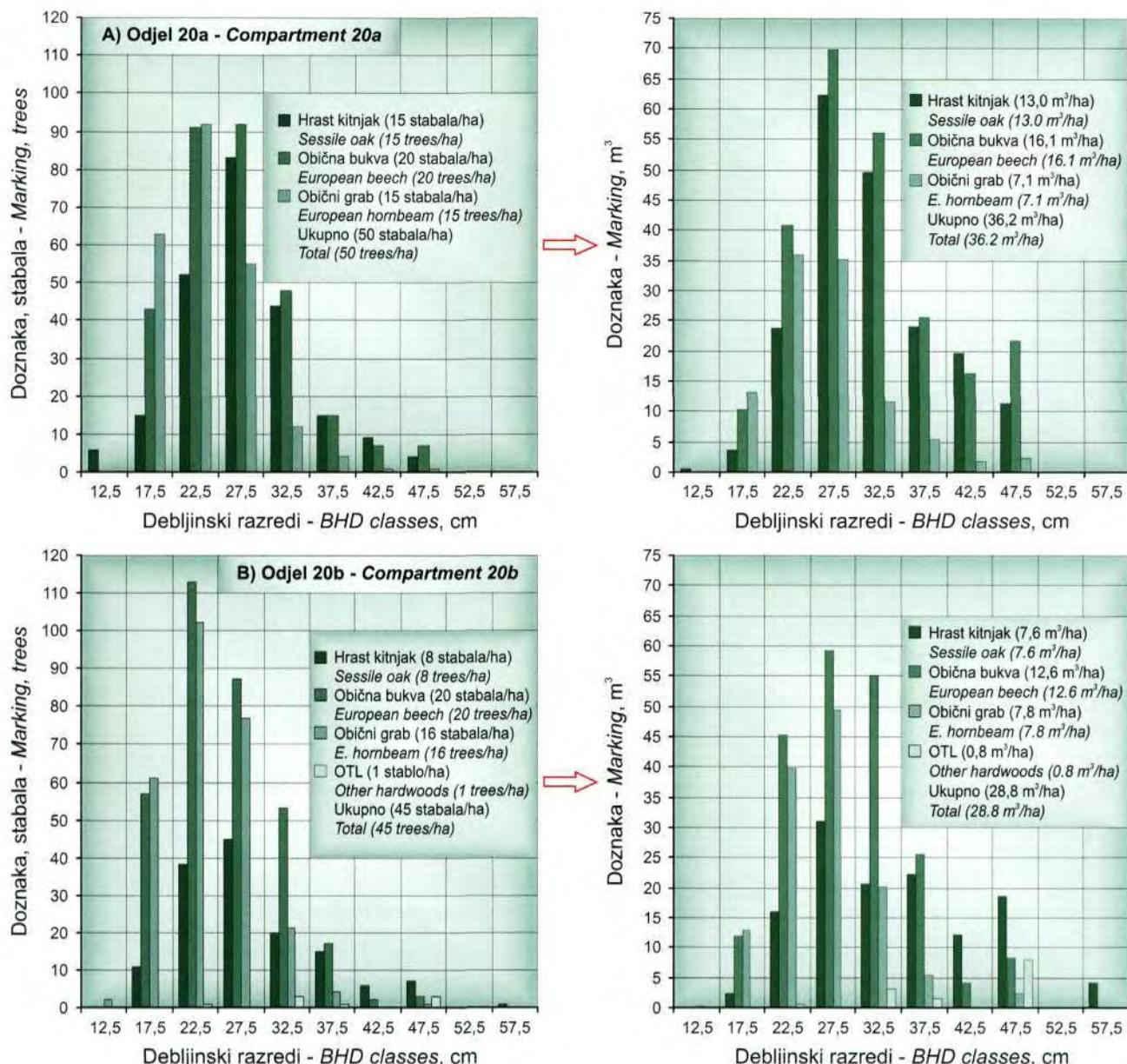


Slika 4. Odjel 20a  
Fig. 4 Compartment 20a

Slika 3. Skica radilišta  
Fig. 3 Scheme of cut-block

Tablica 1. Osnovni podaci mesta istraživanja  
Table 1 Basic data of study sites

Značajke odsjeka Features of subcompartments		Odjel – Compartments	
		20a	20b
Opće značajke – General features			
Površina – Area, ha		14,96	16,65
Ekspozicija – Exposition		SI – NE	SI – NE
Inklinacija – Inclination, °		8	7
Nadmorska visina – Altitude, m		165	160
Udaljenost privlačenja – Extraction distance, m		200	160
Sastojinske značajke – Stand features			
Drvna zaliha – Growing stock, m³/ha		323	303
Temeljnica – Basal area, m²/ha		24,4	24,2
Broj stabala po ha – No. of trees per ha		449	407
Obrast – Stocking		0,97	0,96
Prirast, m³/ha·god. – Increment, m³/ha·year		9,4	8,7
Omjer smjese – Share of species, %	Kitnjak – Sessile oak	48,9	35,3
	Bukva – European beech	37,1	45,8
	Grab – European hornbeam	13,6	16,8
	OTL – Other hardwood	0,4	2,1
Eksploracijske značajke – Harvesting features			
Sječna gustoća – Harvesting density	stabala/ha – trees per ha	50	45
	Bruto – Gross, m³/ha	36,2	29,3
	Neto – Yield, m³/ha	32,2	25,7
	Tehnika – Technical roundwood, m³/ha	12,2	9,0
	Prostornoga drva – Cordwood, m³/ha	20,0	16,7
	Srednje sječno stablo, m³ – Mean cut tree, m³	0,71	0,64



Slika 5. Struktura doznake – Fig. 5 Structure of marking

su provedena istraživanja usporedno prikazani u tablici 1, a struktura doznake na slici 5.

Odsjeci 20a i 20b nisu bili pripremljeni za klasičan način rada harvester-a. Pod tim se ponajprije misli na postavljanje mreže usporednih vlaka na odabranom međusobnom razmaku te doznaku stabala. Harvester se do doznačenih stabala kretao sječinom. Po potrebi je sjekač navodio harvester do doznačenih stabala. Nagib terena od 8°, mikroreljef, stanje tla ili druge zapreke nisu predstavljali teškoće pri kretanju harvester-a tijekom rada. Jedino su harvesterom posjećena tanka stabla podstojne etaže koja su ometala prolaz vozila.

Stabla većih dimenzija, koja su zbog razvedenog žilišta imala promjer u panju veći od 60 cm i koja se nisu mogla zahvatiti sječnom glavom, sjekač je oborio

Slika 6. Način rada harvester-a  
Fig. 6 Harvester operation

motornom pilom (slika 6). Pri tome je harvester, držeći deblo na visini od 6 do 8 m iznad tla, osiguravao smjer

obaranja stabla. Isto tako, stabla s izrazitije razvijenim krošnjama izrađivao je sjekac.

### 3. METODA ISTRAŽIVANJA – Method of research

Primjenjeni kombinirani strojni i ručno-strojni rad otvorio je problem odabira metode prikupljanja podataka (Krpan i Pošinskiy 2004B) pri istraživanju. Problem je rješen na način da je snimanje rada harvester-a provedeno VHS kamerom (Corcoran i Cameron 1988), svakodnevno u trajanju od jednog sata. Po završetku snimanja izmjerene su dimenzije izrađenih sortimenata. U tom smislu su se posjećena i izrađena stabla tijekom snimanja obročavala radi povezivanja podataka utroška vremena i izrađenog drva. Mjerenje utrošaka vremena pojedinih sastavnica obavljeno je u uredu skidanjem vremena s VHS zapisa, uz korištenje potrebne tehnike za reprodukciju snimke i provedbu povratne metode kronometrije (slika 7).



Slika 7. Studij rada u vremenu – sada i u uredu?

Fig. 7 Work and time study – nowdays also in the office?

### 4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA – Results of research

Rezultati istraživanja djelotvornosti strojne sjeće i izradbe harvesterom Timberjack 1270B u navedenim sastojinama hrasta kitnjaka, obične bukve i običnoga graba prikazani su kroz analizu strukture utrošenoga vremena i ostvarene proizvodnosti, analizu izrađenih

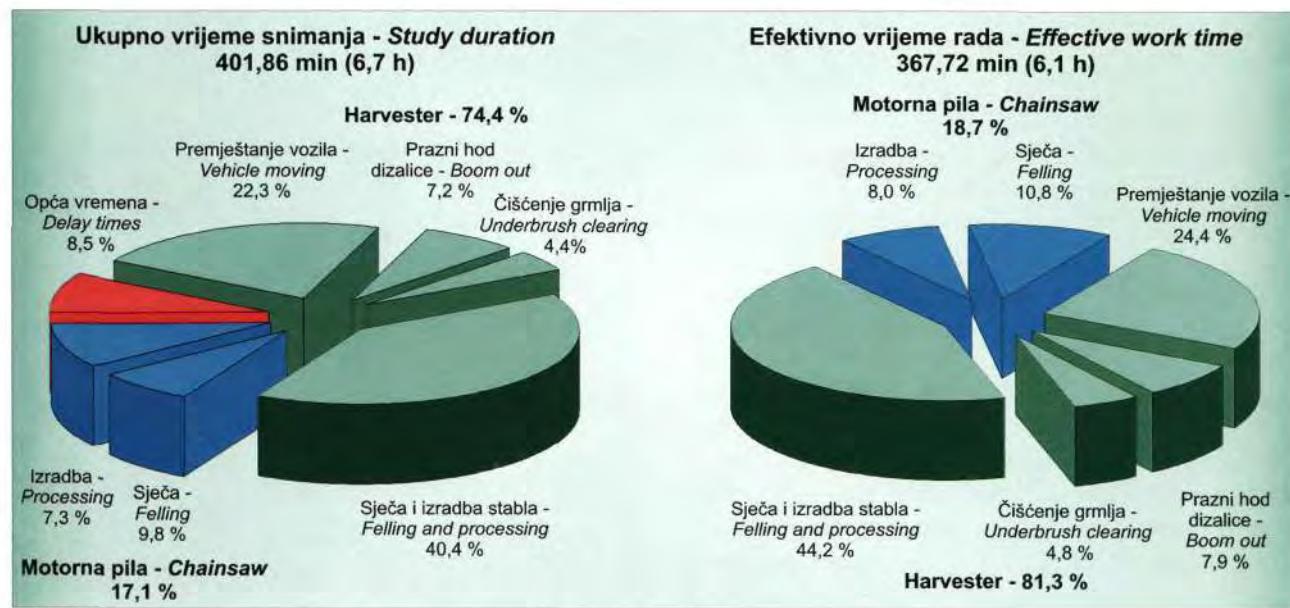
sortimenata, moguću proizvodnost i normu vremena, kalkulaciju troška strojnoga rada harvester-a Timberjack 1270B i usporedbu proizvodnosti i jediničnih troškova rada u sastojinama mekih i tvrdih listača.

#### 4.1 Struktura utrošenoga vremena i ostvarena proizvodnost

Structure of total times and realised productivity

Praćenje kombiniranog rada harvester-a i motorne pile trajalo je ukupno 6,8 sati, a za to su vrijeme posjećena 164 stabla, odnosno izrađeno  $97,4 \text{ m}^3$  oblovine

(619 sortimenata). Prosječni izrađeni obujam krupnoga drva stabla iznosio je  $0,59 \text{ m}^3$ .



Slika 8. Struktura utrošaka vremena – Fig. 8 Structure of time consumptions

Tablica 2. Struktura utrošaka vremena rada i neke prosječne ostvarene vrijednosti  
Table 2 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>	od efektivnoga vremena <i>effective time</i>
	min	%	
<b>Harvester</b>	298,86	74,4	81,3
Premještanje vozila – <i>Vehicle moving</i>	89,73	22,3	24,4
Prazni hod dizalice – <i>Boom out</i>	28,92	7,2	7,9
Čišćenje grmlja – <i>Underbrush clearing</i>	17,74	4,4	4,8
Sjeća i izradba stabla – <i>Felling and Processing</i>	162,47	40,4	44,2
<b>Sjekač sa motornom pilom – Cutter with chainsaw</b>	68,86	17,1	18,7
Sjeća stabla – <i>Tree felling</i>	39,55	9,8	10,8
Izradba stabla – <i>Stem processing</i>	29,31	7,3	8,0
Efektivno vrijeme – <i>Effective time</i>	367,72	91,5	100,0
Opća vremena – <i>Delay time</i>	34,14	8,5	
Ukupno utrošeno vrijeme – <i>Total time</i>	401,86	100,0	
Ukupno izrađeno drvo	m <sup>3</sup>	97,4	
<i>Total processed timber</i>	stabala – <i>trees</i>	164	
Efektivno vrijeme po jedinici	min/m <sup>3</sup>	3,78	
<i>Effective time per unit</i>	min/stabla - min/tree	2,24	
Ukupno vrijeme po jedinici	min/m <sup>3</sup>	4,13	
<i>Total time per unit</i>	min/stabla - min/tree	2,45	
Ostvareni učinak	m <sup>3</sup> /h	14,5	
<i>Realised productivity</i>	tree/h	24	

U strukturi efektivnog vremena strojni rad harvester-a s 81,3 % prevladava u odnosu na ručno-strojni rad motornom pilom, koji iznosi 18,7 %. Raščlambom strojnoga rada harvester-a utvrđeni su postotni udjeli pojedinih sastavnica kako slijedi: sjeća i izradba stabala 44,2 %, prazni hod hidraulične dizalice 7,9 %, čišćenje grmlja 4,8 % te premještanje harvester-a pri radu 24,4 %.

Prosječna ostvarena proizvodnost sjeće i izradbe drva zajedničkim radom harvester-a i motorne pile iznosila je 14,5 m<sup>3</sup>/h odnosno 24 stabala/h, uz utrošak ukupnog vremena od 4,13 min/m<sup>3</sup> odnosno 2,45 min/stablu.

Utrošak efektivnoga vremena harvester-a po jedinici iznosio je 3,78 min/m<sup>3</sup> ili 2,24 min/stablu.

Zbog načina provedenog istraživanja utvrđen je mali udio prekida rada u ukupnome snimljenome vremenu (8,5 %). Udio je općih vremena, vremena prekida, moguće pouzdano utvrditi dugotrajnim snimanjem određenoga rada, primjenjujući tehniku snimke radnoga dana, što pri ovim istraživanjima, kako je već navedeno, nije bio slučaj.

#### 4.2 Analiza izrađenih sortimenata Analysis of processed assortments

Tablica 3. Statistička analiza izrađenih sortimenata  
Table 3 Statistical analysis of processed assortments

	Sred. promjer <i>Mid diameter</i>	Duljina <i>Length</i>	Obujam <i>Volume</i>
	cm	m	m <sup>3</sup>
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

Prije početka rada harvester-a je računalni sustav Timberjack 3000 umjeren. U njega su za tehničku oblovinu unešene zadane veličine najmanjih promjera na tanjem kraju s korom i najmanje zadane duljine posebno po vrstama drva: hrast (27 cm, 2,2 m), bukva (26 cm, 2,2 m) i grab (22 cm, 4 m). Osim toga, zadano je da duljina tehničke oblovine raste po 10 cm do najveće zadane duljine od 7 m.

Višemetarsko prostorno drvo izrađivano je u duljinama od 4 m, s time da je najmanji promjer na tanjem kraju 7 cm s korom.

Na osnovi zadanih minimalnih dimenzija sortimenta i dimenzija pojedinog debla, sustav Timberjack 3000 donosio je odluku o mjestu trupljenja uz polućenje najvećeg iskorištenja debla.

Statistička analiza izrađenih sortimenata iz posjećenih stabala prikazana je u tablici 3.

Prosječni srednji promjer izrađene oblovine iznosio je 28 cm, duljina 4,5 m te obujam 0,29 m<sup>3</sup>.



Slika 9. Izrađeni grabovi sortimenti  
Fig. 9 Processed hornbeam assortments

#### 4.3 Moguća proizvodnost i norma vremena

Possible productivity and standard time

Statistička analiza utrošaka vremenskih sastavnica sjeće i izradbe drva zajedničkim radom harvester-a i motorne pile prikazana je u tablici 4. Uspoređujući utroške vremena radnoga ciklusa (posjećeno i izrađeno stablo) jednozahvatnoga harvester-a ostvarene pri čistoj sjeći kulture bijele vrbe (Krpan i Poršinsky 2004B) i

proredi tvrdih listača, uočljive su značajne razlike u trajanju sastavnica premještanje vozila te sjeća i izradba.

Premještanje vozila je sastavnica rada harvester-a potpuno neovisna o veličini posjećenoga stabla. Pri čistoj sjeći kulture bijele vrbe s gustoćom sjeće 633 stabla po ha, prosječni utrošak ove radne sastavnice

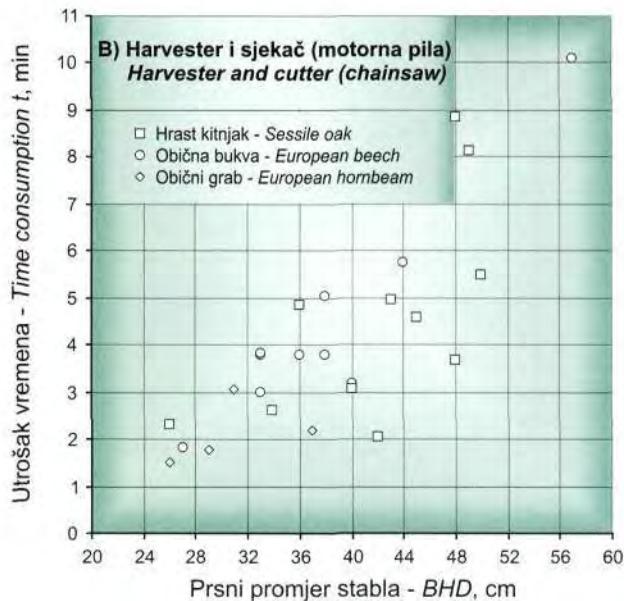
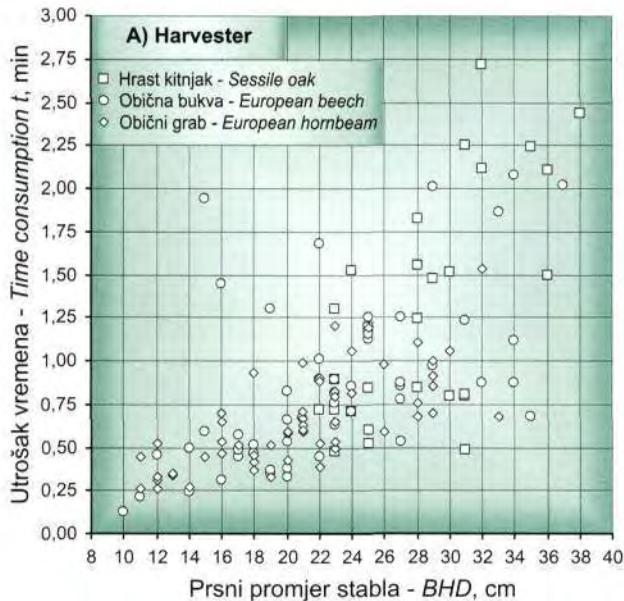
Tablica 4. Statistička analiza utrošaka vremena radnih sastavnica  
Table 4 Statistical analysis of work components time consumption

	Suma*	Medijan	Arit. sredina	Minimum	Maksimum
	Sum*	Median	Mean	Minimum	Maximum
Utrošak vremena, min/stablo – Time consumption, min/tree					
Efektivno vrijeme po stablu <i>Effective time per tree</i>	367,72	1,68	$2,24 \pm 1,89$	0,20	11,50
Harvester	298,86	1,62	$1,82 \pm 1,40$	0,20	10,10
Premještanje vozila – <i>Vehicle moving</i>	89,73	0,43	$0,55 \pm 0,51$	0,00	4,04
Prazni hod dizalice – <i>Boom out</i>	17,74	0,00	$0,11 \pm 0,28$	0,00	1,96
Čišćenje grmlja – <i>Underbrush clearing</i>	28,92	0,15	$0,18 \pm 0,64$	0,00	3,77
Sjeća i izradba – <i>Felling and Processing</i>	162,47	0,83	$0,99 \pm 0,79$	0,00	5,00
Sjekač sa motornom pilom – <i>Cutter with chainsaw</i>	68,86	0,00	$0,42 \pm 1,29$	0,00	10,10
Sjeća stabla – <i>Tree felling</i>	39,55	0,00	$0,24 \pm 0,64$	0,00	5,00
Izradba stabla – <i>Stem processing</i>	29,31	0,00	$0,18 \pm 1,04$	0,00	10,10

\* Veličina uzorka (164 stabala) – \* Count (164 trees)

iznosio je 0,03 min/stablu, dok se je pri proredi tvrdih listača inteziteta sječe 47 stabala po ha popeo na 0,55 min/stablu. Utrošak vremena sječe i izrade utjecan je veličinom posjećenoga stabla i morfoloških značajki stabala (četinjača, mekih i tvrdih listača). Pri čis-

toj sjeći vrbe, obujam srednjeg sječnog stabla iznosio je  $0,5 \text{ m}^3$  s prosječnim utroškom vremena sječe i izrade od 0,56 min/stablu, dok je pri proredi tvrdih listača (srednje sječno stablo  $0,6 \text{ m}^3$ ) dosegao prosječan utrošak vremena od 0,99 min/stablu.



Slika 10. Utjecaj vrste drveta na ovisnost utroška vremena o prsnom promjeru stabla

Fig. 10 Tree species influence on dependance of time consumptions vs. BHD



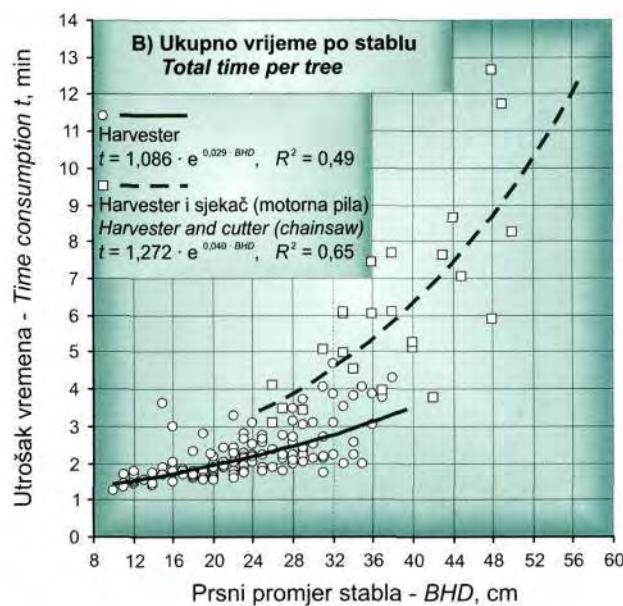
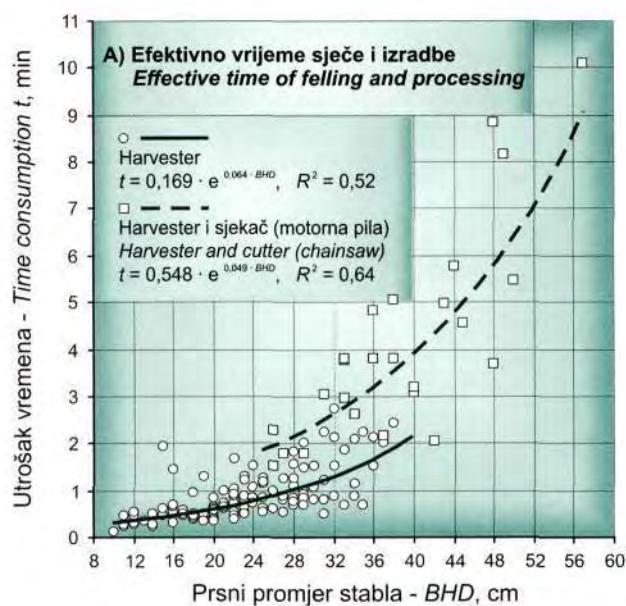
Slika 11. Sjeća i izradba tvrdih listača – Fig. 11 Felling and processing of hardwood

Analiza utrošaka vremena provedena je glede činjenica da li je sječu i izradbu stabla obavio samostalno harvester (slika 10A) ili mu je pri tome pomagao sjekač s motornom pilom (slika 10B). Osim toga istražen je utjecaj vrste drveća na efektivno vrijeme sječe i izrade. Na obje slike vidljivo je međusobno miješanje snimljenih podataka različitih vrsta drveća unutar cijelogra oblasti te provedena regresijska analiza cijelogra uzorka.

Izjednačenje vremena provedeno je eksponencijalnom krivuljom s bazom prirodnoga logaritma uz jaku korelaciju među varijablama (slika 12A). Rezultati analize ukazuju da se područje samostalnoga rada harvester proteže u desno do prsnoga promjera stabala od 38 cm.

Uvećavanjem utroška efektivnoga vremena sječe i izrade svakog pojedinog stabla s prosječnim utrošcima vremena vožnje harvester (0,55 min/stablu), praznoga hoda dizalice (0,11 min/stablu) i čišćenja grmlja (0,18 min/stablu) izračunat je utrošak efektivnoga vremena po stablu.

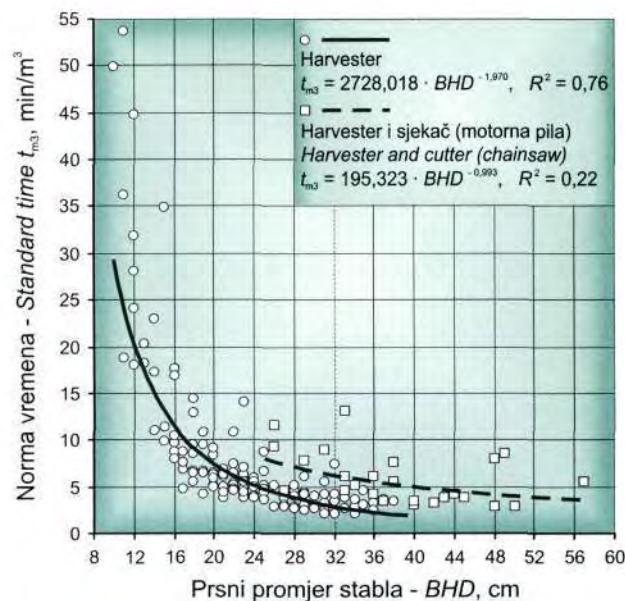
Zbog kratkotrajnog vremena istraživanja (6,7 h) nije postojala mogućnost utvrđivanja dodatnoga vremena. Stoga je ono preuzeto iz istraživanja sjeće kulture mekih listača harvesterom Timberjack 1270B u Kloštru Podravskome (Krpan i Pošinski 2004B).



Slika 12. Ovisnost utroška vremena o prsnom promjeru stabla – Fig. 12 Dependance of time consumptions vs. BHD

Efektivno vrijeme stabla uvećano je za utvrđeno dodatno vrijeme (30,9 % efektivnog vremena rada) te je na taj način izračunato ukupno vrijeme po stablu

(slika 12B). Podaci su istraženi regresijskom analizom i eksponencijalnom krivuljom s bazom prirodnoga logaritma uz jaku korelaciju među varijablama.



Slika 13. Ovisnost norme vremena i proizvodnosti o prsnom promjeru posjećenih stabala  
Fig. 13 Standard time and productivity of Timberjack 1270B vs. BHD of felled trees

Stavljanjem u odnos utroška ukupnog vremena rada harvestera po stablu (slika 12B) s izrađenim obujmom krupnoga drva svakog pojedinog stabla, izračunate su vrijednosti norme vremena, odnosno proizvodnost harvestera za svako pojedino stablo (slika 13). Podaci su istraženi regresijskom analizom i izjednačeni eksponencijalnom krivuljom. Kod samostalnoga rada harvestera utvrđena je vrlo jaka korelacija između izjed-

načenih varijabli, dok je u kombinaciji sjeće i izradbe harvesterom motornom pilom utvrđena jako slaba korelacija, prouzročena velikim rasipanjem podataka.

Mogući učinak harvestera kreće se u rasponu od 2,1 m<sup>3</sup>/h kod stabala prsnoga promjera od 10 cm do 28,5 m<sup>3</sup>/h kod stabala prsnog promjera 38 cm. Značajan je pad proizvodnosti zajedničkoga rada harvestera i motorne pile posljedica udjela vremena ručno-strojno-

ga rada motornom pilom, pogotovo kod debljih stabala koja harvester nije mogao oboriti, kao ni pretrupiti prve sortimente iz debla. Dodatni problem kod debljih stabala bile su krošnje, koje je pomoćni radnik sjekač izrađivao motornom pilom. Za takve uvjete rada učinkovitost se kreće u rasponu od  $7,5 \text{ m}^3/\text{h}$  kod stabala

prsnoga promjera od 25 cm do  $16,7 \text{ m}^3/\text{h}$  kod stabala prsnog promjera 56 cm.

Od ukupno  $818 \text{ m}^3$  izrađene oblovine u odsjecima 20a i 20b harvester je samostalno izradio  $718 \text{ m}^3$  ili 88 %, dok je ostatak od 12 % izrađen motornom pilom.

#### 4.4 Trošak strojnoga rada harvestera – Harvester machine rate

Za izračunavanje troška strojnoga rada harvestera Timberjack 1270B korištena je kalkulacija neposrednog troška rada ovog vozila koju je izradio Odjel za šumsku tehniku šumarskog istraživačkog instituta austrijskog ministarsva poljoprivrede i šumarstva (FBVA 2000).

Neposredni trošak rada harvestera Timberjack 1270B, prema kalkulaciji zasnovanoj na 1800 pogonskih sati godišnje, iznosi 83,1 EUR/h (slika 14) te će se ta vrijednost koristiti za izračun jediničnoga troška sječe i izradbe drva.

Kalkulacija je troškova zasnovana na sljedećim parametrima:

⇒ podaci za harvester Timberjack 1270B:

- nabavna vrijednost – 331 606 EUR,
- normalno vrijeme uporabe (odgovara broju pogonskih sati tijekom kojih se trošak po pogonskom satu ne povećava zbog povećanja troškova održavanja) – 10 000 pogonskih sati rada pri korištenju 2400 pogonskih sati godišnje,
- vrijeme zastarjevanja stroja (odgovara vremenski najvećem razdoblju izraženom u godinama, do kada je uporaba stroja još ekonomična, a nakon koje dolazi do tehničkog zastarjevanja – ko-

rozija, umor materijala, smanjenje sigurnosti rada) – 9 godina pri korištenju 600 pogonskih sati godišnje,

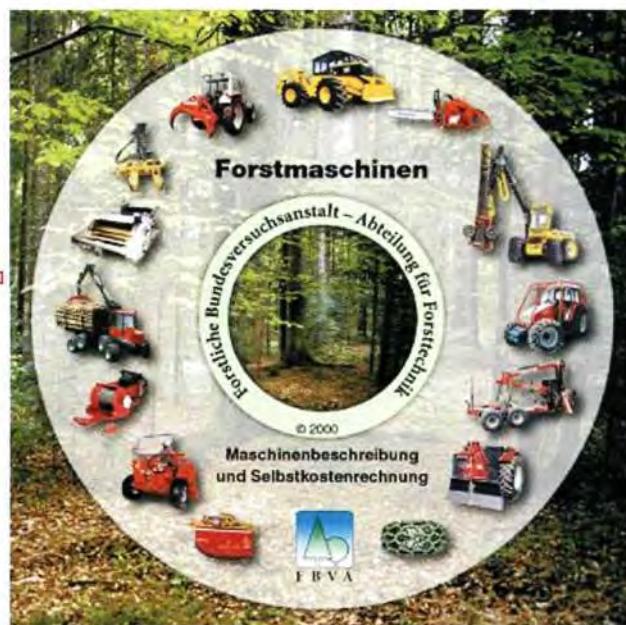
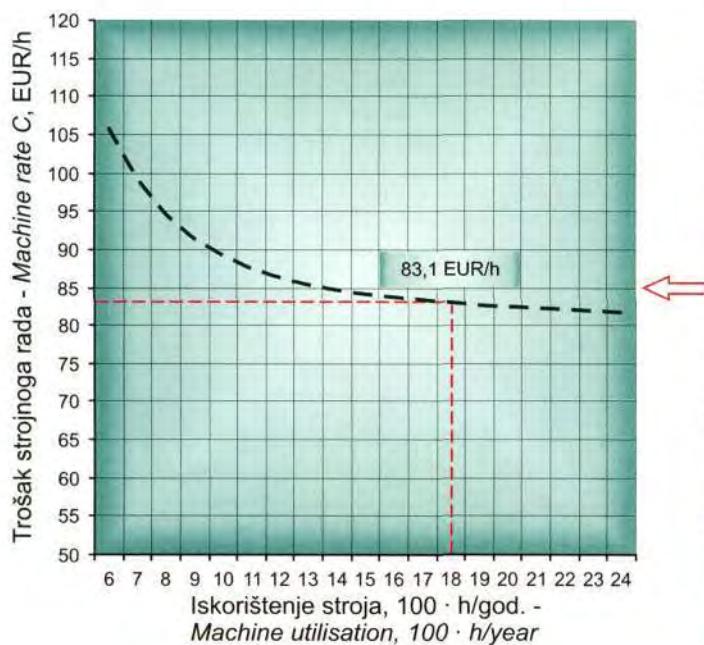
⇒ podaci za komplet guma (4 komada prednjih i 2 komada stražnjih):

- nabavna vrijednost – 13 995 EUR,
- normalno vrijeme uporabe – 4800 pogonskih sati rada pri korištenju 2400 pogonskih sati godišnje,
- vrijeme zastarjevanja – 6 godina pri korištenju 600 pogonskih sati godišnje,

⇒ iznos bankovne kamate za investicije – 4,5 % godišnje,

⇒ ova kalkulacija ne sadrži troškove vozača, premještanja stroja s radilišta na radilište, kao ni predviđenu dobit.

Usporedbe radi KWF (1997) navodi neposredni trošak strojnoga rada harvestera Timberjack 1270B u iznosu od 198 do 228 DEM pri 1500 pogonskih sati godišnje, a Forbrig i Encke (2004) za snažniji harvester Timberjack 1470D pri radu u bukovoj proredi navode trošak od 153,4 EUR/h odnosno, ovisno o prsnom promjeru stabala, od  $17,04 \text{ EUR/m}^3$  do  $13,94 \text{ EUR/m}^3$ .



Slika 14. Kalkulacija troška strojnoga rada harvestera Timberjack 1270B

Fig. 14 Machine rate for Timberjack 1270B Harvester

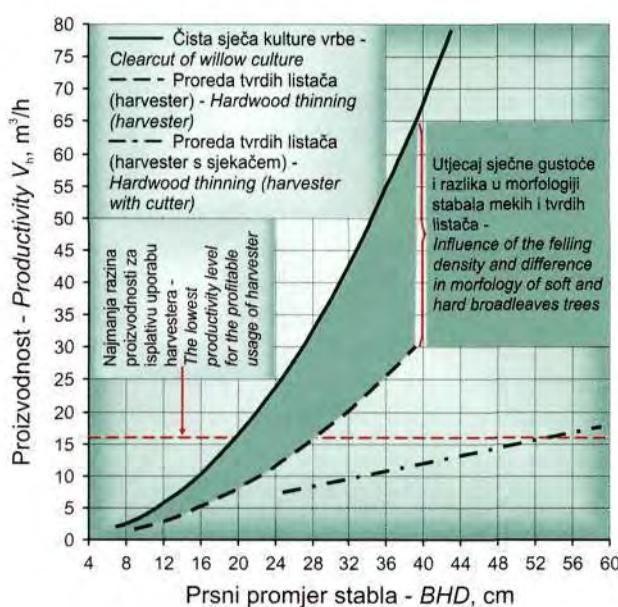
## 5. UMJESTO ZAKLJUČKA – PODRUČJE PRIMJENE HARVESTERA Instead of Conclusion – Harvester's Operational Field

Odabir strojeva i metode rada temelje se općenito na prosudbi o njihovoj proizvodnosti i troškovima rada, ali i prilagodenosti ekološkim, ergonomskim, ekonomskim, energijskim i estetskim zahtjevima (5 E). Stoga je usporedno prikazana ovisnost proizvodnosti i jediničnih troškova sječe i izradbe harvestera Timberjack 1270B o prsnom promjeru posjećenih stabala (slika 15) za uvjete rada obuhvaćene ovim istraživanjem (čista sječa kulture bijele vrbe, proreda prirodne mješovite sastojine starosti 80 godina u kojoj je u analizama raščlanjen samostalan rad harvestera od zajedničkog rada harvestera i motorne pile).

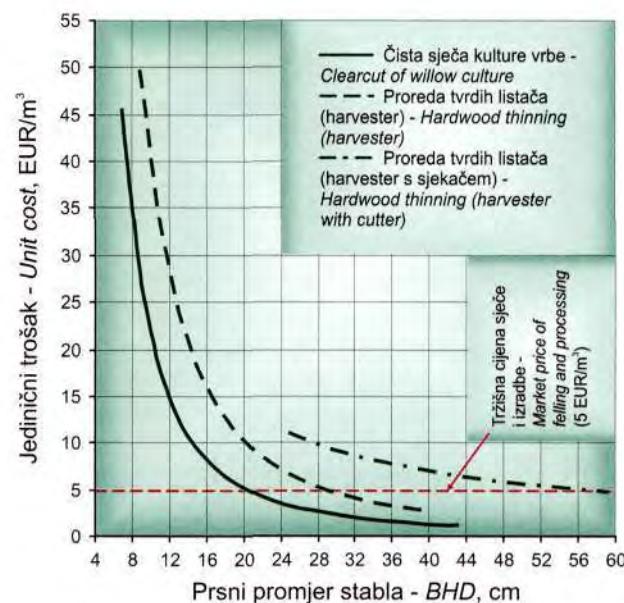
Proizvodnost sječe i izradbe drva harvesterom veća je pri čistoj sjeći kulture bijele vrbe (podaci primjenjivi za crnu johu i topolu) u odnosu na samostalan rad harvestera pri preredi prirodne mješovite sastojine tvrdih

listača. Raspon je razlika od 181 % za prsnii promjer 10 cm do 215 % za prsnii promjer 38 cm. Ovakav je raspon razlika u proizvodnosti harvestera posljedica utjecaja sječne gustoće uspoređivanih sastojina, ali i razlika u morfološkoj građi i tvrdoći drva stabala mekih i tvrdih listača.

Značajan pad proizvodnosti zajedničkoga rada harvestera i motorne pile pri preredi tvrdih listača posljedica je udjela vremena ručno-strojnoga rada motornom pilom, pogotovo kod debljih stabala (desni rep distribucije doznake), koja harvester nije mogao oboriti ni pretrupiti prve sortimente iz debla. Dodatni problem kod debljih stabala bile su razvijenije krošnje, koje je pomoći radnik sjekač izrađivao (kresao grane, prikrjao, trupio) motornom pilom.



Slika 15. Usporedba proizvodnosti s prekretnicom troškova stojnjoga i ručno-strojnoga rada  
Fig. 15 Productivity comparision with breakeven analysis between mechanical and motor-manual felling



Za uporabu harvestera u sastojinama listača, najznačajnije je pitanje kod koje razine proizvodnosti u određenim uvjetima rada strojna sječa i izradba drva postaje isplativa u odnosu na ručno-strojnu sjeću i izradbu drva motornom pilom? Najjednostavniji je izračun najmanje razine proizvodnosti ( $m^3/h$ ) kod koje je uporaba harvestera isplativa u odnosu na motornu pilu, kvocjent između troška strojnoga rada harvestera (EUR/h) i trenutne tržišne cijene sječe i izradbe drva motornom pilom ( $EUR/m^3$ ).

Tržišna se cijena sječe i izradbe drva prorednih sastojina u režiji privatnih poduzetnika, ovisno o sastojinskim prilikama, ali i stanju ponude i potražnje na trži-

stu, kreće u rasponu od  $30 \text{ kn}/m^3$  do  $45 \text{ kn}/m^3$ . Iz iznesenoga je vidljivo da parametar najmanja razina isplativosti proizvodnosti harvestera nije stalnica, već je utjecan troškom strojnoga rada harvestera i trenutnom cijenom sječe i izradbe drva motornom pilom određene sječne jedinice. Za potrebe ove analize korišten je trošak strojnoga rada harvestera Timberjack 1270B pri 1800 pogonskih sati godišnje od 83,1 EUR/h i prosječna cijena sječe i izradbe drva prorednih sastojina listača motornom pilom od 5 EUR/m³, što daje najmanju razinu isplativosti proizvodnosti harvestera od  $16,6 \text{ m}^3/h$  (slika 15).

Iz sjecišta krivulja ovisnosti jediničnoga troška sječe i izradbe drva harvesterom o prsnom promjeru posjećenih stabala i cijene sječe i izradbe drva prorednih sastojina dobivene su granice primjene harvesteru za određene uvjete rada. Kod mekih listača strojna sječa i izradba drva harvesterom isplativa je kod sastojina s dozačenim stablima u rasponu od 20 cm do 42 cm, dok je pri proredi tvrdih listača u rasponu od 28 cm do 38 cm.

Uži raspon područja primjene strojne sječe i izradbe drva kod naših prirodnih prorednih sastojina tvrdih listača utjecan je nižom proizvodnošću harvesteru, visokim troškovima strojnoga rada, ali i niskim tržišnim cijenama sječe i izradbe drva prorednih sastojina. Vrlo je

važno pitanje (na koje već danas znamo odgovor), da li će ubuduće u Hrvatskoj biti na raspolaganju dovoljno radne snage za izvršavanje usluga u šumarstvu na razini današnjih cijena rada? Odgovor moramo potražiti u razvijenim zemljama koje slijedimo nastojeći dosegnuti njihov životni standard. Sionneau i Cuchet (2001) za francuske uvjete rada utvrđuju najmanju razinu isplative proizvodnosti harvesteru u odnosu na ručno-strojnu sječu i izradbu drva motornom pilom od  $7,5 \text{ m}^3/\text{h}$ . Ovaj podatak svakako je utjecan tržišnom cijenom sječe i izradbe drva motornom pilom koja u francuskom šumarstvu iznosi 15 EUR/ $\text{m}^3$ .

## 6. LITERATURA – References

- Anon., 1992: Osnova gospodarenja G.J. "Dišnica – Zobikovac – Petkovača" za razdoblje (1994–2003).
- Anon., 2001: Knjižica doznake – odjel 20a, G.J. "Dišnica – Zobikovac – Petkovača", Šumarija Garešnica.
- Anon., 2001: Knjižica doznake – odjel 20b, G.J. "Dišnica – Zobikovac – Petkovača", Šumarija Garešnica.
- Anon., 2001: Plan sječa za 2002 godinu G.J. "Dišnica – Zobikovac – Petkovača", Šumarija Garešnica.
- Bacher, M., 2003: A mechanized harvesting system for large-sized wood in permanent stands. Proceedings of 2nd Forest Engineering Conference – Posters: Technique and Methods, 12–15 May 2003, Växjö, Sweden, 13–21.
- Bigot, M., E. Cuchet, 2003: Mechanized harvesting system for hardwoods. Proceedings of 2nd Forest Engineering Conference – Posters: Technique and Methods, 12–15 May 2003, Växjö, Sweden, 57–66.
- 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.
- Concoran, T. J., M. L. Cameron, 1988: Correlating time cycles to tree measurements via videogrammetry. Proceedings "Developments on work studies in forestry" IUFRO-WP 2.04.02 Work study, payment and labor productivity, Vassilika – Thessaloniki, Greece 22–24 June 1988, Department of forest engineering of Forest research institute of Thessaloniki, 85–97.
- FBVA, 2000: CDR "300 Forstmaschinen – Maschinenbeschreibung und Seibstkostenrechnung".
- Forbig, A., B. G. Encke, 2004: Prozessorientierung in der Forstwirtschaft neue Technik, neue Part-
- ner, neues Denken. Tagungsführer zur 14. KWF-Tagung 2004, Groß-Umstadt / Hessen, Deutschland, 1–142.
- 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: Proizvodnost harvesteru 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: Djełotvornost strojne sječe i izrade u sastojinama mekih i tvrdih listača. Znanstvena studija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–40.
- Krpan, A. P. B., T. Poršinsky, 2004A: Djełotvornost strojne sječe i izrade u sastojinama tvrdih i mekih listača – 1. dio: Promišljanje struke o strojnoj sjeći 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.
- Krpan, A. P. B., T. Poršinsky, 2004B: Djełotvornost strojne sječe i izrade u sastojinama tvrdih i mekih listača – 2. dio: Djełotvornost harvesteru 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). Šumarski list 128 (5–6): 233–244.
- KWF, 1997: Prüfbericht – Kranvollernter Timberjack 1270B mit Vollernteaggregat 755B. FPA-Verzeichnis-Nr. 1.04.26., Groß-Umstadt., Deutschland, 1–2.

- 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.
- 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/~rpulkki/ctl\\_ft.html](http://flash.lakeheadu.ca/~rpulkki/ctl_ft.html)
- Sionneau, J., E. Cuchet, 2001: Mechanisation of Thinnings in Hardwood, The Franch Experience. 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.
- Slunjski, M., M. Bedeković, 2003: Debljinska struktura Plana sječa HŠ d.o.o za 2003 godinu vezana uz mogućnost primjene harvester-a. PP-prezentacija prikazana na okruglomu stolu "Harvester u Hrvatskoj", Ivanska, 12. veljače 2003.

**SUMMARY:** This paper shows the results of research of mechanical felling and processing by Timberjack 1270B harvester in 80-year old natural thinning stands of Sessile Oak, European Beech and European Hornbeam.

The researched cut-blocks have more or less equal stand features: growing stock – 310 m<sup>3</sup>/ha, basal area – 24.3 m<sup>2</sup>/ha with 430 trees per ha, harvesting density – 30 m<sup>3</sup>/ha with 47 trees per ha. No secondary openness was provided for the stands through parallel skid trails typical of harvester operations, and tree marking was not carried out to that end. Therefore, the harvester moved across the felling site to reach the marked trees and in doing so it also cut some unmarked (thinner) trees.

The trees, whose stump-height diameter exceeded the possibility of being cut by the felling (harvester) head, were cut by an auxiliary operator – cutter. Similarly, the trees with large crowns were also processed by the cutter with chainsaw. In the structure of effective time, mechanical harvester operations prevail with a share of 81.3 %, and the share of motor-manual operations with chain saw accounts for 18.7 %.

The analysis of mechanical harvester operations has shown that felling and processing account for 44.2 %, boom out for 7.9 %, undergrowth cleaning for 4.8 %, and harvester moving at the felling site for 24.4 % of effective time.

The average productivity of felling and processing achieved by joint operations of harvester and chain saw was 14.5 m<sup>3</sup>/h or 24 tree/h with total time consumption of 4.13 min/m<sup>3</sup> or 2.45 min/tree. The harvester's effective time consumption was 3.78 min/m<sup>3</sup> or 2.24 min/tree.

Based on the results of the research of mechanical felling in the stands of softwood and hardwood broadleaf species and the market price of felling and processing wood by chain saw, harvester's operational field is recommended in deciduous stands.

**Key words:** mechanical felling, Timberjack 1270B, thinning, hardwood-broadleaf species, efficiency