

Utjecaj rašljivosti stabala crnoga bora na proizvodnost harvesterera

Dinko Vusić, Nikola Rukavina

Nacrtač – Abstract

U radu su prikazani rezultati istraživanja strojne sječe i izradbe drva harvesterom Timberjack 870 u šumskoj kulturi crnoga bora s posebnim naglaskom na utjecaj rašljivosti stabala na proizvodnost rada.

Utrošci su vremena snimljeni kronometrom, povratnom metodom i pridruženi prsnim promjerima posječenih i izrađenih stabala.

Na posebnom je uzorku stabala mjerena dimenzija izrađenoga drva radi transformacije praćene jedinice mjerenja (prсни promjer stabla) u neto obujam. Ovisnost neto obujma o prsnom promjeru stabla istražena je regresijskom analizom.

Utrošci su vremena pojedinih radnih zahvata svrstani u tri jasno odvojene sastavnice: kretanje vozila, sječa stabla, izradba drva.

Provedena je regresijska analiza ovisnosti utrošaka vremena radnih sastavnica o neto obujmu stabla, pri čemu za kretanje vozila i sječu stabla nije utvrđena ovisnost, dok je za izradbu utvrđena srednja ovisnost. Parovima podataka neto obujma stabala (v_{net}) i utrošaka vremena za izradbu (t_i) pridružene su kvalitativne varijable pravosti/rašljivosti stabala te je provedena multipla regresijska analiza uz jaku korelaciju podataka ($R = 0,5964$).

Konstruiran je model proizvodnosti oblika: $V_h = (60 * v_{net}) / 1,26 * (t_v + t_s + t_i)$ [m^3/h], s preuzetim faktorom dodatnoga vremena (26 % od efektivnoga vremena) iz prethodnih istraživanja (Krpan i Poršinsky 2002). Utrošci su vremena kretanja vozila i sječe stabala medijane snimljenih podataka.

Primjenom je modela ustanovljeno smanjenje proizvodnosti zbog rašljivosti stabala u rasponu od 70 % za stabla prsnoga promjera 10 cm do 50 % za stabla promjera 40 cm u odnosu na pravna staba istoga prsnoga promjera.

Ključne riječi: strojna sječa, harvester Timberjack 870, proizvodnost, rašljivost stabla

1. Uvod – Introduction

Sustav mehaniziranoga pridobivanja kratkoga drva zasniva se na skupnom radu jednozahvatnoga harvesterera i forvardera usklađenih proizvodnih mogućnosti (Krpan i Poršinsky 2002). Harvester siječe stabla i izrađuje ih u sortimente kojima pri izradi mjeri i evidentira dimenzije te ih slaže u hrpe. Tako uhrpane sortimente forvarder izvozi na pomoćno stovarište.

Primjena harvesterera u našim je šumama ograničena njihovim pretežno prirodnim podrijetlom, vrstom drveća i dimenzijama stabala, makroreljefom i mikroreljefom, metodama uzgajanja i uređivanja šuma te višim jediničnim troškovima u odnosu na ručno-strojni rad zbog višestruko veće nabavne cijene osnovnoga sredstva, nedovoljne količine raspoloživoga drva za sječu i izradu koncentriranoga na užem šumskom području i dostatne ponude relativno jeftine radne snage za ručno-strojnu sječu i izradu (Krpan i Poršinsky 2001).

Krpan i Poršinsky (2001) predviđaju uspješnu primjenu harvesterera pri proredama i čistim sječama u šumskim kulturama četinjača, u plantažama brzorastućih vrsta listača, čistim johovim i jasenovim sastojinama i prorednim bjelogoričnim sastojinama, dok upotrebu u prebornim šumama, ponajprije zbog načina gospodarenja i sječne dimenzije stabala, smatraju upitnom.

Slunjski i Bedeković (2003) na osnovi debljinske strukture plana sječa »Hrvatskih šuma« d.o.o Zagreb za 2003. godinu (bruto etat 4 100 000 m^3), uz uvjet da u doznaci pojedinoga odjela nema stabla

prsnoga promjera većega od 40 cm, dolaze do spoznaje da je harvesterom moguće posjeći 25 % godišnjega etata.

Proizvodnost se harvester, ovisno o sječnoj gustoći, dimenzijama doznačenih stabala i značajkama terena kreće u širokom rasponu od 5,5 m³ do 30,0 m³ po pogonskom satu rada (Bensch i Urbaniak 2001). Uz dimenzije stabala koje djeluju sukladno zakonu obujma komada na proizvodnost strojne sječe i izrade utječu i tvrdoća drva te granatost odnosno rašljivost stabala. Wasterlund (1996) piše da harvester najbolje rezultate postiže u čistim sječama crnogoričnih sastojina u kojima godišnji učinak raste i do 40 000 m³. Pulkii (2001) navodi da se u skandinavskim zemljama u jednoj godini rada sustava harvester – forvarder u proredama i čistim sječama može ostvariti učinak od 40 000 m³ do 50 000 m³, a navedeni učinak pri radu isključivo u čistim sječama raste i do 60 000 m³. Isti autor piše da iskusni vozači u sječinama srednjega kubnoga stabla 0,2 m³ ostvaruju prosječni učinak od 15 m³/h, što u slučaju dvosmjensko-ga rada rezultira godišnjim učinkom od 50 000 m³.

Mehanizirana sječa i izrada drva prvi je put u Hrvatskoj provedena 2001. godine harvesterom Timberjack 1070 u kulturi četinjača na području Šumarije Ogulin. U rujnu 2002. godine harvesterom Timberjack 1270B obavljena je čista sječa kulture mekih listača na području Šumarije Kloštar Podravski i proreda mješovite sastojine tvrdih listača na području Šumarije Garešnica. Navedene su prigode imale karakter pokaznoga rada i bile su poligon za znanstvena istraživanja čiji su rezultati objavljeni u nizu članaka Šumarskoga lista (Krpan i Poršinsky 2001, 2002, 2004a, 2004b, Krpan i dr. 2004, Poršinsky i dr. 2004).

Sustav harvester – forvarder na tržištu se šumarskih usluga u Hrvatskoj pojavljuje u kolovozu 2005. godine kada privatni poduzetnik uvozi Timberjack 870. Slijedi nabava harvester Timberjack 1270C u kolovozu 2007. godine te harvester Timberjack 1470 u prosincu 2008. godine.

Korištenjem sustava harvester – forvarder postiže se povećanje iskoristivosti forvardera tijekom ljetnih mjeseci i rješava problem pomanjkanja kvalificirane radne snage za ručno-strojnu sječu i izradu u šumskim kulturama četinjača, pri kojoj je nužno obaviti vremenski i fizički vrlo zatjevan rad kresanja grana koji rezultira vrlo malim učincima i posljedično velikim jediničnim troškom uz povećanu opasnost od ozljeda.

Kriterij pri odluci o primjeni ručno-strojne ili strojne sječe i izradbe u određenoj sječini svakako mora biti ekonomskoga karaktera, izražen jediničnom cijenom sječe i izrade, uz uvažavanje ergonomskih,

ekoloških, energijskih i estetskih čimbenika (Krpan i Poršinsky 2006).

Uvođenjem sustava harvester – forvarder u hrvatsko šumarstvo pojavila se, radi planiranja radova pridobivanja drva, potreba za poznavanjem proizvodnih mogućnosti navedenoga sustava u različitim stanišnim uvjetima.

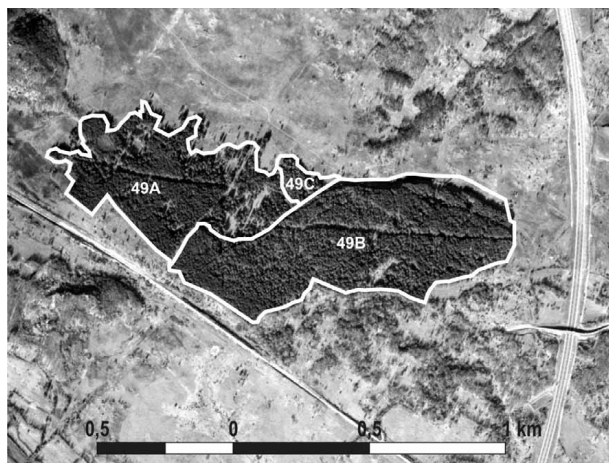
Ovim se istraživanjem želi istražiti utjecaj rašljivosti stabala crnoga bora na proizvodnost sječe i izradbe drva harvesterom.

2. Materijal i metode istraživanja *Material and methods of research*

Istraživana sječina, odsjek 49B površine 36,99 ha, nalazi se u GJ »Zapadni Resnik« na području UŠP Gospić. Zajedno s odsjecima A i C čini 49. odjel, borovu šumsku kulturu površine 66,33 ha omeđenu željezničkom prugom Oštarije – Gospić – Knin – Split s jugo-istoka i autocestom A1 Zagreb (Bosiljevo) – Dubrovnik sa zapada (slika 1).

Prema podacima Osnove gospodarenja za GJ »Zapadni Resnik« iz 2006. godine na površini od 36,99 ha 49B odsjeka rastu stabla crnoga bora (580 stabla po hektaru) prosječnoga promjera 26 cm i prosječne visine 17 m i stabla OTB (58 stabala po hektaru) prosječnoga promjera 15 cm i prosječne visine 16 m. Sastojina se nalazi na 600 m nadmorske visine, na ravnom terenu IV. boniteta. Utvrđena je drvna zalaha od 265,91 m³/ha u kojoj stabla crnoga bora sudjeluju s 97 %. Prema propisu Osnove gospodarenja prethodni je prihod trebao biti realiziran intenzitetom sječe od 20 %, tj. u apsolutnom iznosu od 1975 m³.

Jednozahvatni je harvester Timberjack 870 (slika 2) specijalno šumsko vozilo za kretanje po bespuću s pogonom na sva četiri kotača. Namijenjen je sječi i iz-



Slika 1. Mjesto istraživanja
Fig. 1 Research site



Slika 2. Harvester Timberjack 870
Fig. 2 Harvester Timberjack 870

radbi stabala manjih dimenzija pri proredama sastojina. Ulazi u kategoriju srednje teških harvester (duljina 6120 mm, širina 2800 mm, visina 3550 mm), masi (10600 kg) te snazi pogonskoga motora (Perkins 1006-6T; šestocilindrični turbo dizelski motor najveće snage 114 kW i najvećega zakretnoga momenta 529 Nm). Zbog svoje kompaktne veličine vrlo je okretan te može raditi i na strmim terenima.

Na hidrauličnu dizalicu Timberjack L150, dosega 10,1 m i podiznoga momenta 95 kNm, ugrađena je harvesterska glava Timberjack 746C (slika 3) koja najbolje učinke postiže pri sječi i izradbi stabala obujma 0,3 do 0,6 m³. Najveći je teoretski sječni promjer glave 55 cm.

Računalni sustav Timberjack 3000 kontrolira rad sječne glave, izmjeru i trupljenje stabla te pohranji-



Slika 3. Harvesterska glava Timberjack 746C
Fig. 3 Harvester head 746C



Slika 4. Kabina harvester
Fig. 4 Harvester cabine



Slika 5. Sastojina crnoga bora, odsjek 49B
Fig. 5 Black pine stand, subcompartment 49B

vanje podataka o izrađenim sortimentima. Elektronička je kontrola sustava zadužena za pouzdano i optimalno upravljanje pogonskim motorom, transmisijom, radom dizalice te stabilnošću stroja (slika 4).

U sastojini je (slika 5) sukladno propisanomu intenzitetu provedena geometrijska proreda sječom svakoga petoga reda, čime je omogućeno kretanje harvester kroz sječinu, koja prije nije bila sekundarno otvorena (slika 5). Osim toga ostvaren je temeljni preduvjet za primjenu strojne sječe i u budućem gospodarenju ovom kulturom.

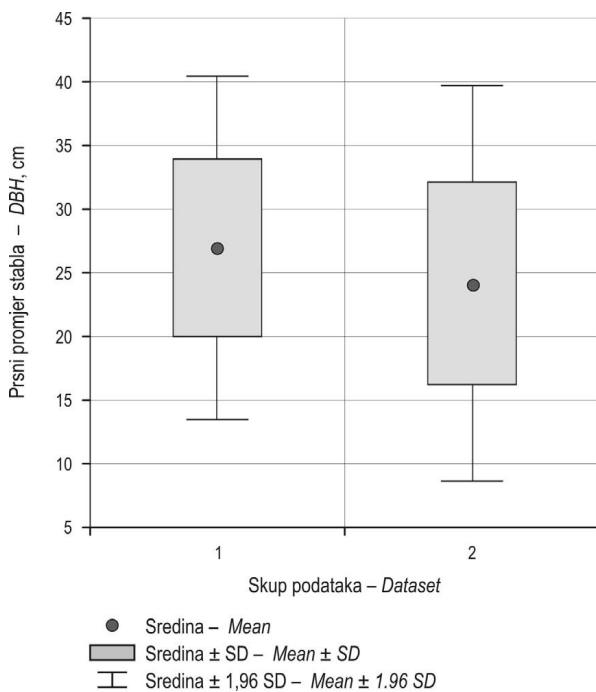
Rad je harvester istražen primjenom studija rada i vremena. Utrošci vremena trajanja radnih sastavnica snimani su povratnom metodom kronometrije. Kako se pojedini radni zahvati pri sječi i izradbi jednozahvatnim harvesterom relativno brzo smjenjuju, bilo je prijeko potrebno da se razvrstaju u tri jasno funkcionalno razdvojene radne sastavnice:

- ⇒ kretanje vozila – premještanje stroja u sječini i zauzimanje položaja prije sječe,
- ⇒ sječa stabla – zahvaćanje, potpiljivanje i usmjereno rušenje (pad) stabla koje je nemoguće zbog primijenjene metode mjerenja raščlaniti i snimiti s dovoljnom točnošću i preciznošću,
- ⇒ izradba drva – kresanje grana i trupljenje debla.

Utrošci vremena pojedinih radnih sastavnica pridruženi su obročanim stablima kojima je prethodno izmjeren prsni promjer. Prilikom postavljanja po-



Slika 6. Sječina nakon geometrijske preorde
Fig. 6 Felling site after geometrical thinning



Slika 7. Distribucija stabala uzorka
Fig. 7 Distribution of sample trees

kusa očigledan je bio utjecaj rašljivosti stabala na utrošak vremena izradbe drva. Zbog toga je svakom stablu uzorka pridružena značajka pravnosti, odnosno rašljivosti. Tijekom istraživanja snimljeno je ukupno 279,84 min efektirnoga vremena utrošenih za sječu i izradbu 185 stabala (slika 7, skup podataka 2).

Podaci o izrađenom obujmu pojedinoga posječenoga stabla nisu bili dostupni. Budući da bi mjerenje izrađenoga obujma u blizini stroja bilo opasno za snimatelja i da bi zasigurno utjecalo na rad vozača harvester, naknadno je odabran novi uzorak od 100 stabala (slika 7, skup podataka 1) koja su posječena i izrađena na isti način. Precizno su izmjereni izrađeni sortimenti te je njihov neto obujam (v_{net}) pridružen prsnim promjerima (DBH) pripadajućih stabala. Na temelju parova podataka konstruirana je jednadžba izjednačenja:

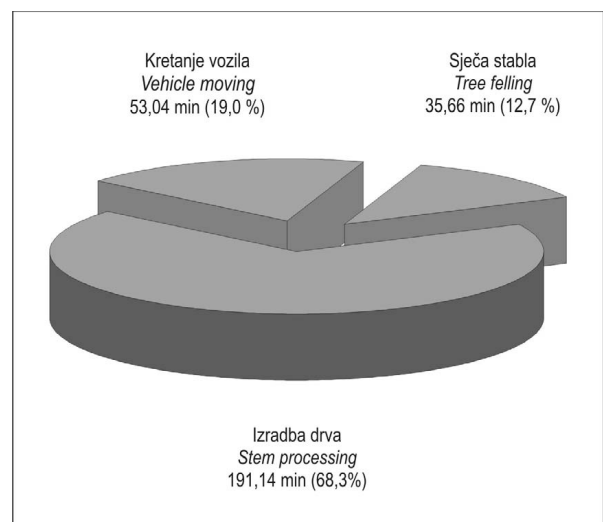
$$v_{net} = 0,0003 \cdot DBH^{2,1611} [m^3] \quad R^2 = 0,899$$

Pomoću navedene jednadžbe omogućena je transformacija jedinice izrade, stabla poznatoga prsnoga promjera, u neto obujam.

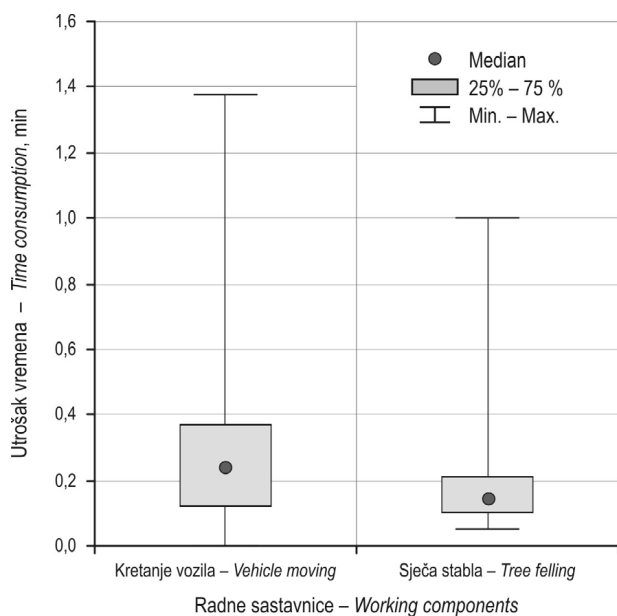
Provedena je regresijska analiza ovisnosti zavisnih varijabli, utrošaka vremena radnih sastavnica, o nezavisnoj varijabli, izrađenom neto obujmu. Radnim sastavnicama za koje nije utvrđena ovisnost određena je medijana utroška vremena.

3. Rezultati istraživanja – Results of research

Struktura efektirnoga vremena rada harvester prikazana je na slici 8. Udjeli vremena pojedinih



Slika 8. Struktura eektivnoga vremena
Fig. 8 Efective time structure



Slika 9. Varijabilnost utroška vremena kretanja vozila i sječe stabla
Fig. 9 Variability of driving and felling time consumption

radnih sastavnica posljedica su prirode geometrijskih proreda u kojima se sječa i izrada obavljaju uz relativno malen utrošak vremena zauzimanja položaja u redu koji se siječe i uz utrošak vremena premještanja stroja u sljedeći red.

Za vremena kretanja vozila i sječe stabla regresijskom je analizom utvrđeno da ne ovise o nezavisnoj varijabli – neto (izrađenom) obujmu stabla.

Rezultat je za radnu sastavnicu kretanje vozila očekivan i logičan.

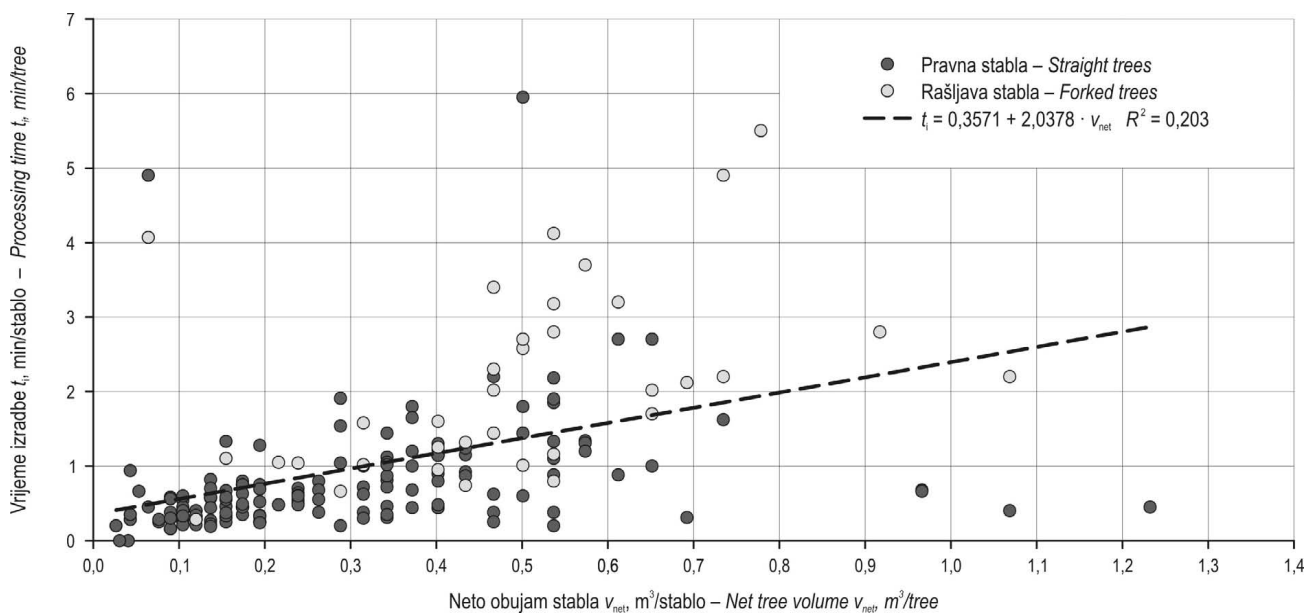
Kod sastavnice sječa stabla razlog izostanka ovisnosti leži u grupiranju utrošenih vremena. Pretpostavlja se da na obuhvaćanje stabla i usmjereno (kontrolirano) rušenje (pad) stabla veći utjecaj od izrađenoga obujma imaju položaj harvesterera pri sječi i mogućnost harvestererske glave, odnosno gustoća neposječenih stabala (n/ha). Zbog toga je utrošak vremena spomenutih sastavnica rada iskazan kao medijana snimljenih vrijednosti u iznosu od 0,24 min/stablo za kretanje vozila (t_v) i 0,15 min za sječu stabla (t_s) (slika 9), a u proizvodnom je modelu uvršten kao fiksno vrijeme.

Utvrđena je srednja ovisnost ($R = 0,4504$) utroška vremena za radnu sastavnicu izrada drva o neto obujmu izrađenoga stabla regresijskom jednadžbom pravca koji objašnjava 20,29 % varijabilnosti (slika 10).

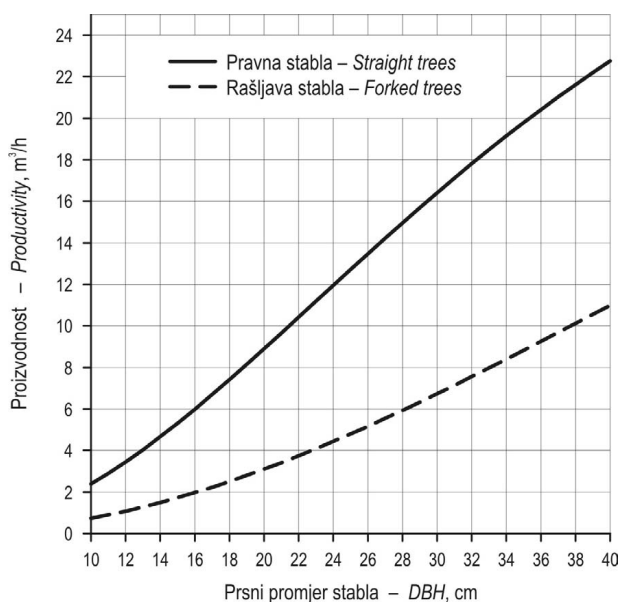
Uvođenjem kvalitativne (binarne) nezavisne varijable pravnost/rašljivost stabla ($PR = 0$ za pravna stabla, $PR = 1$ za rašljava stabla) multiplom regresijskom analizom određena je jednadžba izjednačenja za utrošak vremena izrade (t_i):

$$t_i = 0,37178 + 1,37955 \cdot v_{net} + 1,07678 \cdot PR \quad [\text{min/stablo}]$$

gdje je ustanovljena jaka korelacija ($R = 0,5964$) između utroška vremena izrade i nezavisnih varijabli neto obujma stabla i pravnosti/rašljivosti stabla.



Slika 10. Ovisnost utroška vremena izadbe drva o neto obujmu stabla
Fig. 10 Dependence of time consumption for processing to tree's net volume



Slika 11. Utjecaj rašljivosti stabla na proizvodnost harvesterera
Fig. 11 Influence of tree's forkness on productivity

Pravnost odnosno rašljivost stabla objašnjava dodatnih 15,28 % varijabilnosti ($R^2 = 0,3557$).

Zbog kratkoće trajanja istraživanja nije utvrđeno dodatno vrijeme strojne sječe i izrade. U sličnim uvjetima Krpan i Poršinsky (2002) određuju faktor dodatnoga vremena 1,26.

Na temelju rezultata istraživanja i preuzetoga faktora dodatnoga vremena ($f_d = 1,26$) moguće je konstruirati proizvodni model sječe i izradbe stabala crnoga bora harvesterom Timberjack 870:

$$v_h = \frac{60}{f_d(t_v + t_s + t_i)} \cdot v_{net} \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

$$v_h = \frac{60}{1,26 \cdot (0,24 + 0,15 + 0,372 + 1,379 \cdot v_{net} + 1,077 \cdot PR)} \cdot v_{net} \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

Primjenom izraza proizvodnost sječe i izrade stabala prsnoga promjera 10 cm ($v_{net} = 0,043 \text{ m}^3$) iznosi $2,4 \text{ m}^3/\text{h}$ za pravna stabla i $0,7 \text{ m}^3/\text{h}$ za rašljiva stabla. Za stabla prsnoga promjera 40 cm ($v_{net} = 0,870 \text{ m}^3$) proizvodnost iznosi $22,8 \text{ m}^3/\text{h}$ za pravna stabla i $11,0 \text{ m}^3/\text{h}$ za rašljiva stabla.

Krpan i Poršinsky (2002) u istraživanju proizvodnosti harvesterera Timberjack 1070 pri proredi kulture običnoga bora utvrđuju proizvodnost sječe i izrade od $2,3 \text{ m}^3/\text{h}$ do $25,4 \text{ m}^3/\text{h}$ za stabala prsnoga promjera od 10 cm do 30 cm.

Utjecaj rašljivosti na proizvodnost harvesterera prema prikazanomu izrazu vidljiv je na slici 11. Proizvodnost je porastom vremena potrebna za izradu

rašljivih stabala smanjena za 70 % kod stabala prsnoga promjera od 10 cm do 50 % kod stabala prsnoga promjera 40 cm, odnosno prosječno 62 %.

4. Zaključak – Conclusion

Rašljivost stabala kao tehnološki negativna pojava kod četinjača nedvojbeno nepovoljno utječe na proizvodnost strojne sječe i izradbe, što je dokazano i ovim istraživanjem. Rašljiva se stabla moraju uglavnom izrađivati u dva i više zahvata harvestereske glave, što značajno povećava utrošak vremena izradbe drva. Stabla se manjih dimenzija mogu izrađivati u jednom zahvatu uz rizik oštećivanja vodilice, lanca ili mjernih senzora harvestereske glave oslobođanjem tlačnih sila trupljenjem dijela stabla iza rašlji u jednom zahvatu. Izradba stabla većih dimenzija, ovisno o dimenzijama rašlji i najvećem sječnom promjeru harvestereske glave, u pravilu zahtijeva više zahvata.

Uvrštavanjem parametara koji su relativno lako mjerljivi i koji ne opterećuju proizvodni model svojim matematičkim izrazom možemo objasniti više varijabilnosti i time postići veću točnost modela proizvodnosti sječe i izradbe drva harvesterom.

5. Literatura – References

- Bensch, P., W. Urbaniak, 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.
- Krpan, A. P. B., T. Poršinsky, 2001: Harvester Timberjack 1070 u Hrvatskoj. Šum. list, 125 (11–12): 619–624.
- Krpan, A. P. B., T. Poršinsky, 2002: Proizvodnost harvesterera Timberjack 1070 pri proredi kulture običnoga bora. Šum. list, 126 (11–12): 551–561.
- Krpan, A. P. B., T. Poršinsky, 2004a: Djelotvornost strojne sječe i izrade u sastojinama tvrdih i mekih listača – 1. dio: Promišljanje struke o strojnoj sječi i izradbi drva. Šum. list, 128(3–4): 127–136.
- Krpan, A. P. B., T. Poršinsky, 2004b: Djelotvornost strojne sječe i izrade u sastojinama tvrdih i mekih listača – 2. dio: Djelotvornost harvesterera u kulturi mekih listača. Šum. list, 128 (5–6): 233–244.
- Krpan, A. P. B., T. Poršinsky, I. Stankić, 2004: Djelotvornost strojne sječe i izrade u sastojinama tvrdih i mekih listača – 3. dio: Djelotvornost harvesterera u prirodnoj prorednoj sastojini tvrdih listača. Šum. list, 128 (9–10): 495–508.
- Krpan, A. P. B., T. Poršinsky, 2006: Proizvodnost sječe i izradbe drva u Hrvatskoj – ili dali nam je nužan tehnološki skok? Glas. šum. pokuse, pos. izd., 5: 515–527.
- Poršinsky, T., A. P. B. Krpan, I. Stankić, 2004: Djelotvornost strojne sječe i izrade u sastojinama tvrdih i mekih listača –

4. dio: Okolišna pogodnost strojne sječe u prirodnim sastojinama. Šum. list, 128 (11–12): 655–669.

Pulkki, R., 2001: Cut-to-length, tree-length or full tree harvesting, <http://flash.lakeheadu.ca/~repulkki/ctlft.html>

Slunjski, M., M. Bedeković, 2003: Debljinska struktura Plana sječa HŠ d.o.o za 2003 godinu vezana uz mogućnost

primjene harvesterâ. PP-prezentacija prikazana na okruglom stolu »Harvester u Hrvatskoj«, Ivanjska, 12. veljače 2003.

Wasterlund, I., 1996: Environgentle forestry operations – possible or must. Proceedings of the seminar Progresses in Forest Operations, 8 May 1996, Ljubljana, Slovenija, str. 9–14.

Abstract

Influence of Black Pine Tree's Forkness on Harvester's Productivity

Research results of mechanized felling and processing by harvester Timberjack 870 in the black pine forest culture are presented in this paper. Special emphasis in the research was on the impact of tree's forkness on work productivity.

Time consumptions were recorded by snap-back chronometry method and paired with DBH of felled and processed trees. Equation for dependance of tree's net volume (v_{net}) on DBH was established in the separate sample of trees in the same felling area: $v_{net} = 0.0003 \text{ DBH}^{2.16} [\text{m}^3]$. Using the mentioned equation transformation of production unit from tree with known DBH to net volume was done. Time consumptions of individual work elements were grouped in three clearly separated work components: vehicle moving, trees felling and wood processing. Regression analysis of time consumptions dependance on tree's net volume was conducted. For work components vehicle moving and trees felling dependance wasn't found, while for work group processing medium dependance was established. Qualitative variables tree's straightness/forkness ($PR = 0$ for straight trees, $PR = 1$ for forked trees) were added to data pairs of tree's net volume and time consumption for processing (t_i) and multiple regression was done. Strong corelation ($R = 0.5964$) was established with equation:

$$t_i = 0.37178 + 1.37955 v_{net} + 1.07678 PR [\text{min/tree}]$$

Productivity model: $V_h = (60 v_{net}) / f_d (t_v + t_s + t_i) [\text{m}^3/\text{h}]$ was constructed; with allowance time factor $f_d = 1.26$ (Kranj i Poršinsky 2002) and driving ($t_v = 0.24 \text{ min/tree}$) and felling ($t_s = 0.15/\text{tree}$) time consumptions as medians.

With this model 70% decrease in productivity was calculated for forked trees of 10 cm DBH and 50% decrease for forked trees of 40 cm DBH in comparison to straight trees of the same DBH (Fig. 11).

Keywords: mechanized felling, harvester Timberjack 870, productivity, tree's forkness

Adresa autorâ – Authors' addresses:

Dinko Vusić, dipl. inž.

e-pošta: vusic@sumfak.hr

Zavod za šumarske tehnike i tehnologije

Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Svetošimunska 25

HR–10 000 Zagreb

Nikola Rukavina, dipl. inž.

e-pošta: nikola.rukavina@hrsume.hr

»Hrvatske šume« d.o.o.

UŠP Gospić

Budačka 23

HR–53 000 Gospić

Primljeno (Received): 8. 10. 2010.

Prihvaćeno (Accepted): 19. 11. 2010.