

## DJELOTVORNOST STROJNE SJEČE I IZRADE U SASTOJINAMA TVRDIH I MEKIH LISTAČA – 4. DIO: OKOLIŠNA POGODNOST STROJNE SJEČE U PRIRODNIM SASTOJINAMA

EFFICIENCY OF MECHANICAL FELLING AND PROCESSING IN SOFT  
AND HARDWOOD BROADLEAVED STANDS – PART 4: ENVIRONMENTAL  
SUITABILITY OF MECHANICAL FELLING IN NATURAL STANDS

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

*SAŽETAK:* Rad prikazuje posljedičnosti strojne sječe i izradbe drva pri proredi prirodne mješovite sastojine hrasta kitnjaka, obične bukve i običnoga graba jednozahvatnim harvesterom. Istraživanje posljedica strojne sječe i izradbe drva obuhvatilo je oštećenje dubećih stabala te promjene nekih fizikalnih svojstava tla uslijed sabijanja tla jednokratnim prolaskom harvestera.

Istraživanje oštećenja dubećih stabala tvrdih listača harvesterom Timberjack 1270B provedeno je u sječini starosti 80 godina, s drvnom zalihom od 323 m<sup>3</sup>/ha i temeljnicom 24,4 m<sup>2</sup>/ha uz 449 stabla/ha. Sječna gustoća prorede iznosila je 36,2 m<sup>3</sup>/ha (50 stabala/ha). Sječina nije bila sekundarno otvorena usporednim vlakama tipičnim za rad harvestera, niti je u tom smjeru provedena doznaka stabala. Stoga se harvester do doznačenih stabala kretao po sječini. Istraživanjem je utvrđeno oštećivanje sastojine s analizom strukturnih obilježja nastalih oštećenja. Uočene su radnje i postupci koji uzrokuju oštećivanje stabala te je provedena ocjena primjerenosti strojne sječe i izradbe drva harvesterom u navedenoj sastojini s obzirom na veličinu i strukturu oštećivanja. Pri sječi i izradbi drva harvesterom ukupno je oštećeno 29,5 stabala/ha, što u odnosu na broj preostalih stabala nakon sječe iznosi 6,4 %. Oštećeno je 18,6 dubećih stabala/ha, a 10,9 nedoznačenih stabala/ha posječeno je radi preloma, izvala, odnosno prolaska harvestera.

Promjene nekih fizikalnih svojstava tla uslijed jednokratnog prolaska harvestera u odnosu na neizgaženo tlo, istražene su mjerenjem konusnoga indeksa tla mehaničkim penetrometrom, otpora tla na smicanje krilnom sondom te laboratorijskom analizom vodno-fizičkih svojstava uzoraka tla (Kopeckijevi valjci). Testiranjem dobivenih rezultata značajki tla koje ukazuju na sabijenost, nisu utvrđene statistički značajne razlike ni kod jednog od praćenih parametra.

*Ključne riječi:* proreda sastojina tvrdih listača, harvester, oštećivanje stabala i tla

### 1. UVOD I PROBLEM ISTRAŽIVANJA – Introduction and problem of research

Pridobivanje drva prate rizici oštećenja šumskog ekosustava. Najkritičnijim se drže oštećenja od mehani-

zacije u mladim sastojinama, gdje se, više nego u starijim sastojinama, utječe na njihov daljnji razvoj, potrajnost prihoda i potrajnost ukupnih ekoloških funkcija šume (Wästerlund 1996).

Negativni su ekološki učinci zbog oštećivanja sastojina uporabom strojeva pri šumskim radovima predmet mnogobrojnih istraživanja, rasprava i različitih ocjenjivanja. Isto su tako različita mišljenja i mjere koje

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

se poduzimaju u svrhu smanjenja oštećenja (Abeels 1994, Gönna 1994, Košir 1994, Wästerlund 1994, Ward i Lyons 2001, Ward i dr. 2003). Autori koji su proučavali navedenu problematiku suglasni su da ne postoji mogućnost obavljanja šumskih radova bez oštećivanja okoliša unatoč svim mjerama zaštite (Martinić 2000).

Obujam oštećenja u uskoj je vezi s radnim sredstvima (strojevi i oprema), kakvoćom organizacije rada, pogodnošću radnih metoda u konkretnim terenskim uvjetima te kakvoćom radne tehnike izvoditelja šumskih radova (Spinelli 1994). Poznato je da kod privlačenja drva obujam oštećivanja raste s porastom dimenzija i snage strojeva, stupnjem mehaniziranosti rada i duljinama privlačenih sortimenata (Martinić 1993). Manja i slabija sredstva privlačenja uzrokuju manja oštećivanja sastojine.

Od svih strojeva kojima se mehaniziraju radovi u šumarstvu, vozila u stalnom dodiru s tlom uzrokuju najveća oštećenja (Wästerlund 2002, 2003). Posljedice kretanja vozila po sastojini očituju se u dva osnovna slučaja:

- ⇒ gaženje tla, određeno kao omjer ploštine tla po kojoj se kretalo vozilo i ukupne ploštine sastojine,
- ⇒ sabijanje tla, određeno kao njegova obujmena deformacija.

Osim uobičajenog sabijanja tla prolaskom vozila šumskom površinom nastaju i druga djelovanja: premještanje horizonata tla, utjecaj na eroziju te oštećenje stabala i pomlatka. Na gaženje se tla, osim nekim značajkama vozila, najviše može utjecati pripremom rada i drugim organizacijskim mjerama (Krpan i dr. 1993). Abeels (1989) navodi da odlučujući utjecaj na sabijanje tla imaju značajke vozila (ukupna težina i njen raspored po mostovima, broj osovin, broj i dimenzije guma, korištenje lanaca, odnosno gusjenica, vrsta prijenosa snage, način upravljanja) i stanje tla (vrsta tla, mehanički sastav, trenutna mokrina). Froelich (1989) iznosi činjenicu da je o oštećivanju tla prolaskom vozila napisano mnogo radova, ali da se u manjem broju njih proučava utjecaj stupnja oštećivanja na razvoj biljaka. Isti autor smatra da su osnovna pitanja koja treba proučavati u svrhu istraživanja utjecaja vozila na tlo:

- ⇒ kod koje razine oštećenja dolazi do smanjenja prirasta drveća?
- ⇒ koje se promjene događaju u nekome tlu određene mokrine pri prolasku određenoga vozila?
- ⇒ koje sve mogućnosti postoje za povećanje proizvodnosti oštećenoga tla?
- ⇒ koje su značajke vozila najvažnije za oštećivanje tla, te kako treba konstruirati šumsko vozilo da bi se smanjilo to oštećenje?
- ⇒ postoje li, i koji su to otpori izmjenama postojećih metoda i strategije u iskorištavanju šuma u svrhu smanjivanja oštećivanja tla?

⇒ kolike su gospodarske posljedice oštećivanja?

On dalje navodi da postoje pokušaji kvantificiranja graničnoga oštećivanja tla, kakav je primjerice prijedlog USDA Forest Service-a, kojim se kao granično sabijanje tla smatra smanjenje ukupnoga prostora pora za 10 %. Time se omogućuje veće sabijanje lakših vrsta tala. Na kraju Froelich u istome radu iznosi sljedeće zaključke:

- ⇒ rast sadnica razmjerno se smanjuje s povećanjem gustoće tla,
- ⇒ smanjenje obujamnoga prirasta (od 6 % do 15%) veće je nego visinskog kod mlađih stabala,
- ⇒ u proredama je smanjenje prirasta proporcionalno dubini kolotraga, ploštini gaženja i povećanju gustoće tla,
- ⇒ smanjenje prirasta temeljnice stabala može iznositi od 5 % do 13 % ovisno o intenzitetu sabijanja,
- ⇒ prirodni oporavak tla i povratak u stanje prije sabijanja traje između 20 i 50 godina.

Iz navedenih se zaključaka vidi da obujamna deformacija tla, nastala povećanjem gustoće tla sabijanjem, dakle značajno utječe na rast biljaka. Postoje različiti načini mjerenja sabijenosti tla, od kojih su najčešći: promjene gustoće tla, poroznosti, kapaciteta tla za vodu i za zrak, mjerenje konusnoga indeksa, smične čvrstoće i dr. (Hildebrand 1994, Horvat 1994, Horvat 1996, Saarilahti 2002, Warkotch i dr. 1994).

Većina istraživača misli da je broj mehanički oštećenih stabala dobar pokazatelj ukupnog oštećenja sastojine (Martinić 1991, Sirén 2001, Tomanić i dr. 1989). Takve se štete mogu razmjerno jednostavno i točno odrediti. Isto tako su i posljedice poznatije (smanjenje prirasta, pad vrijednosti obloga drva, sušenje stabala) u odnosu na one pri oštećivanju pomlatka i tla kretanjem vozila.

Pri utvrđivanju obujma oštećivanja sastojine uporabom mehanizacije, najčešće se postavljaju sljedeći ciljevi:

- ⇒ utvrditi ukupno oštećivanje sastojine iskazano postotkom oštećenih stabala u odnosu na broj preostalih stabala nakon sječe,
- ⇒ analizirati strukturna obilježja nastalih oštećenja,
- ⇒ uočiti radnje i postupke koji uzrokuju oštećivanje,
- ⇒ ocijeniti primjerenost radne metode i uporabljenih radnih sredstava s obzirom na veličinu i strukturu oštećivanja.

Zbog porasta interesa za mehaniziranu sječu, u Hrvatskoj su tijekom 2002., provedena eksperimentalna istraživanja djelotvornosti strojne sječe i izrade u sastojinama tvrdih i mekih listača (Krpan i Poršinsky 2002B). U ovome su radu proučavane posljedice strojne sječe i izradbe drva jednozahvatnim harvesterom Timberjack 1270B, pri proredi prirodne mješovite sastojine tvrdih listača na području Uprave šuma područnice Bjelovar.



## 2. METODE I MJESTO ISTRAŽIVANJA – Method and place of research

Posljedice strojne sječe i izradbe drva jednozahvatnim harvesterom Timberjack 1270B istražene su u odjelu 20, G.J. Dišnica – Zobikovac – Petkovača, Šumarije Garešnica. Sastojine u odjelu 20 su prirodne jednodobne mješovite šume hrasta kitnjaka, obične bukve i običnoga graba, starosti 79 godina. Pripadaju uređajnom razredu hrasta kitnjaka (gospodarenje uz ophodnju od 120 godina).

Istraživanje oštećenja dubećih stabala pri proredi harvesterom provedeno je u odsjeku 20a. Drvna zalihha odsjeka iznosila je 323 m<sup>3</sup>/ha s temeljnicom od 24,4 m<sup>2</sup>/ha uz 449 stabla/ha. Sječna je gustoća prorede iznosila je 36,2 m<sup>3</sup>/ha (50 stabala/ha). Sječina nije bila sekundarno otvorena usporednim vlakama tipičnim za rad harvestera, niti je u tom smjeru provedena doznaka stabala. Stoga se harvester do doznačenih stabala kretao po sječini, pri čemu je posjekao pokoje nedoznačeno (tanje) stablo. Pri istraživanjima je primijenjena metoda, koja je omogućila analizu strukturnih obilježja oštećenja (Tomanić i dr. 1989, Krpan i Poršinsky 2002B), što uključuje:

⇒ vrstu štete (stabla posječena radi prolaza vozila, prelomljena i izvaljena stabla, oštećena dubeća stabla),

- ⇒ uzrok štete (udarac šasijom vozila, udarac sječnom glavom, pad drugog stabla pri obaranju),
- ⇒ mjesto oštećenja dubećih stabala (korjen, pridanak, deblo, krošnja),
- ⇒ vrstu oštećenja dubećih stabala (polomljene grane, polomljena krošnja, nagnječena kora, oguljena kora),
- ⇒ veličinu oštećenja oguljene kore (površina ozljede).

Osim navedenih strukturnih obilježja oštećenja, za svako je oštećeno stablo određena vrsta drva, izmjerena je prsni promjer te udaljenost stabla od harvestera. Naknadno posječena nedoznačena stabla razlučena su na stabla posječena radi prolaska vozila te na polomljena i izvaljena stabla za koja je naveden uzrok prjeloma ili izvale. Naknadno posječenim i izrađenim stablima snimatelj je izmjerio prsni promjer. Nagnječena je kora određena kao oštećenje kore kod kojega nije vidljiva zona kambija, dok je oguljena kora određena kao oštećenje s vidljivim kambijem. Kod stabala s oguljenom korom, izmjerena je visina ozljede od tla i dimenzije ozljede (širina, duljina ili promjer) u svrhu izračuna ploštine ozljede, ali i određivanja njenoga oblika. Polomljena krošnja određena je kao oštećenje do 40 % krošnje stabla.



Slika 1. Oguljena i nagnječena kora debela – Fig. 1 Bark peel-off (scar) and crushed bark on the stem



Osim navedenoga, za svako je oštećeno stablo procijenjena njegova gospodarska važnost te stupanj oštećenosti. Gospodarska važnost stabla procjenjuje vrijednost neoštećenoga stabla na kraju ophodnje, a raščlanjena je u 3 stupnja: izabrano stablo (nositelj proizvodnje, očekuju se kvalitetni tehnički sortimenti), korisno stablo (pomaže u razvoju izabranih stabala, zaštićuje tlo, iz stabla se očekuje manji udio tehničkih sortimenata), nevažno stablo (urasla stabla u jednodobnu sastojinu, podstojna stabla, u budućnosti isključiva mogućnost izradbe prostornoga drva). Stupanj oštećenosti stabla procjenjuje veličinu oštećenja pojedinog za sječu nedoznačenog stabla, a raščlanjen je u 3 razreda: vrlo teško oštećeno stablo (izvale, lomovi, stabla posječena zbog prolaza vozila), teško oštećena stabla (prelomi krošanja, oguljotine kore < 200 cm<sup>2</sup> površine) te neznatno oštećena stabla (prijelomi grana, nagnječenja kora, oguljotine kore > 200 cm<sup>2</sup> površine).

Istraživanja su provedena na način da je snimatelj pratio harvester tijekom cjelokupnog njegovog rada u sječnoj jedinici i zapisivao nastale štete prema razrade-

noj metodici. Obrada je podataka provedena analizom strukturnih obilježja nastalih oštećenja, sa svrhom ispitivanja mogućnosti smanjivanja stupnja oštećenja odnosno uklanjanja uzroka oštećenja stabala pri strojnoj sječi.

Istraživanje je oštećenja tla pri jednokratnom prolasku harvestera provedeno u odsjeku 20b. Istraživanje je provedeno na jednom kolotragu duljine 50 m (slika 2), s ciljem utvrđivanja da li postoji razlika u nekim značajkama šumskog tla izvan traga, odnosno u tragu nakon prolaska harvestera Timberjack 1270B.

Mjerenja na terenu obuhvatila su uzimanje uzoraka tla u narušenom i nenarušenom obliku (Kopeckijevi valjci) i mjerenje dviju mehaničkih značajki tla: konusnoga indeksa penetrometrom i smičnog otpora tla krilnom sondom. Mjerenja konusnog indeksa i smične čvrstoće provedena su na dubini tla od 15 cm. S iste dubine vađeni su i uzorci tla.



Slika 2. Trag pri jednokratnom prolasku harvestera  
Fig. 2 Rut formation after single harvester pass



Slika 3. Penetrometar i krilna sonda  
Fig. 3 Cone Penetrometer and Shear Vane Tester



Uzimanje uzoraka tla u nenarušenom i narušenom stanju (za određivanje mehaničkoga sastava tla) provedeno je u skladu s priručnikom za ispitivanje zemljišta "Metode istraživanja fizičkih svojstava zemljišta" (Anon. 1971).

Iz uzoraka nenarušenoga tla (Kopeckijevih valjaka) utvrđena su sljedeća vodno-fizička svojstva tla:

- ⇒ prirodna gustoća tla,
- ⇒ gustoća čvrste faze tla,
- ⇒ trenutna mokrina tla,
- ⇒ retencijski kapacitet tla za vodu (količina vode koju tlo može primiti, a da se ona ne cijedi – sve mikropore ispunjene vodom, a makropore zrakom),
- ⇒ porozitet,
- ⇒ kapacitet tla za zrak.

Analize uzoraka tla provedene su u pedološkom laboratoriju Šumarskoga fakulteta Zagreb, prema priručniku za pedološka istraživanja (Škorić 1982).

### 3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA – Results of research

Zbog raznorodnosti i raznovrsnosti posljedica strojne sječe i izradbe drva harvesterom, rezultati istraživanja razdvojeni su u dva potpoglavlja, i to: Oštećivanje

Konusni je indeks (otpor tla na prodiranje) mjereno ručnim penetrometrom (*Eijkelkamp – Hand penetrometer for top layers, type IB*) promjera osnovice od 5,6 mm ( $A = 0,25 \text{ mm}^2$ ) i vršnoga kuta od  $30^\circ$ . Prema načinu utiskivanja i zapisa mjernih podataka pripada grupi WES penetrometara (ručno utiskivanje s mehaničkim indikatorom). Izmjerena vrijednost (mjerni rezultat), ovakvih tipova penetrometara odnosi se na najveći otpor pri prodiranju konusa do dubine mjerenja (15 cm). Mjerno područje ovog penetrometra u rasponu je od 0 do 4000 kPa, s točnošću očitavanja mjernog rezultata od 40 kPa.

Otpor tla na smicanje (smična čvrstoća) mjerena je krilnom sondom (*Eijkelkamp – Field inspection Vane tester*). Krila sonde dimenzija su 16 mm • 32 mm, a mjerno područje ovog instrumenta je u rasponu od 0 do 260 kPa s točnošću očitavanja mjernog rezultata od 4 kPa. Mjerni rezultat ovog instrumenta odnosi se na otpor pri smicanju tla u trenutku nastanka loma.

dubećih stabala i Oštećivanje šumskog tla pri kretanju harvestera.

#### 3.1 Oštećivanje dubećih stabala – *Standing trees damages*

Struktura oštećenja stabala u sječini prikazana je na slici 4. Ukupno je oštećeno 441 stablo ili  $29,5 \approx 30$  stabala/ha. Od ukupno oštećenih stabala, 63 % otpada na oštećena dubeća stabla (18,6 stabala/ha). Na stabla nepovratno izgubljena za daljnje gospodarenje (163 adstabla) otpada 37 % ili 10,9 stabala/ha. U strukturi naknadno posječenih stabala, na stabla posječena radi prolaska harvestera otpada 6,7 stabala/ha ( $1,06 \text{ m}^3/\text{ha}$ ), odnosno na prelomljena i izvaljena stabla 4,2 stabala/ha ( $0,45 \text{ m}^3/\text{ha}$ ). Lomove i izvale stabala najčešće je prouzročio pad drugog stabla pri obaranju (54 puta ili 86 %). U 6 slučajeva uzrok je bio udarac šasijom harvestera (10 %), a u 3 navrata (5 %) lom je prouzročen udarcem sječne glave.

Ukupno oštećivanje sastojine pri mehaniziranoj sječi i izradbi drva harvesterom, iskazano postotkom oštećenih stabala u odnosu na broj preostalih stabala nakon sječe, iznosi 7,5 % (449 stabala/ha prije sječe, doznaka 50 stabala/ha). Isključivanjem stabala ispod taksacijske granice od 10 cm (debljinski razred 7,5 cm) oštećenje sastojine pada na 6,4 % od preostalih stabala u sastojini.

Usporedbe radi, Martinić (1991) istražujući u prorednim sastojinama oštećenja pri sječi i izradbi drva ručno-strojn timeradom motornom pilom utvrđuje stupanj oštećenja u iznosu od 8,2 % od preostalog broja stabala. Propisi u SAD-u kao prihvatljivu razinu ošte-

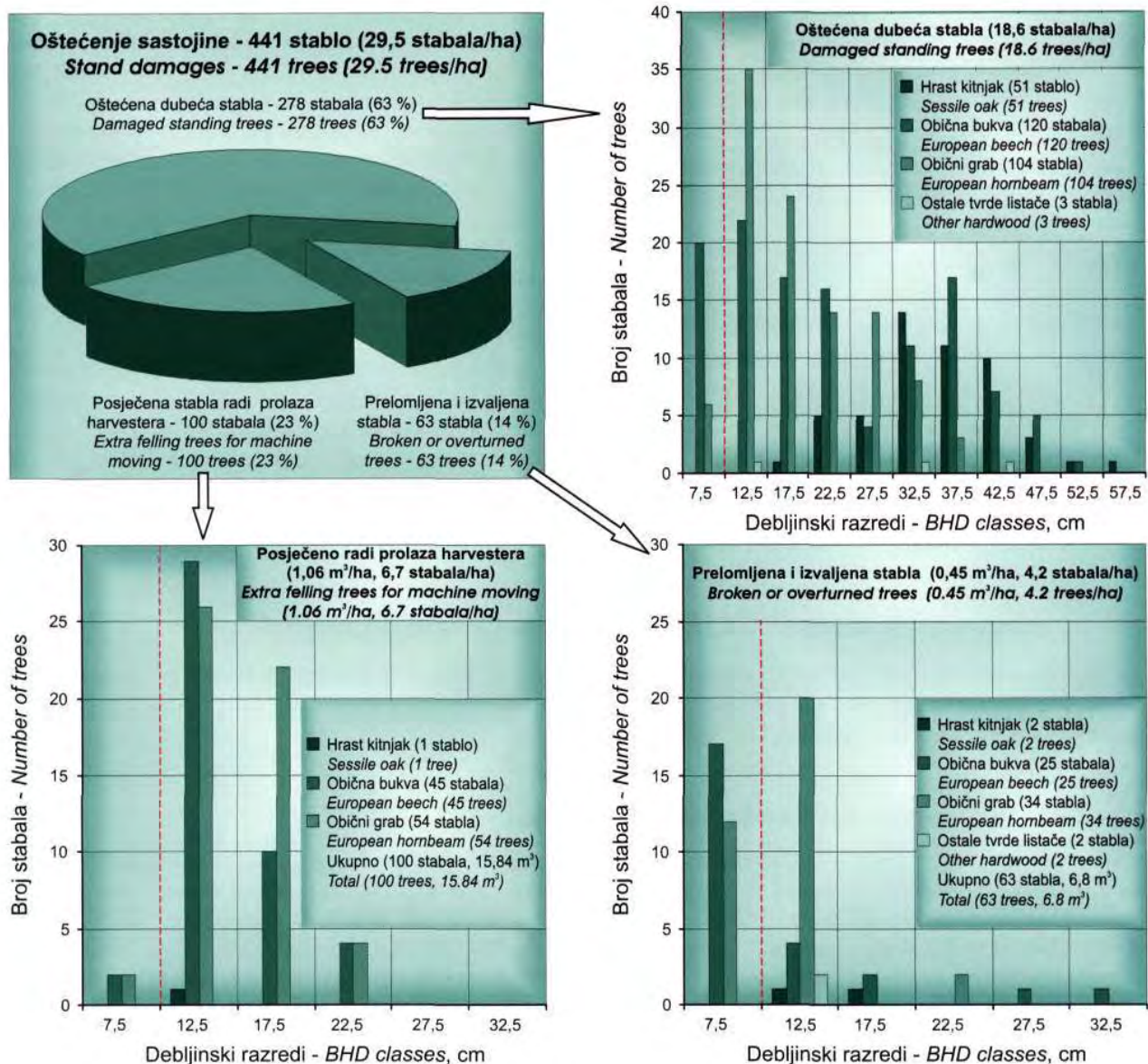
ćenja sastojina pri šumskim radovima, određuju u raspon od 3 % do 5 % stabala preostalih nakon sječe, ovisno o ovlastima pojedinih inspektora (Hani Kellogg 2000A). Košir (2002) i Sirén (2001) navode da su štete kod pridobivanja drva sustavom harvester – forvarder u granicama do 5 % preostalog broja stabala po završetku eksploatacije sječne jedinice prihvatljive.

Na ukupno 278 oštećenih dubećih stabala zabilježeno je 317 pojedinačnih ozljeda ili prosječno 1,1 ozljeda po stablu. Analiza strukturnih obilježja oštećenih dubećih stabala prikazana je na slici 5.

Prema slici 5A najučestalije su ozljede debla (140 ozljeda) i krošnje (127 ozljeda), dok su pridanak (36 ozljeda) i korijen stabla (14 ozljeda) znatno manje ozljeđivani.

Izvor oštećenja važan je podatak u svrhu uklanjanja uzroka ozljeđivanja (slika 5B). Najčešći uzrok oštećenja dubećih stabala je udarac drugog stabla pri obaranju (86 %). Udarac šasijom harvestera tijekom rada prouzročio je 10 % ozljeda, odnosno udarac sječnom glavom 4 % ozljeda.

Oštećenja dubećih stabala raščlanjena su glede vrste oštećenja, i to: oštećenje krošnje na polomljene grane i polomljenu krošnju, odnosno oštećenja korijena, pridanaka i debla na nagnječenu i oguljenu koru



Slika 4. Struktura oštećenja stabala u sječini – Fig. 4 Structure of damaged trees in the felling site

(slika 5C). Smatra se da lomovi grana i nagnječena kora uzrokuju manje posljedice na dubećim stablima, u odnosu na polomljene krošnje i oguljenu koru (Han i Kellogg 2000B). Ove dvije vrste najtežih oštećenja dubećih stabala prouzročio je u 151 slučaju udarac drugog stabla pri padu tijekom obaranja.

Nije utvrđena ovisnost udaljenosti između oštećenog stabla i harvester o prsnom promjeru stabla i vrsti drveća (slika 5D). Udaljenost se kretala u rasponu od 1 m do 25 m, a prosječno je iznosila  $6 \text{ m} \pm 5 \text{ m}$  (median 4 m).

Najveća pozornost poklonjena je analizi oštećenja oguljene kore na najvrednijem dijelu stabla – deblu i pridanku. Veličina oštećenja oguljene kore iskazuje se prema razredima ploštine ozljede.

Preporuka je ECE/FAO/ILO radne grupe br. 1, čiji je sadržaj rada i osnovna tema bila određivanje pokazatelja promjena pri oštećivanju stabala i tla, sa seminara "Soil, tree, machine interactions" održanoga 1994. godine u Feldafingu, razvrstavanje ozljeda oguljene kore prema ploštini u sljedeća 4 razreda: I razred ( $< 16 \text{ cm}^2$ ), II razred ( $16 \text{ cm}^2 - 100 \text{ cm}^2$ ), III razred ( $101 \text{ cm}^2 - 200 \text{ cm}^2$ ), IV razred ( $> 201 \text{ cm}^2$ ).

Shodno preporuci navedene radne grupe provedena je statistička analiza ploština ozljeda oguljene kore po vrstama drveća, razredima ploština ozljeda, odnosno obliku ozljeda (tablica 1).

Na 162 ozljede oguljene kore oštećenih dubećih stabala utvrđena je ukupna ploština oguljene kore od  $49\,227 \text{ cm}^2$  ( $0,33 \text{ m}^2/\text{ha}$ ).

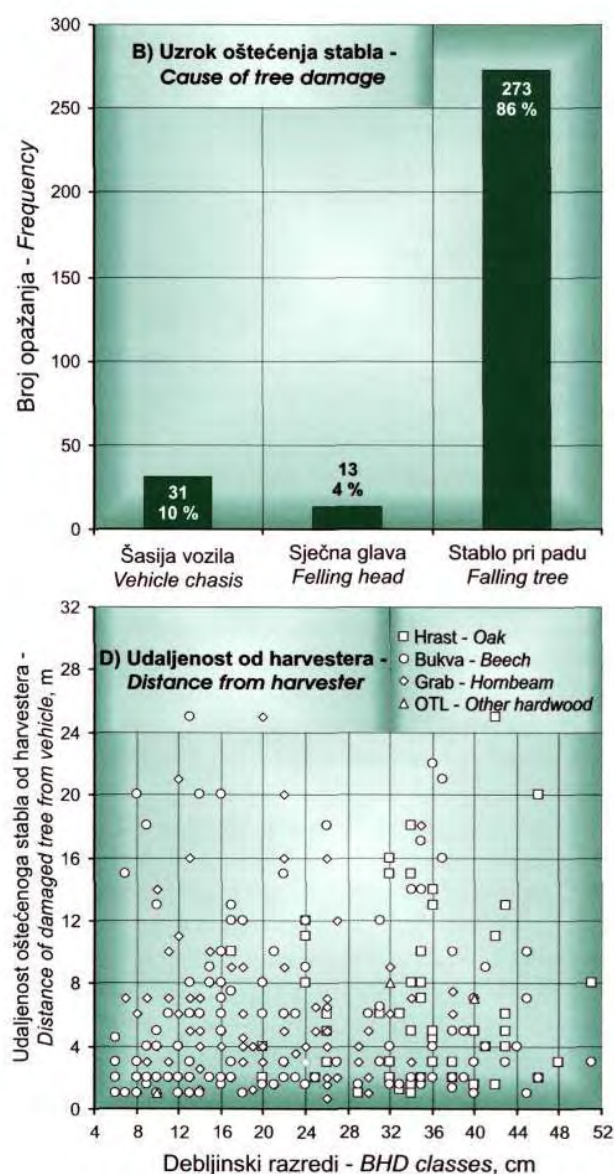
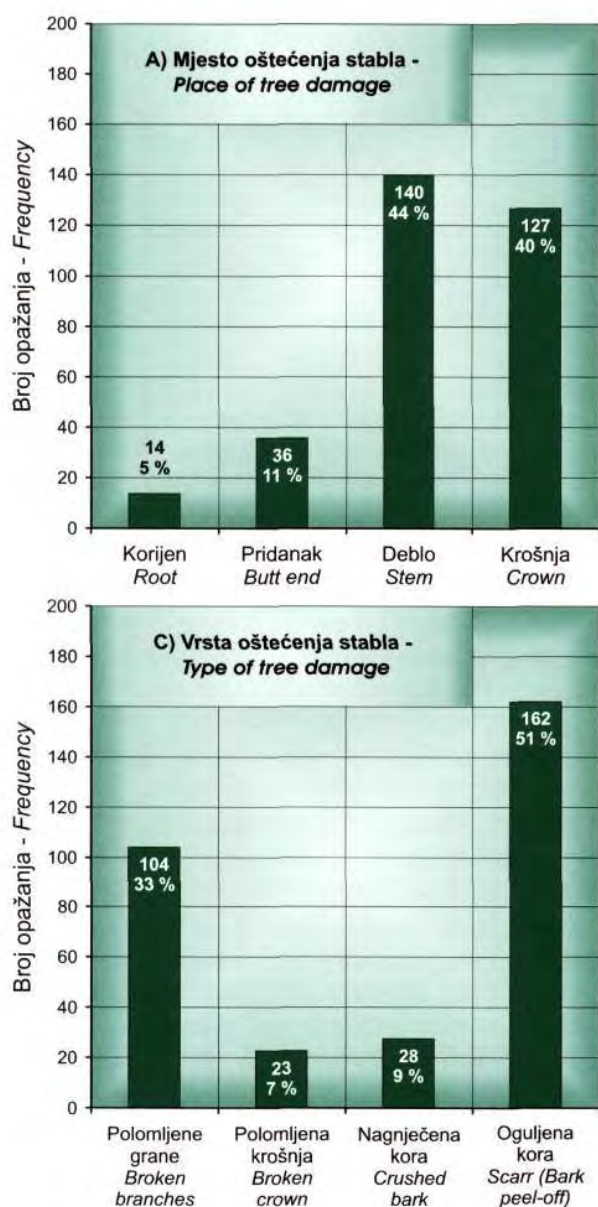


Ozljede oguljene kore, češće su i veće kod vrsta drva tanje kore (obična bukva – 77 ozljeda sa srednjom ploštinom od 344 cm<sup>2</sup>, obični grab – 52 ozljede sa srednjom ploštinom od 298 cm<sup>2</sup>). Na hrastu kitnjaku, kao vrsti drveća deblje kore, utvrđen je daleko manji broj ozljeda (svega 29) sa značajno manjom srednjom ploštinom ozljede oguljene kore (228 cm<sup>2</sup>). Isti trend pokazuju ostale mjere opisne statistike: standardna devijacija, najmanje i najveće opažanje.

Analizom ozljeda oguljene kore po razredima ploština ozljeda, utvrđeno je da su najčešće ozljede ploštine od 16 – 100 cm<sup>2</sup> (64 ozljede) i ploštine iznad 201 cm<sup>2</sup> (47 ozljeda). Ipak najveći udio u ukupnoj ploštini oguljene kore zauzimaju razredi III i IV.

Nije utvrđena ovisnost površine ozljede o udaljenosti između stabla s oguljenom korom i harvester (slika 6B). Važno je napomenuti da je 63,5 % ozljeda utvrđeno na stablima do 5 m udaljenosti, odnosno 80,2 % do udaljenosti od 8 m.

Oguljotine kore raščlanjene su prema obliku u tri grupe: okruglaste oguljotine, uzdužne oguljotine te poprečne oguljotine. Razlog raščlanjenju su nejednake štetne posljedice svakog od navedenih oblika oštećenja na prirast stabala, odnosno na kakvoću budućih drvnih sortimenata. Najštetnije su poprečne oguljotine, jer se njima presjeca veći broj provodnih elemenata stabla (Rebula 1991). Površine pojedinih oblika oguljene kore ovisno o prsnom promjeru oštećenih stabala pri-



Slika 5. Struktura oštećenja dubećih stabala u sječini – Fig. 5 - Structure of standing trees damage in the felling site

Tablica 1. Statistička analiza ploština ozljeda oguljene kore – *Table 1 Statistical analysis of scar area*

	Broj ozljeda <i>Number of scars</i>	Ukupna ploština <i>Total area</i>	Aritmetička sredina <i>Mean</i>	Standardna devijacija <i>Standard deviation</i>	Medijan <i>Median</i>	Najmanja ozljeda <i>Minimal scar</i>	Najveća ozljeda <i>Maximal scar</i>
Ploština ozljede – <i>Scar area, cm<sup>2</sup></i>							
Analiza po vrstama drveća – <i>Analysis per tree species</i>							
Hrast kitnjak <i>Sessile Oak</i>	29	6616	228	193	174	12	1000
Obična bukva <i>European Beech</i>	77	26492	344	822	88	4	5400
Obični grab <i>European Hornbeam</i>	52	15481	298	671	81	6	4000
Ostale tvrde listače <i>Other hardwood</i>	4	638	160	168	101	36	400
Ukupno <i>Total</i>	162	49227	304	686	102	4	5400
Analiza po razredima ploština ozljeda – <i>Analysis per classes of scar areas</i>							
I razred (< 16 cm <sup>2</sup> ) <i>I class (&lt; 16 cm<sup>2</sup>)</i>	17	197	11	4	12	4	15
II razred (16 - 100 cm <sup>2</sup> ) <i>II class (16 - 100 cm<sup>2</sup>)</i>	64	3621	56	24	54	18	100
III razred (101 - 200 cm <sup>2</sup> ) <i>III class (101 - 200 cm<sup>2</sup>)</i>	34	4958	146	30	141	104	200
IV razred (> 201 cm <sup>2</sup> ) <i>IV class (&gt; 201 cm<sup>2</sup>)</i>	47	40451	860	1093	400	204	5400
Analiza po obliku ozljeda – <i>Analysis per shapes of scars</i>							
Uzdužne ozljede <i>Longitudinal scars</i>	112	40844	364	787	130	10	5400
Poprečne ozljede <i>Transversal scars</i>	7	578	82	48	104	15	150
Okruglaste ozljede <i>Round-shaped scars</i>	43	7805	181	363	88	4	2250

kazuje slika 6C. Među nastalim oguljotinama kore daleko je najviše uzdužnih oguljotina (112), puno manje ima okruglastih (43), a najmanje najopasnijih, poprečnih oguljotina (7). Nije uočena ovisnost oblika oguljene kore i prsnog promjera oštećenih stabala. Najveća je prosječna površina kod uzdužnih oguljotina (364 cm<sup>2</sup>), kod okruglastih je manja (181 cm<sup>2</sup>), a najmanja je kod poprečnih (82 cm<sup>2</sup>).

Oguljotine kore najvećim se dijelom nalaze u donjim dijelovima debla (slika 6D), u području gdje su česti radovi sa sječnom glavom harvesterera, što potvrđuje rezultat da je 77,2 % oguljotina kore smješteno u visini debla do 2 m od tla, odnosno 85,2 % do visine od 3 m. Bettenger i Kellogg (1993) iznose da su stabla s ozljedama kore debla, bližim razini tla, izloženija razvoju mikoza razarača drva. Isti autori, kao popratnu pojavu, navode smanjenje volumnog prirasta stabla, odnosno gubitak vrijednosti buduće oblovine.

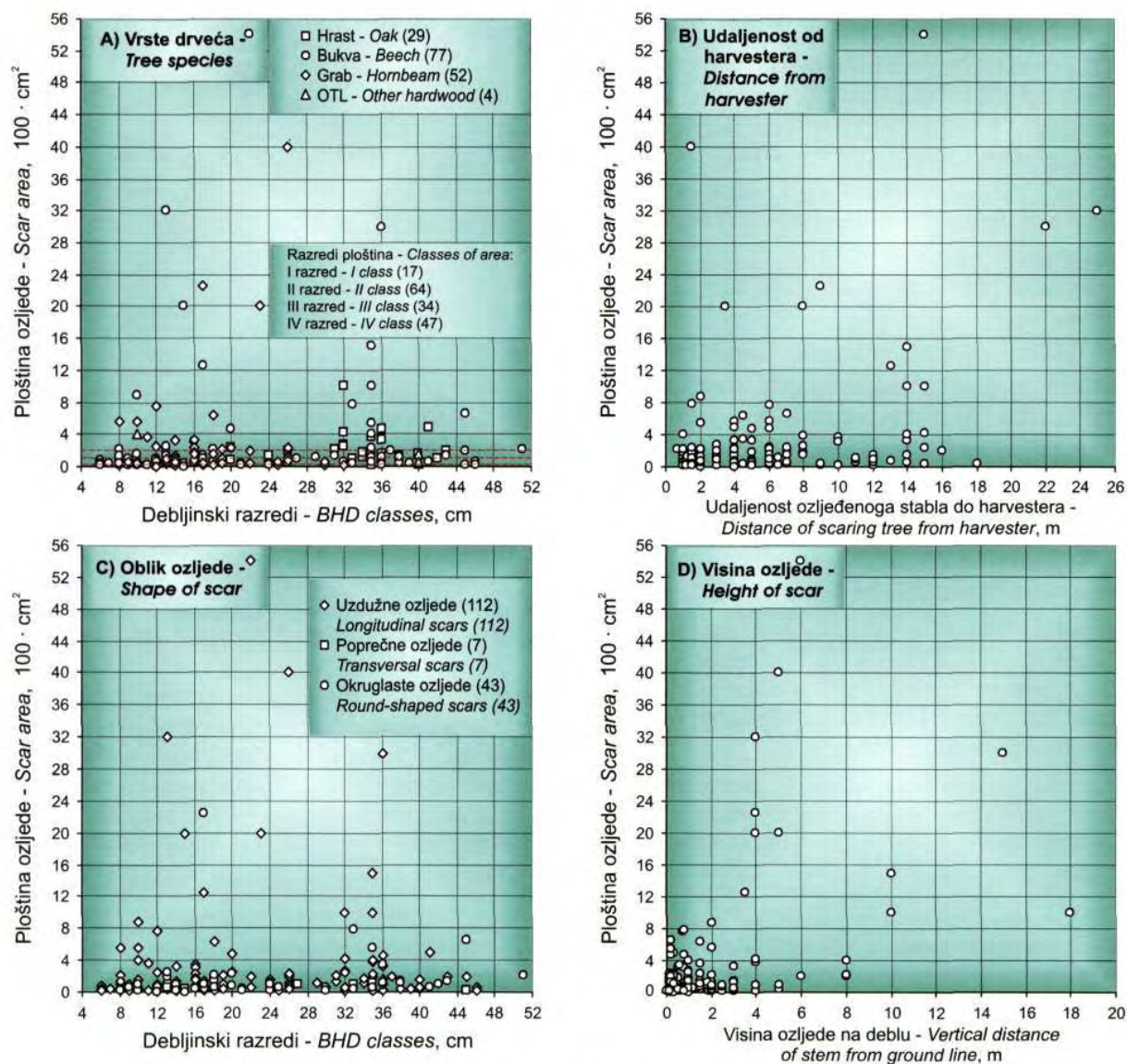
Ova analiza veličina ploštine ozljeda oguljene kore oštećenih dubećih stabla utvrdila je posljedice strojne sječe i izradbe drva harvesterom u proredi mješovite bjelogorične sastojine. Međutim, nigdje u literaturi nije

egzaktano navedeno koja ploština ozljede ima utjecaj i s kojom posljedičnošću na oštećeno dubeće stablo. Bettenger i Kellogg (1993) i Bragg i dr. (1994) navode da je ploština kritične ozljede oguljene kore ovisna o vrsti drveća, starosti stabla, genetskom predispozicijom stabla, mjestu i položaju ozljede na stablu, dimenzijama i oblikom ozljede (okrugla, poprečna ili uzdužna) s obzirom na uzdužnu os stabla.

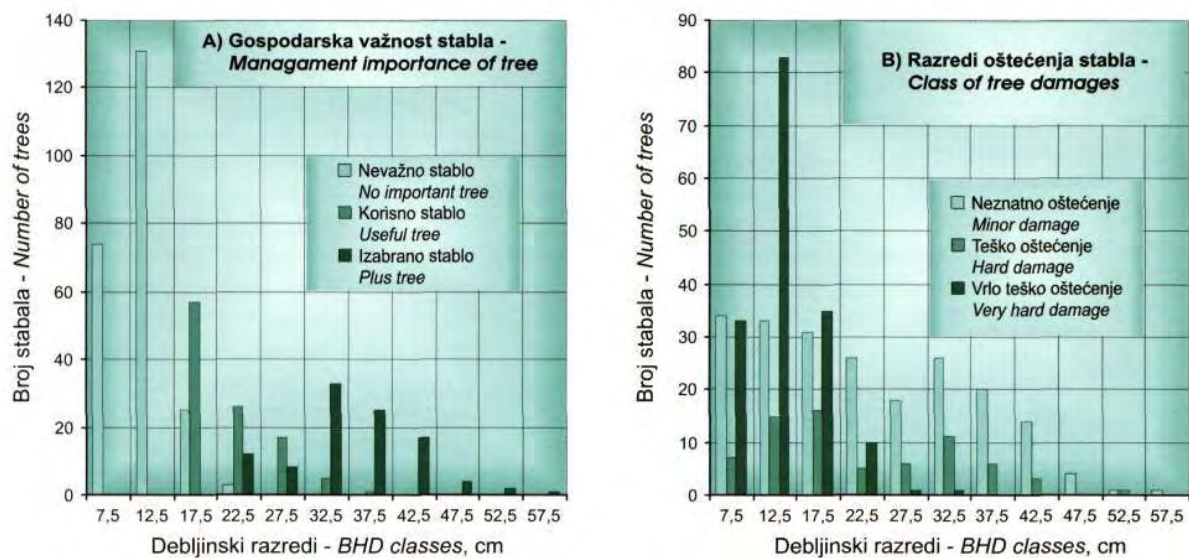
Krajnja analiza posljedica strojne sječe i izradbe drva obuhvatila je procijenu gospodarske važnosti i stupnja oštećenja svih oštećenih stabala (slika 7).

Prema gospodarskoj važnosti stabla, oštećeno je 52,8 % nevažnih stabala (15,6 stabala/ha), 24 % korisnih stabala (7,1 stablo/ha), odnosno 23,2 % izabranih stabala (6,8 stabala/ha). Stupanj oštećenosti pokazuje da je neznatno oštećeno 47,1 % stabala (13,9 stabala/ha), teško oštećeno 15,9 % stabala (4,7 stabala/ha), odnosno vrlo teško oštećeno 37 % stabala (29,5 stabala/ha). Zapaža se da teška i vrlo teška oštećenja nemaju visoke frekvencije u višim debljinskim razredima u kojima je veće učešće korisnih i izabranih stabala.





Slika 6. Analiza stabala s ozljedama oguljene kore – Fig. 6 – Analysis of trees with scarring damages



Slika 7. Značajke ukupnoga oštećivanja sastojine – Fig. 7 Features of total stand damage



### 3.2 Oštećivanje tla pri kretanju harvester – Soil damaging after harvester pass

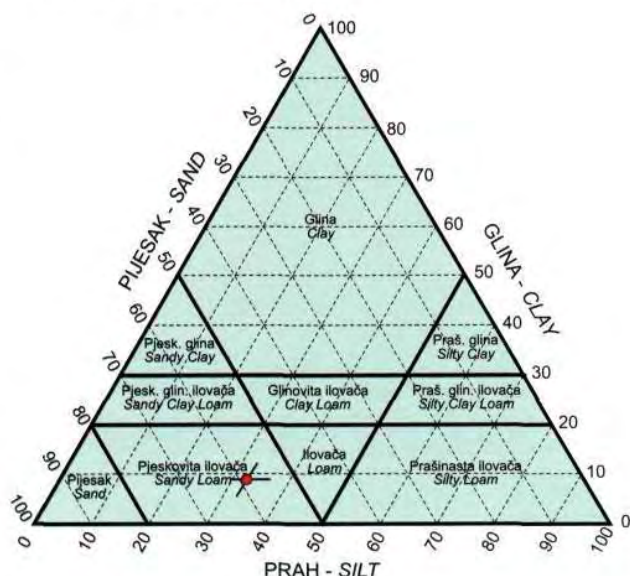
Tlo odsjeka 20b prema osnovnoj pedološkoj karti mjerila 1:50 000 (Mihajlo i Bašić 1981) sljedećih je značajki:

- ⇒ matični substrat – les,
- ⇒ tip tla – pseudoglej obrončani i lesivirano tlo tipično i pseudoglejno u omjeru 70 % : 30 %,
- ⇒ nagib terena – od 3 do 16 %,
- ⇒ mehanički (teksturni) sastav – ilovača ili ilovasta glina,
- ⇒ dreniranost – nepotpuna do umjereno dobra.

Granulometrijski je sastav tla određen otapanjem u Na-pirofosfatu. Analizom su utvrđeni sljedeći udjeli pojedinih frakcija: krupni pijesak (0,2 – 2 mm) – 2 %, sitni pijesak (0,02 – 0,2 mm) – 56,6 %, prah (0,002 – 0,02 mm) – 31,6 %, glina (<0,002 mm) – 9,8 %, iz čega se zaključuje da tlo u odsjeku 20b po teksturnoj oznaci pripada pjeskovitoj ilovači. Položaj tla prikazan je u trokutastom USDA dijagramu klasifikacije tla (slika 8).

Rezultati statističke analize podataka utvrđenih analizom Kopeckijevih valjaka i mjerenja konusnog indeksa i smične čvrstoće za tlo u tragu jednokratnog prolaska harvestera i izvan traga (kontrolno mjerenje) usporedo su prikazani u tablici 2.

Testiranje je rezultata značajki tla koji pokazuju sabijenost provedeno u računalnom programu *Microsoft Excel* testom razlike dviju sredina gdje se pretpostavlja nejednake varijance (*t-Test: Two-Sample Assuming*



Slika 8. Mehanički sastav istraživanoga tla

Fig. 8 Grain size distribution of researched soil

*Unequal Variances*) na način da su uspoređene srednje vrijednosti (aritmetičke sredine) značajki tla u tragu i izvan traga harvestera. Značajnost razlika između srednjih vrijednosti ocijenjena je testom razlike (*t*) na osnovi nulhipoteza kojima se pretpostavlja da su razlike između sredina rezultat slučajne varijabilnosti vrijednosti u uzorcima i da između odgovarajućih sredina

Tablica 2. Statistička analiza nekih fizičkih značajki tla – Table 2 Statistical analysis of some fisical fetures of soil

Značajke tla Soil features	Mjesto uzimanja uzorka tla ili mjerenja Place of measurement		Testiranje Testing	
	izvan traga harvestera outside harvester rut	u tragu harvestera in harvester rut	$t_{STAT}$	$t_{CRIT}$
Analiza Kopeckijevih valjaka – Analysis of Kopecki's sample cores				
Prirodna gustoća tla, g/cm <sup>3</sup> Bulk density, g/cm <sup>3</sup>	1,08 ± 0,10 (0,97 - 1,14)*	1,14 ± 0,13 (1,02 - 1,27)*	-0,66	2,77
Gustoća čvrste faze tla, g/cm <sup>3</sup> Solid density, g/cm <sup>3</sup>	2,61 ± 0,08 (2,56 - 2,70)*	2,61 ± 0,04 (2,56 - 2,63)*	0,00	3,18
Trenutna vlažnost tla, vol % Current moisture content, vol %	44,13 ± 0,74 (43,30 - 44,70)*	43,93 ± 2,41 (41,40 - 46,20)*	0,14	4,30
Retencijski kapacitet za vodu, vol % Water capacity, vol %	47,03 ± 0,64 (46,30 - 47,50)*	47,43 ± 3,48 (44,90 - 51,40)*	-0,20	4,30
Porozitet, vol % Porosity, vol %	58,63 ± 3,37 (55,50 - 62,20)*	56,37 ± 4,25 (51,80 - 60,20)*	0,72	2,77
Kapacitet tla za zrak, vol % Soil air capacity, vol %	11,60 ± 2,95 (9,20 - 14,90)*	8,93 ± 3,20 (5,80 - 12,20)*	1,06	2,77
Analiza mehaničkih značajki tla – Analysis mechanical soil features				
Konusni indeks, kPa Cone index, kPa	1152 ± 371 (280 - 1920)*	1098 ± 277 (400 - 1560)*	0,52	2,03
Smična čvrstoća, kPa Soil strenght, kPa	66 ± 27 (38 - 98)*	61 ± 5 (56 - 68)*	0,42	2,77

\* vrijednosti najmanje i najveće izmjere – minimums & maximums

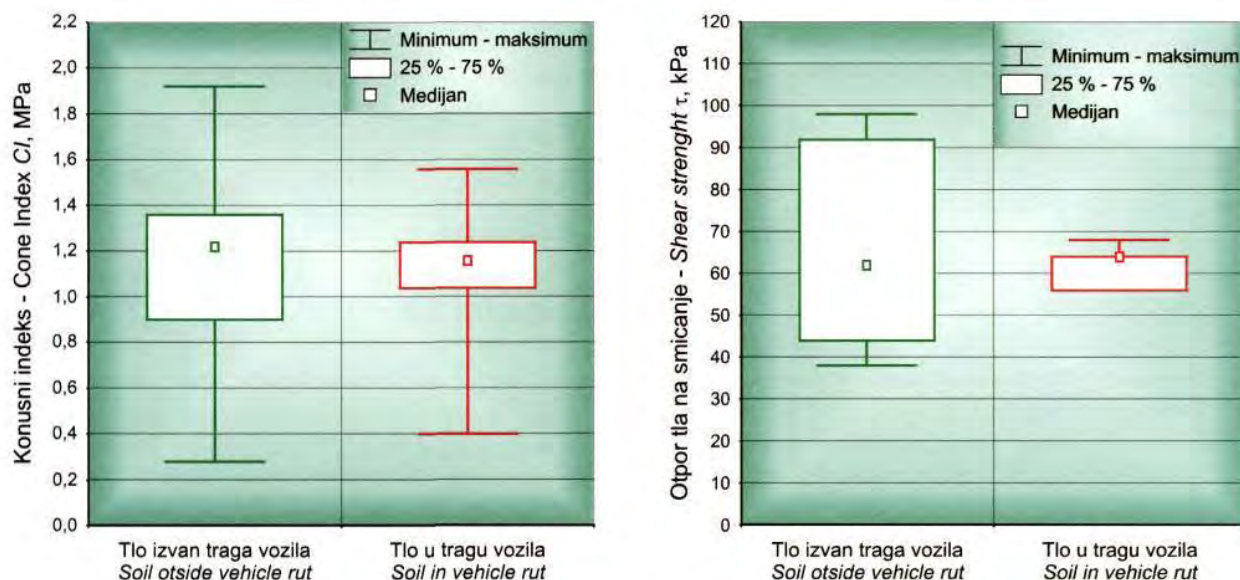


takva razlika ne postoji. U slučaju da je izračunata varijabla ( $t_{STAT}$ ) provedenoga testa usporedbe dviju sredina manja od kritične ( $t_{CRIT}$ ) na 95 %-tnoj razini sigifikantnosti smatramo da razlika između testiranih vrijednosti nije značajna (Pavlić 1985).

Prema podacima u tablici 2, vidljivo je da testiranjem nije utvrđena značajna razlika za nijedan parametar koji opisuje sabijanje tla.

Dodatni prikaz rezultata mjerenja konusnoga indeksa i smične čvrstoće dan je na slici 9, koja prikazuje u

Box & Whisker dijagramima medijan, kvartile podataka te najmanje i najveće izmjerene vrijednosti. Iz dijagrama je vidljivo da razlike u medijanima (mjera centralne tendencije koja nije pod utjecajem najmanjih i najvećih opažanja) mjerenih parametara ne postoje, već da su nastupile promjene kod tla u tragu vozila koje se očituju kroz smanjen raspon najmanjih i najvećih rezultata izmjere, odnosno kvartila izmjerenih podataka. Dobiveni rezultati ukazuju na smanjenje prirodne varijabilnosti šumskoga tla, tj. na blago sabijanje tla.



Slika 9. Rezultati mjerenja konusnog indeksa i smične čvrstoće – Fig. 9 Results of measurement of Cone Index and Soil strength

Ovi rezultati utvrđeni su na dobro dreniranom tlu (pjeskovita ilovača) koje je u trenutku mjerenja bilo izrazito vlažno, na što ukazuje podatak trenutne vlage tla (44 vol %) koja se nalazila blizu razine retencijskog

kapaciteta tla za vodu (47 vol %). Na ove rezultate mogući utjecaj imaju šire gume harvester (70 cm) kao i montirani lanci na gumama koje je vozač stavio čim je pala kiša.

#### 4. ZAKLJUČCI I PREPORUKE – Conclusions and Recommendations

Pri strojnoj proredi harvesterom Timberjack 1270B u prirodnoj mješovitoj sastojini hrasta kitnjaka, obične bukve i običnoga graba starosti 80 godina oštećeno je 6,4 % stabala preostalih nakon sječe ili 29,5 stabala po ha, što je prema dosadašnjim spoznajama manje u odnosu na sječu obavljenju motornom pilom.

Obzirom da u sječini nisu postojale usporedne vlake sa kojih bi harvester sjekao stabla (niti je u tom smjeru provedena doznaka stabala za sječu) veći je udjel naknadno posječenih stabala.

Na stablima su najizloženije ozljedama deblo i pridanak (55% ozljeđenih dubećih stabala). Najčešća vrsta oštećenja je ozljeda oguljene kore (51 % ozljeđenih dubećih stabala). Najčešći je uzrok oštećenja udarac posječenoga stabla (86 %).

Posebna je pozornost posvećena analizi oštećenja ozljeda oguljene kore deblo, iz razloga što je ta vrsta ozljeda najzastupljenija te ima velik utjecaj na kvalitetu i vrijednost sastojine na kraju ophodnje. Ozljede oguljene kore, češće su i veće kod vrsta drva tanje kore (obična bukva – 77 ozljeda sa srednjom ploštinom 344 cm<sup>2</sup>, obični grab – 52 ozljede sa srednjom ploštinom 298 cm<sup>2</sup>). Na hrastu kitnjaku, kao vrsti drveća deblje kore, utvrđen je daleko manji broj ozljeda (svega 29) sa značajno manjom srednjom ploštinom ozljede oguljene kore (228 cm<sup>2</sup>). Najučestalije oštećivanje oguljene kore utvrđeno je kod udaljenosti između stabla i harvestera do 5 m (63,5 %), odnosno na visini deblo od tla do 3 m (85,2 % ozljeda).

Prema stupnju oštećenosti sastojine utvrđeno je da teška i vrlo teška oštećenja nemaju visoke frekvencije u višim debljinskim razredima u kojima su se nalazila gospodarski vrijednija stabla.

Iz stečenih iskustava, preporuke za uporabu harvesteri pri proredama prirodnih sastojina tvrdih listača sa svrhom smanjivanja razine oštećenja sastojine su:

- ⇒ doznaku stabala u prirodnim sastojinama prilagoditi radu harvestera s usporednih vlaka, međusobne udaljenosti od 20 do 35 m,
- ⇒ sječa stabala izvan vegetacije, tj. u zimskom razdoblju,
- ⇒ od vozača harvestera zahtijevati veću kakvoću izvođenja radova (prvenstveno usmjerenog obaranja stabala),
- ⇒ povećati nadzor izvođenja radova.

Oštećenja tla kretanjem harvestera istražena su analizom fizičko-mehaničkih značajki tla u tragu i izvan traga vozila. Analizom se nisu utvrdile značajne razlike praćenih značajki tla, unatoč povećanoj vlažnosti tla. Na dobiveni rezultat utjecala je veća širina korištenih guma, kao i stavljanje lanaca na kotače harvestera u slučaju padalina.

Rezultati provedenoga istraživanja posljedica sječe i izradbe drva jednozahvatnim harvesterom u prorednoj sastojini tvrdih listača, govore u prilog strojne sječe i izradbe te opravdavaju njezinu primjenu. Ovim je radom utvrđena okolišna pogodnost, ove za naše podneblje nove tehnologije, u odnosu na ručno-strojnu sječu i izradbu drva motornom pilom.

## 5. LITERATURA – References

- Abeels, P.F.J., 1989: Forest machine design and soil damage reduction. Proceedings of the ECE/FAO/ILO/IUFRO Seminar on the Impact of mechanization of forest operations to the soil, Louvain-la-Neuve, 195–224.
- Abeels, P.F.J., 1994: Mechanization of the forest operations and impacts on the environment. Interactive seminar and workshop “Soil, tree, machines interaction”, Feldafing, Germany, 1–24.
- Abeels, P.F.J., E. Hildebrand, H. Höfle, A.J. Koolen, D. Matthies, R. Spinelli, I. Wasterlund, 1994: Conclusions – Drawn by the FORSITRISK working groups. Proceedings of the ECE/FAO/ILO Interactive Workshop and Seminar FORSITRISK – Soil, Tree, Machine interactions, Feldafing 4 – 8 July 1994, Germany, Appendix 1–13.
- Anon., 1971: Metode istraživanja fizičkih svojstava zemljišta. Priručnik za ispitivanje zemljišta, Knjiga 5, Jugoslavensko društvo za proučavanje zemljišta, Beograd, 1–207.
- 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: 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 2<sup>nd</sup> Forest Engineering Conference – Posters: Technique and Methods, 12–15 May 2003, Växjö, Sweden, 13–21.
- Bettinger, P., L.D. Kellogg, 1993: Residual stand damage from cut-to-length thinning of second-growth timber in the Cascade Range of western Oregon. Forest Products Journal 43 (11–12): 59–64.
- Bigot, M., E. Cuchet, 2003: Mechanized harvesting system for hardwoods. Proceedings of 2<sup>nd</sup> Forest Engineering Conference – Posters: Technique and Methods, 12–15 May 2003, Växjö, Sweden, 57–66.
- Bragg, W.C., W.D. Ostrofsky, B.F. Hoffman, 1994: Residual tree damage estimates from partial cutting simulation. Forest Products Journal 44 (7–8): 19–22.
- Froelich, H.A., 1989: Soil damage, tree growth, and mechanisation of forest operations. Proceedings of the ECE/FAO/ILO/IUFRO Seminar on the Impact of mechanisation of forest operations to the soil, Louvain-la-Neuve, 77–86.
- Han, H.-S., L.D. Kellogg, 2000A: Damage Characteristics in Young Douglas-fir Stands from Commercial Thinning with Four Timber Harvesting Systems. Western Journal of Applied Forestry 15 (1): 27–33.
- Han, H.-S., L.D. Kellogg, 2000B: A Comparison of Sampling Methods and a Proposed Quick Survey for Measuring Residual Stand Damage from Commercial Thinning. Journal of Forest Engineering 11 (1): 63–71.
- Horvat, D., 1994: Penetrometar – mjerilo za procjenu sabijenosti šumskoga tla (Penetrometer – measuring device for estimation of forest soil compaction). Mehanizacija šumarstva 19 (3): 161–171.
- Horvat, D., 1996: Procjena sabijenosti šumskoga tla penetrometrom s konusom – Stanje i budući raz-



- voj na Šumarskome fakultetu u Zagrebu (Estimation of the forest soil compaction by cone penetrometer – Situation and future development at the Faculty of forestry Zagreb). Proceedings "Progresses in Forest Operations", Ljubljana, Slovenia, 83–93.
- Hildebrand, E.E., 1994: Forest soils medium for root growth. Interactive seminar and workshop "Soil, tree, machines interaction", Feldafing, Germany, 1–14.
- Gönnä, von der M., 1994: Soil conservation guidelines for mechanical site preparation in British Columbia, Canada. Interactive seminar and workshop "Soil, tree, machines interaction", Feldafing, Germany, 1–6.
- Košir, B., 1994: Work preparation as a tool to avoid soil disturbances. Interactive seminar and workshop "Soil, tree, machines interaction", Feldafing, Germany, 1–4.
- Košir, B., 2002: Tehnološke možnosti strojne sečnje. Zbornik ob posvetovanju "Strojna sečnja v Sloveniji", Gospodarska zbornica Slovenije – Združenje za gozdarstvo, Ljubljana, oktober 2002, 7–20.
- Krpan, A.P.B., Ž. Ivanović, S. Petreš, 1993: Fizičke štete na tlu pri privlačenju drva (Ground damage resulting from dragging of timber). Šumarski list 117 (1–2): 23–32.
- 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 harvestera Timberjack 1070 pri proredi kulture običnoga bora (Productivity of Timberjack 1070 Harvester in Scotch Pine Thinning). Šumarski list 126 (11–12): 551–561.
- Krpan, A.P.B., T. Poršinsky, 2002B: Djelotvornost strojne sječe i izradbe u sastojinama mekih i tvrdih listača. Znanstvena studija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–40.
- Krpan, A.P.B., T. Poršinsky, 2004A: Djelotvornost strojne sječe i izrade u sastojinama tvrdih i mekih listača – 1. dio: Promišljanje struke o strojnoj sječi i izradbi drva (Efficiency of Mechanical Felling and Processing in Soft and Hardwood broadleaved stands – Part 1: Attitudes of Forest Professionals towards Mechanical Felling and Processing). Šumarski list 128(3–4): 127–136.
- Krpan, A.P.B., T. Poršinsky, 2004B: Djelotvornost strojne sječe i izrade u sastojinama tvrdih i mekih listača – 2. dio: Djelotvornost harvestera u kulturi mekih listača (Efficiency of Mechanical Felling and Processing in Soft and Hardwood broadleaved stands – Part 2: Efficiency of harvesters in the culture of soft broadleaf trees). Šumarski 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 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). Šumarski list 128 (9–10): 495–508.
- Martinić, I., 1991: Oštećenje sastojine pri obaranju stabla, izradi i privlačenju drva (Damage to Stands of Trees in the Felling, Processing and Hauling of Timber). Šumarski list 115 (1–2): 33–48.
- Martinić, I., M. Jurišić, T. Hengl, 1999: Neke ekološke posljedice uporabe strojeva u šumarstvu (Some Ecological Effects of Machinery Utilisation in Forestry). Strojarstvo 41 (3–4): 123–129.
- Martinić, I., 2000: Koliko smo blizu ekološki prihvatljivoj uporabi mehanizacije u šumarstvu? (Environmentally friendly use of machinery in forestry – a soap bubble or a near future). Šumarski list 124 (1–2): 3–13.
- Mihajlo, A., F. Bašić, 1981: Osnovna pedološka karta mjerila 1:50 000 – List (sekcija) Bjelovar 3. Poljoprivredni fakultet Sveučilišta u Osijeku i Poljoprivredni institut Križevci.
- Pavlič, I., 1985: Statistička teorija i primjena. Tehnička knjiga Zagreb, 1–343.
- 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.
- Rebula, E., 1991: Posljedice gradnje vlaka u šumi. Mehanizacija šumarstva 16 (3): 161–171.
- Saarihahti, M., 2002: Soil interaction model. Project deliverable D2 (Work package No. 1) of the Development of a Protocol for Ecoefficient Wood Harvesting on Sensitive Sites (ECOWOOD). EU 5<sup>th</sup> Framework Project (Quality of Life and Management of Living Resources) Contract No. QLK5-1999-00991 (1999–2002), 1–72.
- 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.
- Sirén, M., 2001: Tree Damage in Single-Grip Harvester Thinning Operations. *Journal of Forest Engineering* 12 (1): 29–38.0
- Spinelli, R., 1994: Environment impact of logging by farm tractors. Interactive seminar and workshop “Soil, tree, machines interaction”, Feldafing, Germany, 1–10.
- Škorić, A., 1982: Priručnik za pedološka istraživanja. Fakultet poljoprivrednih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, 1–57.
- Škorić, A., 1991: Sastav i svojstva tla. Fakultet poljoprivrednih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, 1–136.
- Tomanić, S., V. Vondra, I. Martinić, 1989: Oštećivanje sastojina pri šumskim radovima (Damage on Stands at Forest Work). *Mehanizacija šumarstva* 14 (3–4): 65–72.
- Ward, S.M., J. Lyons, 2001: The development of an operations protocol (OP) for wood harvesting on sensitive sites. 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.
- Ward, S.M., P.M.O. Owende, 2003: Development of a protocol for eco-efficient wood harvesting on sensitive sites. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Scientific Conference “Forest and Wood-Processing Technology vs. Environment – Fortechenvi Brno 2003”, May 26–30, 2003, Brno, Czech Republic, Mendel University of Agriculture and Forestry Brno & IUFRO WG 3.11.00, 473–482.
- Warkotsch, P.W., L. van Huysten, G. J. Olsen, 1994: Soil compaction damage, root growth, and yield losses in eucalyptus grandis plantations in Zululand, South Africa, Interactive seminar and workshop “Soil, tree, machines interaction”, Feldafing, Germany, 1–22.
- Wästerlund, I., 1994: Forest response to soil disturbance due to machine traffic. Interactive seminar and workshop “Soil, tree, machines interaction”, Feldafing, Germany, 1–23.
- Wästerlund, I., 1996: Environmentally friendly forestry operations – possible or must. Proceedings of the seminar Progresses in Forest Operations, 8 May 1996, Ljubljana, Slovenia, 9–14.
- Wästerlund, I., 2002: Soil disturbance in forestry: Problems and perspectives. Proceedings of the International Seminar on New Roles of Plantation Forestry Requiring Appropriate Tending and Harvesting Operations, September 29 – October 5, 2002, Tokyo, Japan, The Japan Forest Engineering Society & IUFRO WG 3.04/3.06/3.07, 312–315.
- Wästerlund, I., 2003: Soil disturbance problems in forestry. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Scientific Conference “Forest and Wood-Processing Technology vs. Environment – Fortechenvi Brno 2003”, May 26–30, 2003, Brno, Czech Republic, Mendel University of Agriculture and Forestry Brno & IUFRO WG 3.11.00, 491–495.

*SUMMARY: This paper shows the consequences of mechanical felling and processing in thinning mixed natural stand consisting of Sessile Oak (Quercus petraea Matt.), European Beech (Fagus sylvatica L.) and European Hornbeam (Carpinus betulus L.) by one-grip harvester Timberjack 1270B. Research of mechanical felling and processing consequences has pointed out tree damages and changes of some physical soil properties under compaction after single harvester pass.*

*Research of standing tree damages by Timberjack 1270B harvester was carried out in 80 years old stand, with the growing stock of 323 m<sup>3</sup>/ha and the basal area of 24.4 m<sup>2</sup>/ha with 449 trees per ha. Removal of thinning was 36.2 m<sup>3</sup>/ha (50 trees per ha). There were no parallel skid trails typical for the harvester operations in the cutblock neither the tree marking for this purpose was done. Therefore, the harvester moved to the marked trees across the cutblock. The research established stand damage through the analysis of structural features of sustained damages. Operations and routines which are causing damage were identified and the assessment of the harvester performance*



*in mechanized felling and processing of timber in the stand, considering the volume and structure of caused damage was made. During felling and processing operations performed by harvester, a total of 29.5 trees/ha were damaged, which is 6.4 % in relation to the number of the remaining trees after felling. 18.6 standing trees per ha were damaged and 10.9 non-marked trees per ha were felled due to breakage, overturning or harvester moving.*

*Changes of some physical soil properties under compaction after single harvester pass in relation on undisturbed soil, were researched by measuring cone index with cone penetrometer, shear strenght with vane tester and by laboratory analysis of water-physical properties of soil samples (Kopecky cylinder).*

*Results of the soil features which indicate compaction were tested and no significant differences were established for any of the tracked parameters.*

*Key words: thinning of hard-broadleaved stands, harvester, tree damages, soil disturbance*