



Štete na dubećim stablima pri primjeni različitih sustava pridobivanja drva

Jusuf Musić, Velid Halilović, Jelena Knežević, Admir Avdagić, Haris Koljić

Nacrtak – Abstract

S obzirom na sve veći nedostatak šumskih radnika i zbog toga na otežano ostvarivanje plana sječe neizbježno je da šumarska poduzeća razmatraju, među ostalim, mogućnosti uporabe suvremenih strojeva u tehnološkom procesu sječe stabala i izrade drvnih sortimenata i forvardera u fazi izvoženja drva. Primjena te tehnologije rada u šumarstvu BiH nameće i potrebu istraživanja njezina utjecaja na šumski ekosustav. Stoga se u ovom radu prikazuju rezultati oštećivanja preostalih stabala u sastojini pri primjeni djelomično i potpuno mehaniziranoga sustava pridobivanja drva. Istraživanje je provedeno na području kojim gospodari Šumsko privredno društvo »Unsko-sanske šume« d.o.o. Bosanska Krupa, u Podružnici šumarija Ključ. U dva šumska odjela postavljena je mreža dimenzija 200 × 200 m i ogledne plohe u obliku kruga polumjera 25 m i površine 0,19625 ha. Analizirana su sva oštećena preostala stabla na oglednim plohama prsnoga promjera iznad 5 cm i snimljeni ovi podaci: vrsta drveća, prsni promjer, vrsta oštećenja, mjesto oštećenja i veličina oštećenja. U jednom analiziranom šumskom odjelu primijenjeni su ručno-strojna sječa i izrada motornim pilama te forvarder, skider s vitlom i samarica za privlačenje drva – djelomično mehanizirani sustav pridobivanja drva. U drugom šumskom odjelu primijenjen je harvester za sječu stabala i izradu šumskih drvnih sortimenata ili samo za izradu šumskih drvnih sortimenata od stabala posejčenih motornom pilom (udaljenija stabla od puta i stabla velikih promjera), te forvarder za privlačenje (izvoženje) drva – uvojetno određeno kao potpuno mehanizirani sustav pridobivanja drva (sustav harvester i forvarder). Primjena harvestera i forvardera u tehnološkom procesu pridobivanja drva uzrokovala je oštećenja na 13,21 % preostalih stabala u analiziranom šumskom odjelu koji obuhvaća visoke šume s prirodnom obnovom i šumske kulture. Analiza prikupljenih podataka pokazala je da ne postoje statistički značajne razlike u udjelu oštećenih stabala tijekom primjene promatranih sustava pridobivanja drva u visokim šumama s prirodnom obnovom ($\chi^2 p = 0,1005$). Najčešća vrsta oštećenja u oba slučaja je »oguljena kora i oštećeno drvo«. Najveći je broj oštećenja zabilježen na žilištu i pridanku kod djelomično mehaniziranoga sustava pridobivanja drva, odnosno na deblu i pridanku kod potpuno mehaniziranoga sustava pridobivanja drva. Radi dobivanja pouzdanijih rezultata potrebno je nastaviti sa sličnim istraživanjima kojima bi se obuhvatilo veći broj utjecajnih čimbenika.

Ključne riječi: oštećenja, sustavi pridobivanja drva, motorna pila, skider, harvester, forvarder

1. Uvod – Introduction

Tehnološki proces pridobivanja drva u Bosni i Hercegovini (BiH) djelomično je mehaniziran. Najčešće se za sječu stabala i izradu drvnih sortimenata upotrebljava motorna pila, a za privlačenje drva skider s vitlom, pri čemu se primjenjuju sortimentna i (polu)deblovna metoda izrade drva (Halilović i dr. 2015, Marčeta 2015). Primjena potpuno mehaniziranih sustava pridobivanja drva, posebno harvestera za sječu i izradu u visokim šumama s prirodnom

obnovom u BiH je ograničena, ponajprije sastojinskim karakteristikama, odnosno propisanom primjenom skupinasto-prebornoga sustava gospodarenja. Slična je situacija i u zemljama regije. Naime, harvesteri su strojevi namijenjeni u prvom redu za rad u prirodnim šumama i kulturama četinjača te u plantažama topola (Bojanin i Krpan 1997), odnosno dokazana je njihova uspješna primjena pri proredama i čistim sječama u šumskim kulturama četinjača i u plantažama brzorastućih vrsta listača u Hrvatskoj (Krpan i Poršinsky 2001). Općenito

ocjenjujući djelotvornost harvesteru u hrvatskom šumarstvu, stručnjaci su relativno lošiju ocjenu obrazložili ograničenom upotrebljivošću u prirodnim šumama, upitnom prilagođenošću raznolikim terenskim uvjetima i visokom nabavnom cijenom. Pri tome su kao pozitivne karakteristike te tehnologije izdvojili visoku učinkovitost i smanjenje invaliditeta zaposlenika, odnosno povećanu sigurnost na radu (Krpan i Poršinsky 2004a). Pandur i dr. (2018) navode da je ograničena primjena harvesteru u hrvatskom šumarstvu uvjetovana prirodnim porijeklom šuma, vrstama drveća, dimenzijama stabala, makroreljefom te metodama uzgajanja i uređivanja šuma u kojima je učinkovitost rada harvesteru relativno mala. Šumarstvo se u Sloveniji, također, moralo suočiti s prilagodbom mehanizirane sječe na veliku raznolikost terenskih i sastojinskih karakteristika te na vlasničku strukturu šuma, što utječe na konkurentnost tzv. *cut-to-length* tehnologije rada u odnosu na ručno-strojnu, odnosno sječa stabala velikih dimenzija otvara pitanje kombinacije *cut-to-length* i ručno-strojne tehnologije rada (Krč i dr. 2015). Osnovni razlozi za značajniju primjenu *cut-to-length* tehnologije (harvester i forvarder) u Sloveniji nakon 2000. godine jesu smanjenje troškova rada i nedostatak profesionalnih radnika za tradicionalne šumarske poslove (Košir 2004). Uvođenje te tehnologije rada uz postojeći sustav gospodarenja šumama dovelo je do oštrog rasprava s posebnim naglaskom na oštećenja preostalih stabala i šumskog tla (Košir 2008a). Iz navedenoga izlazi osnovni motiv i potreba za ovim istraživanjem.

2. Problematika istraživanja – *Scope of research*

Negativan utjecaj strojeva na šumski ekosustav predmetom su stalnih i mnogobrojnih istraživanja s često različitim rezultatima, a time i zaključcima o mjerama nužnim za njihovo smanjivanje. To je u prvom redu uvjetovano različitim metodama istraživanja, ali i izraženom heterogenošću sredstava i tehnika rada, terenskih i sastojinskih uvjeta, načina njege i obnove šuma, sustava gospodarenja i dr. Ipak, među autorima koji su se bavili problematikom šumskih šteta postoji opća suglasnost da se, zbog specifičnosti tehnološkoga procesa, radne operacije pridobivanja drva ne mogu provesti bez određenoga oštećivanja šumskog ekosustava usprkos provedenim mjerama zaštite. Također, prevladava mišljenje da se izborom adekvatnih sredstava rada, kvalitetnom organizacijom rada, primjenom radnih metoda i tehnika rada sukladno terenskim i sastojinskim uvjetima te primjerenom motivira-

nošću šumskih radnika negativne posljedice mogu svesti na minimalnu odnosno na »prihvatljivu« razinu (Gurda i dr. 2016). Većina istraživača smatra da je broj mehanički oštećenih stabala dobar pokazatelj ukupnoga oštećenja sastojine (Tomanić i dr. 1989, Athanassiadis 1997, Sirén 2001). Štete se mogu relativno jednostavno i točno utvrditi, a ekološke i ekonomske posljedice mehaničkih oštećenja dubećih stabala poznatije su u odnosu na one pri oštećivanju pomlatka ili tla (Martinić 2000).

Štete u šumskom ekosustavu nastaju tijekom sječe stabala i privlačenja izrađenih drvnih sortimenata bez obzira na primijenjenu tehnologiju rada (Cudzik i dr. 2017). Ipak, zbog prirode poslova privlačenja teškoga i voluminoznoga tereta (drva) dijelom kroz šumsko bespuće, a dijelom po izrađenim putovima čini tu fazu rada najštetnijom za šumski ekosustav. Tavankar i dr. (2017) navode da je postotni udio šteta nastalih pri privlačenju drva traktorom Timberjack 450 C oko 73 %, dok je pri sječi stabala motornom pilom taj udio oko 27 %. Do sličnih rezultata u svojim istraživanjima došli su Martinić (1991) i Košir (2008b). Važno je naglasiti da se pri privlačenju drva znatno veći broj oštećenja javlja u privitlavanju drva vitlom od panja do traktorskoga puta u odnosu na vožnju tereta po putu kada se oštećuju u prvom redu samo rubna stabla (Kulušić 2000, Jourgholami 2012). Od mogućih načina kretanja drva po tlu prilikom privlačenja izvoženje je optimalna tehnika s gledišta šumskih šteta (Kulušić 2000) i ono se u današnjem šumarstvu obavlja pomoću poljoprivrednoga traktora s prikolicom, tzv. traktorskom ekipažom, ili pomoću forvardera. Područje ekonomske primjene tih strojeva određuju brojni utjecajni čimbenici, a ponajprije sastojinski i terenski uvjeti rada, organizacija rada te osobne vještine operatera (Hartsch i dr. 2022), pri čemu njihova uporaba uvjetuje sortimentnu metodu izrade drva zbog ograničene duljine utovarnoga prostora (Pandur i dr. 2014). Dodatno, zbog ograničenoga dohvata hidraulične dizalice njihova učinkovita primjena zahtjeva veću gustoću mreže traktorskih putova i s tim u vezi veću površinu gaženja tla. Pandur i dr. (2018) utvrdili su da je gaženje tla prilikom sječe i izrade drva harvesterom i izvoženja forvarderom u prorednim sastojinama listača 13,19 % površine. Ipak, usmjerenim rušenjem stabala i pravilnim planiranjem mreže sekundarnih prometnica gaženje tla moguće je smanjiti za čak 2,5 puta (Pandur i dr. 2014).

Kada je riječ o mehaničkim oštećenjima na preostalim stablima primjenom *cut-to-length* sustava pridobivanja drva (harvester i forvarder), uzrokuju ih kotači strojeva i hidraulična dizalica za utovar

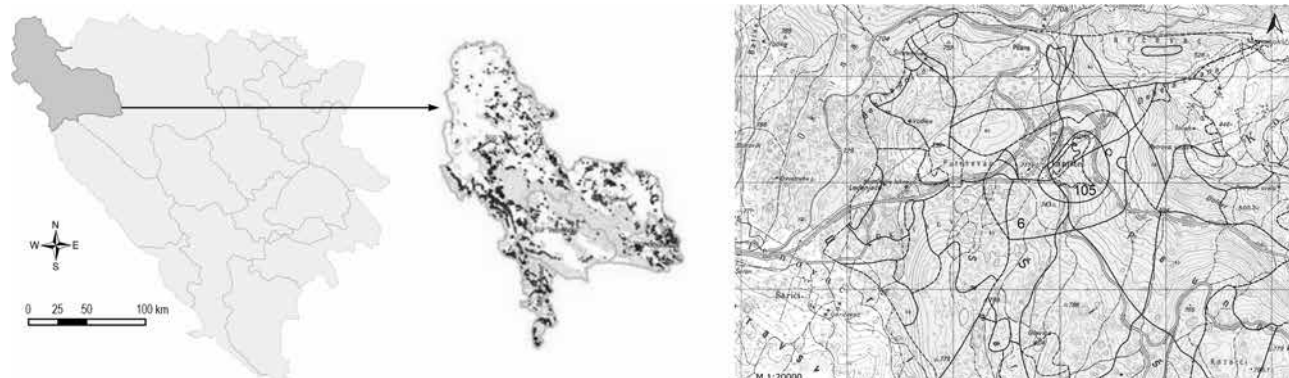
šumskih drvnih sortimenata na prikolicu forvardera (Cudzik i dr. 2017). S tim u vezi Poršinsky i Ožura (2006) utvrdili su da tokom izvoženja drva forvarderom Timberjack 1710B pri prorednim sječama u sastojini hrasta lužnjaka oštećenja na preostalim stablima najčešće uzrokuje guma vozila (76 %), zatim šasija (19 %) i trupac pri utovaru (5 %). Najčešći uzrok oštećivanja stabala pri proredi harvesterom Timberjack 1270B u prirodnoj mješovitoj sastojini hrasta kitnjaka, bukve i graba u dobi od 80 godina jest stablo pri padu (86 %), zatim šasija vozila (10 %) i sječna glava (4 %) (Krpan i Poršinsky 2004b).

Ipak, zbog kontroliranoga rušenja stabala pri sječi harvesterom oštećenja preostalih stabala u sastojini su manja u odnosu na ručno-strojnu sječu (Krpan i Poršinsky 2001). Košir (2008b), također, navodi da primjena sustava harvester i forvarder u mladim

sustavom (harvester i forvarder) rada u Sloveniji je pokazala da uporaba motorne pile i traktora uzrokuje više oštećenja na preostalim stablima i rezultira lošijom strukturom s više od jednoga oštećenja po stablu (Košir 2008a). Do sličnih rezultata u svojim su istraživanjima došli Cudzik i dr. (2017) uspoređujući udio oštećenih preostalih stabala primjenom motorne pile i LKT 81T skidera s vitlom nasuprot primjeni harvestera i forvardera.

3. Područje istraživanja – *Research area*

Istraživanje je provedeno na području kojim gospodari Šumsko privredno društvo »Unsko-sanske šume« d.o.o. Bosanska Krupa, Podružnica šumarija Ključ u dvama šumskim odjelima – 6 i 105 gospodarske jedinice (GJ) »Šiša–Palež« (slika 1).



Slika 1. Područje i lokalitet istraživanja

Fig. 1 Area and locality of research

sastojinama uzrokuje manja oštećenja zbog lakšega i usmjerenoga rušenja stabala te obvezne primjene sortimentne metode izrade drva. Dostupni podaci o postotnom udjelu oštećenih stabala nakon sječe dosta su varijabilni, a uvjetovani su različitim sastojinskim uvjetima rada i vrstom sječe. Proreda harvesterom Timberjack 1270B u prirodnoj mješovitoj sastojini hrasta kitnjaka, bukve i graba u dobi od 80 godina uzrokovala je oštećenja na samo 6,4 % preostalih stabala ili 29,5 stabala/ha (Krpan i Poršinsky 2004b). S druge strane, Sirén i dr. (2015) utvrdili su postotni udio oštećenih preostalih stabala pri primjeni sustava harvester i forvarder u raznodobnim sastojinama smreke od 21,5 %, dok su Ursić i dr. (2022) utvrdili da je tijekom prorednih sječa u sastojinama graba i bukve primjena harvestera i forvardera uzrokovala oštećenja na 35,5 % preostalih stabala.

Usporedba djelomično mehaniziranoga sustava (motorna pila i traktor) s potpuno mehaniziranim

Šumski odjel 6 GJ »Šiša–Palež« sastoji se od sedam odsjeka ukupne površine 131,90 ha. Doznaka je stabala za sječu provedena u odsjecima 01, 02, 03 i 05 pri čemu je u odsjecima 01 (površine 28,7 ha) i 05 (površine 24,1 ha) doznaka stabala obavljena u skladu s odredbama skupinasto-prebornoga sustava gospodarenja šumama, a u odsjecima 02 (površine 60,7 ha) i 03 (površine 9,5 ha) provedene su proredne sječe. Odsjeci 01 i 05 pripadaju gospodarskomu razredu 1211 *Bukovo-jelove šume sa smrekom na pretežno dubokom kalkokambisolu, luvisolu i njihovim kombinacijama na tvrdim vapnencima¹ i dolomitima*, odsjek 02 gospodarskomu razredu 3202 *Šumske smrekove kulture² čiste ili s jelom, borom i arišem s procijenjenim drvnim volumenom na staništu bukovo-jelovih šuma sa smrekom na pretežno plitkom kalkokambisolu i kombinaciji plitkoga*

¹ bos. jedrim krečnjacima

² bos. zasadi

kalkokambisola i kalkomelanosola na rendzini, na tvrdim vapnencima i dolomitima i kristalastim dolomitima, a odsjek 03 gospodarskomu razredu 3201 Šumske smrekove kulture čiste ili s jelom, borom i arišem s procijenjenim drvnim volumenom na staništu mješovitih šuma bukve, jele i smreke na pretežno dubokom kalkokambisolu i kombinaciji dubokoga kalkokambisola i luvisola na tvrdim vapnencima i dolomitima. Doznačeno je ukupno 5719 m³ krupnoga drva, od čega je 3946 m³ četinjača (69 %) i 1773 m³ listača (31 %). U oba je odsjeka za sječu stabala i izradu šumskih drvnih sortimenata primijenjen harvester, a forvarder za privlačenje do stovarišta na kamionskom putu. Određen broj stabala, koja zbog udaljenosti od puta ili velikih dimenzija nije bilo moguće srušiti harvesterom, posječen je motorom pilom, a sve ostale radne operacije (kresanje, krojenje, trupljenje) obavio je harvester. Zbog toga je primijenjeni sustav rada uvjetno određen kao »potpuno mehaniziran«.

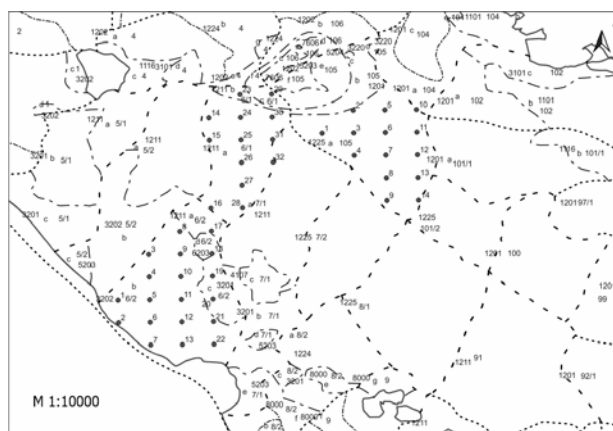
Šumski odjel 105 GJ »Šiša-Palež« sastoji se od šest odsjeka ukupne površine 88,20 ha. Odjel se nalazi na nadmorskoj visini 613–743 m, s nagibom terena u rasponu 0–25°. Istraživanje oštećenja na dubećim stablima provedeno je u odsjeku 01 (površine 48,2 ha) koji pripada gospodarskomu razredu 1201 Bukovo-jelove šume na pretežno dubokom kalkokambisolu i luvisolu i njihovim kombinacijama na tvrdim vapnencima i dolomitima. Doznaka stabala za sječu u tom je odsjeku provedena u skladu s principima skupinasto-prebornoga sustava gospodarenja šumama. Doznačeno je ukupno 3550 m³ krupnoga drva, od čega je 2912 m³ četinjača (82 %) i 638 m³ listača (18 %). U pridobivanju drva primijenjen je djelomično mehanizirani sustav. Sječa stabala i izrada šumskih drvnih sortimenata obavljena je motorom pilom u organizaciji rada 1+1 (dva radnika i 1 motorna pila), uz primjenu sortimentne metode izrade drva. Šumske drvene sortimente privlačili su forvarder i skider s vitlom, a prostorno drvo je izneseno samaricama. Sječu stabala i izradu šumskih drvnih sortimenata te privlačenje drva u oba su odjela obavili privatni izvođači radova.

4. Materijal i metode – *Material and methods*

U tehnološkom procesu pridobivanja drva upotrijebljena su ova sredstva rada: (1) jednozahvatni šestokotačni harvester John Deere 1470E, (2) forvarder John Deere 1210 E, (3) skider Timberjack 240 i (4) motorna pila Husqvarna 372XP. Djelomično mehanizirani sustav pridobivanja drva karakterizira primjena motorne pile za sječu stabala i izradu drvnih sortimenata te traktora za privlačenje drva. Potpuno

mehanizirani sustav pridobivanja drva razumijeva primjenu harvestera za sječu i izradu te forvardera za izvoženje drva do stovarišta na kamionskom putu.

Oštećenja su na dubećim stablima snimana nakon završenih radova na sječi i izradi te privlačenju drva u studenom 2022. godine u šumskom odjelu 105 GJ »Šiša-Palež« te u prosincu 2022. godine i siječnju 2023. godine u šumskom odjelu 6 GJ »Šiša-Palež«. U analiziranim šumskim odjelima postavljena je mreža dimenzija 200 × 200 m i ogledne plohe u obliku kruga polumjera 25 m i površine 0,19625 ha (slika 2). Ta forma uzorka te oblik i dimenzije oglednih ploha primijenjeni su i u drugim sličnim istraživanjima (Tavankar i Bodaghi 2011, Tavankar i dr. 2017). U odsjeku 01 šumskoga odjela 105 GJ »Šiša-Palež« postavljeno je 14 oglednih ploha. Ukupna površina svih postavljenih ploha iznosi 2,75 ha, što čini 5,71 % površine odsjeka. U odsjecima 01, 02, 03 i 05 šumskoga odjela 6 GJ »Šiša-Palež« postavljene su 32 ogledne plohe. Podaci su prikupljeni s 20 ploha, 11 u visokim šumama s prirodnom obnovom i 9 u šumskim kulturama. Podaci nisu prikupljeni za ogledne plohe koje se nalaze u miniranim dijelovima odsjeka, a u kojima nije ni bilo doznake stabala ni radova na pridobivanju drva. Ukupna površina svih ploha na kojima su prikupljeni podaci o oštećenjima iznosi 3,925 ha, što čini 3,19 % površine odsjeka u kojima je provedena doznaka stabala za sječu.



Slika 2. Shema oglednih ploha

Fig 2 Scheme of sample plots

Analizirana su sva preostala stabla na oglednim plohamu prsnoga promjera iznad 5 cm, pri čemu je najprije utvrđen ukupan broj preostalih stabala i broj oštećenih stabala. Za svako su oštećeno stablo zabilježeni ovi podaci: vrsta drveća, prsni promjer, vrsta oštećenja, mjesto oštećenja i veličina oštećenja.

Dodatno, položaj svakoga stabla snimljen je uređajem Global Positioning System (GPS). Oštećenja su, prema vrsti, klasificirana kao: »nagnječena kora«, »oguljena kora« i »oguljena kora i oštećeno drvo« (slika 3). Prema mjestu oštećenja primijenjena je razredba prema Mengu (1978): oštećenje korijena, žilišta, pridanka i debla (slika 4). Mjesto je oštećenja utvrđeno mjernom trakom, mjerenjem udaljenosti od središta oštećenja do tla. Duljina i širina oštećenja mjerene su ravnalom. Površina je oštećenja utvrđena po formuli za elipsu (Picchio i dr. 2011, Picchio i dr. 2019).

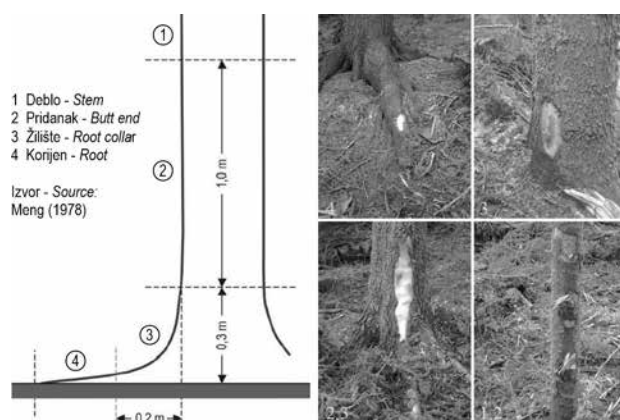
Statistička analiza prikupljenih podataka provedena je u softveru Statgraphics Centurion XVI. Nakon provjere normaliteta (Shapiro-Wilkov w -test) i homogenosti varijance (Leveneov test), Spearmanova je analiza primijenjena za testiranje korelacije između:

- ⇒ prsnoga promjera i vrste oštećenja
- ⇒ prsnoga promjera i mjesta oštećenja
- ⇒ prsnoga promjera i površine oštećenja
- ⇒ vrste oštećenja i mjesta oštećenja, vrste oštećenja i površine oštećenja
- ⇒ mjesta oštećenja i površine oštećenja.



Slika 3. Oštećenja prema vrsti: a) nagnječena kora; b) oguljena kora; c) oguljena kora i oštećeno drvo

Fig 3 Type of damage by severity: a) squeezed bark; b) removed bark; c) removed bark and damaged wood



Slika 4. Razredba i prikaz oštećenja prema mjestu nastanka

Fig 4 Classification and representation of tree damage by position

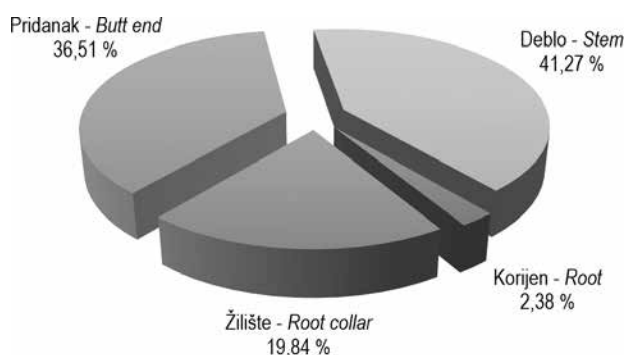
χ^2 -test je korišten za testiranje razlika u proporciji oštećenih stabala za različite tehnologije ili uvjete rada.

5. Rezultati rada i rasprava – Results and discussion

5.1 Oštećenja dubećih stabala pri primjeni potpuno mehaniziranoga sustava pridobivanja drva – Damage to residual trees by use of fully mechanised harvesting system

Oštećenja preostalih dubećih stabala u primjeni potpuno mehaniziranoga sustava pridobivanja drva snimana su u šumskom odjelu 6. Analizom prikupljenih podataka utvrđeno je da ukupan broj preostalih stabala u sastojini na 20 oglednih ploha

iznosi 1696. Oštećenja su zabilježena na 224 stabla, odnosno 13,21 % preostalih stabala, pri čemu je udio oštećenih stabala po pojedinim plohami varirao u rasponu od 0,96 % do 37,31 %. Ukupno je evidentirano 255 oštećenja na preostalim stablima, što je u prosjeku 1,14 oštećenja po stablu. Broj oštećenih stabala po jedinici površine iznosi 57,07 stabala/ha. Struktura evidentiranih oštećenja po vrstama drveća i debljinskim razredima prikazana je u tablici 1.



Slika 6. Udio oštećenja prema mjestu na stablu – šumski odjel 6

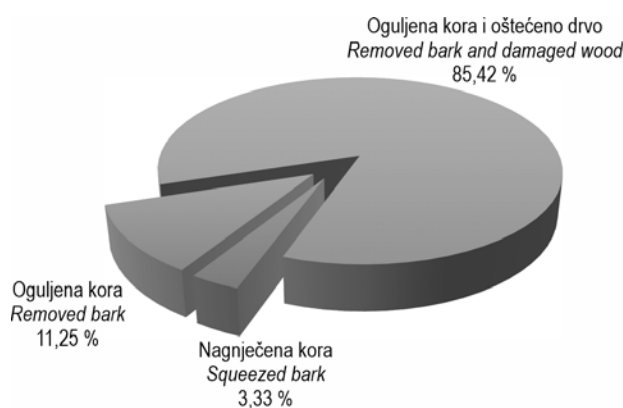
Fig. 6 Share of damage by tree position – forest compartment 6

Tablica 1. Oštećenja po vrstama drveća i debljinskim razredima – šumski odjel 6

Table 1 Damages by tree species and diameter classes – forest compartment 6

Vrsta drveća Tree species	Broj oštećenih stabala, n Number of damaged trees, n	Broj oštećenih stabala po hektaru, n/ha Number of damaged trees per hectare, n/ha	Udio oštećenih stabala, % Share of damaged trees, %	Debljinski razred, cm Diameter class, cm	Broj oštećenih stabala, n Number of damaged trees, n	Udio oštećenih stabala, % Share of damaged trees, %
Jela – Fir	127	32,36	7,49	5-10	4	1,79
Smreka – Spruce	40	10,19	2,36	11-20	32	14,29
Bijeli bor – Scots pine	5	1,27	0,29	21-30	58	25,89
Crni bor – Austrian pine	34	8,66	2,00	31-50	110	49,10
Bukva – Beech	7	1,78	0,41	51-80	20	8,93
Plemenite listače – Noble hardwoods	5	1,27	0,29	> 81	0	0
Ostale listače – Other hardwoods	6	1,53	0,35			
Ukupno – Total	224	57,07	13,21		224	100

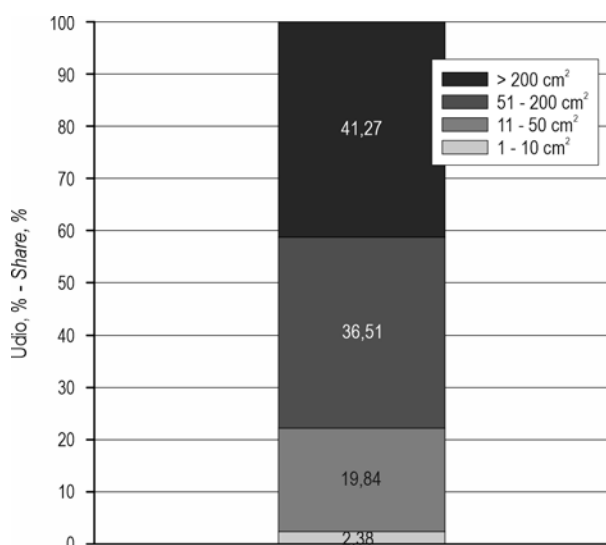
Najveći udio oštećenih stabala čini jela (56,69 %), zatim slijede smreka (17,86 %), crni bor (15,18 %), bukva (3,13 %), ostale listače (2,68 %) te bijeli bor i plemenite listače sa po 2,23 %. Najveći udio oštećenih stabala je iz debljinskoga razreda 31–50 cm (49,10 %) i 21–30 cm (25,89 %). Najzastupljenija je vrsta oštećenja »oguljena kora i oštećeno drvo« (slika 5), a najveći udio oštećenja (slika 6) zabilježen je na deblu (41,27 %) i pridanku (36,51 %).



Slika 5. Udio oštećenja prema vrsti – šumski odjel 6

Fig 5 Share of damage by type – forest compartment 6

Prosječna veličina oštećenja iznosi 356,18 cm², a varira od 10,99 cm² do 2355,00 cm². Najviše je oštećenja površine >200 cm² (slika 7).



Slika 7. Udio oštećenja prema veličini – šumski odjel 6

Fig. 7 Share of damage by size – forest compartment 6

Rezultati provedene Spearmanove korelacijske analize prikazani su u tablici 2.

Tablica 2. Rezultati Spearmanove korelacijske analize

Table 2 Results of Spearman correlation analysis

Varijabla – Variable	Koeficijent korelacije Correlation coefficient	p-vrijednost p-value
$D_{1,3}$ vs. vrsta oštećenja $D_{1,3}$ vs. type of damage	0,1010	0,1434
$D_{1,3}$ vs. mjesto oštećenja $D_{1,3}$ vs. damage position	-0,2572	0,0002*
$D_{1,3}$ vs. površina oštećenja $D_{1,3}$ vs. size of damage	0,1381	0,0454*
površina oštećenja vs. vrsta oštećenja size of damage vs. type of damage	0,3465	0,0000*
površina oštećenja vs. mjesto oštećenja size of damage vs. damage position	-0,3412	0,0000*
mjesto oštećenja vs. vrsta oštećenja damage position vs. type of damage	-0,1915	0,0055*

$D_{1,3}$ – prsni promjer, cm – Diameter at breast height, cm

* statistički značajna korelacija – statistically significant correlation

Provedenom analizom utvrđena je statistički značajna korelacija između prsnoga promjera i mjesta oštećenja ($p = 0,0002$), prsnoga promjera i površine oštećenja ($p = 0,0454$), površine oštećenja i vrste oštećenja ($p = 0,0000$), površine oštećenja i mjesta oštećenja ($p = 0,0000$) te mjesta oštećenja i vrste oštećenja ($p = 0,0055$). Korelacija je prsnoga promjera i mjesta oštećenja negativna jer su oštećenja na stablima s ve-

ćim promjerom evidentirana bliže tlu. S povećanjem prsnoga promjera stabla povećava se i površina oštećenja, tj. korelacija je pozitivna. Korelacija između površine oštećenja i vrste oštećenja također je pozitivna, odnosno veća oštećenja zabilježena su kod značajnijih vrsta oštećenja (»oguljena kora« i »oguljena kora i oštećeno drvo«). Korelacija je između površine oštećenja i mjesta oštećenja negativna, tj. oštećenja veće površine zabilježena su bliže tlu. U slučaju mjesta oštećenja i vrste oštećenja korelacija je negativna jer su značajnija oštećenja (»oguljena kora« i »oguljena kora i oštećeno drvo«) evidentirana bliže tlu.

5.2 Oštećenja dubećih stabala pri primjeni djelomično mehaniziranoga sustava pridobivanja drva – Damage to residual trees by use of semi-mechanised harvesting system

Oštećenja preostalih dubećih stabala pri primjeni djelomično mehaniziranoga sustava pridobivanja drva snimana su u šumskom odjelu 105. Analizom prikupljenih podataka utvrđeno je da ukupan broj preostalih stabala u sastojini na 14 oglednih ploha iznosi 931. Oštećenja su zabilježena na 208 stabala, odnosno 22,34 % preostalih stabala. Udio oštećenih stabala po plohi varira od 9,52 % do 44,64 %. Evidentirano je 250 oštećenja na preostalim stablima, tj. 1,20 oštećenja po stablu u prosjeku. Broj oštećenih stabala po jedinici površine iznosi 75,64 stabala/ha. Struktura utvrđenih oštećenja po vrstama drveća i debljinskim razredima prikazana je u tablici 3.

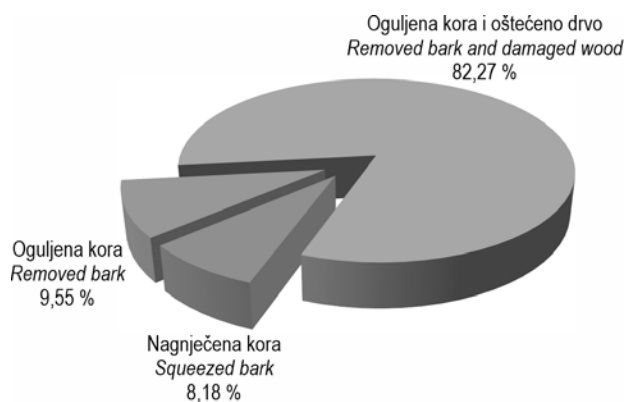
Tablica 3. Oštećenja po vrstama drveća i debljinskim razredima – šumski odjel 105

Table 3 Damages by tree species and diameter classes – forest compartment 105

Vrsta drveća Tree species	Broj oštećenih stabala, n Number of damaged trees, n	Broj oštećenih stabala po hektaru, n/ha Number of damaged trees per hectare, n/ha	Udio oštećenih stabala, % Share of damaged trees, %	Debljinski razred, cm Diameter class, cm	Broj oštećenih stabala, n Number of damaged trees, n	Udio oštećenih stabala, % Share of damaged trees, %
Jela – Fir	184	66,91	19,76	5-10	0	0
Smreka – Spruce	1	0,36	0,11	11-20	30	14,42
Bukva – Beech	2	0,73	0,21	21-30	44	21,15
Plemenite listače Noble hardwoods	16	5,82	1,72	31-50	103	49,53
Ostale listače Other hardwoods	5	1,82	0,54	51-80	31	14,90
				> 81	0	0
Ukupno – Total	208	75,64	22,34		208	100

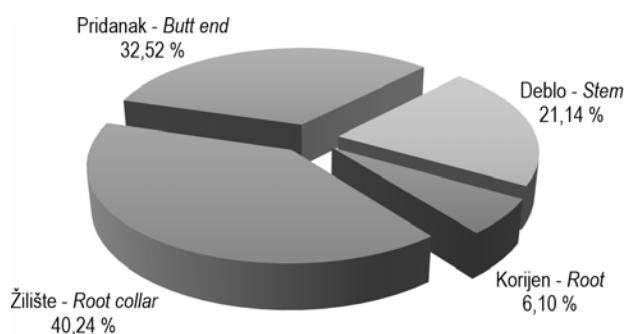
Prijašnjim istraživanjima oštećenja na dubećim stablima tijekom sječe stabala i izrade šumskih drvnih sortimenata motornom pilom i privlačenja drva skiderom s vitlom u Bosni i Hercegovini utvrđen je postotni udio oštećenih stabala od 15,41 % do 35 % (Gurda i dr. 2016, Zahirović i dr. 2016, Halilović i dr. 2020). Prema tomu može se zaključiti da se dobiveni rezultat (22,34 %) nalazi u navedenom intervalu. Postotni je udio oštećenih stabala nešto veći u odnosu na vrijednosti koje navodi Martinić (1993, 2000) za Hrvatsku u slučaju sječe stabala motornom pilom (3–5%) i privlačenja drva traktorom (5–15 %). Broj oštećenja po stablu (1,20) sličan je rezultatima do kojih je u svojim istraživanjima došao Sabo (2000), a koja iznose 1,25 i 1,35. Najveći udio oštećenih stabala čini jela (88,47 %), zatim slijede plemenite listače (7,69 %), ostale listače (2,40 %), bukva (0,96 %) i smreka (0,48 %), pri čemu je važno naglasiti da je postotni udio oštećenih jelovih stabala za 31,75 % veći u odnosu na udio stabala u sastojini nakon sječe. Najveći je udio oštećenih stabala iz debljinskoga razreda 31–50 cm (49,53 %), dok na preostalim stablima u debljinskim razredima 5–10 cm i >81 cm nisu zabilježena oštećenja.

Najčešća je vrsta oštećenja »oguljena kora i oštećeno drvo« (slika 8), a najveći broj oštećenja (slika 9) zabilježen je na donjim dijelovima stabla, žilištu (40,24 %) i pridanku (32,52 %).



Slika 8. Udio oštećenja prema vrsti – šumski odjel 105

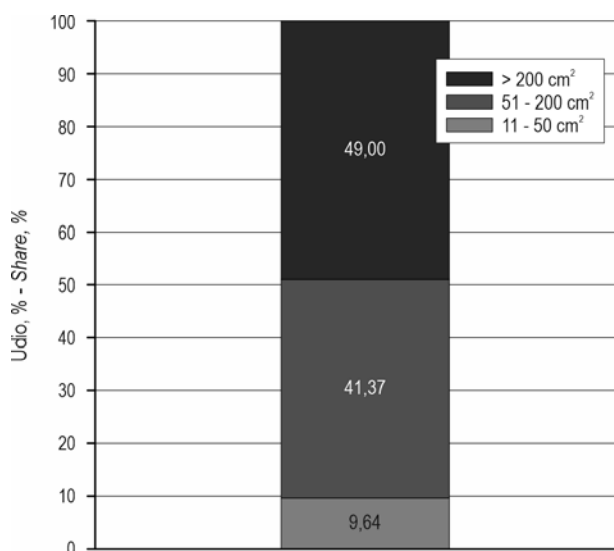
Fig 8 Share of damage by type – forest compartment 105



Slika 9. Udio oštećenja prema mjestu na stablu – šumski odjel 105

Fig. 9 Share of damage by tree position – forest compartment 105

Prosječna veličina oštećenja iznosi 364,51 cm², a kreće se od 11,78 cm² do 1946,02 cm². Najviše je oštećenja površine >200 cm², dok oštećenja površine <10 cm² nisu evidentirana (slika 10).



Slika 10. Udio oštećenja prema veličini – šumski odjel 105

Fig. 10 Share of damage by size – forest compartment 105

Rezultati provedene Spearmanove korelacijske analize prikazani su u tablici 4.

Tablica 4. Rezultati Spearmanove korelacijske analize**Table 4** Results of Spearman correlation analysis

Varijabla – Variable	Koeficijent korelacije Correlation coefficient	p-vrijednost p-value
D _{1,3} vs. vrsta oštećenja D _{1,3} vs. type of damage	-0,0075	0,9117
D _{1,3} vs. mjesto oštećenja D _{1,3} vs. damage position	-0,1995	0,0034*
D _{1,3} vs. površina oštećenja D _{1,3} vs. size of damage	-0,0048	0,9437
površina oštećenja vs. vrsta oštećenja size of damage vs. type of damage	0,3791	0,0000*
površina oštećenja vs. mjesto oštećenja size of damage vs. damage position	-0,0147	0,8285
mjesto oštećenja vs. vrsta oštećenja damage position vs. type of damage	-0,2146	0,0016*

D_{1,3} – prsni promjer, cm – Diameter at the breast height, cm

* statistički značajna korelacija – statistically significant correlation

Statistički značajna korelacija utvrđena je između prsnoga promjera i mjesta oštećenja ($p = 0,0034$), površine oštećenja i vrste oštećenja ($p = 0,0000$) te mjesta oštećenja i vrste oštećenja ($p = 0,0016$). U slučaju prsnoga promjera i mjesta oštećenja korelacija je negativna jer su oštećenja na stablima s većim prsnim promjerom evidentirana bliže tlu. Korelacija između površine oštećenja i vrste oštećenja je pozitivna, tj. veća su oštećenja evidentirana kod značajnijih vrsta oštećenja (»oguljena kora« i »oguljena kora i oštećeno drvo«). U slučaju mjesta oštećenja i vrste oštećenja korelacija je negativna jer su značajnija oštećenja (»oguljena kora« i »oguljena kora i oštećeno drvo«) evidentirana bliže tlu.

5.3. Usporedba oštećenja pri primjeni različitih sustava pridobivanja drva – Comparison of damages during use of different harvesting systems

Usporedba oštećivanja sastojine prilikom primjene djelomično i potpuno mehaniziranoga sustava pridobivanja drva provedena je na osnovi podataka prikupljenih iz triju odsjeka (odsjek 01 šumskoga odjela 105 i odsjeci 01 i 05 šumskoga odjela 6 GJ »Šiša-Palež«). Osnovni je razlog činjenica da ta tri odsjeka pripadaju kategoriji »visoke šume s prirodnom obnovom« i sličnih su sastojinskih i terenskih karakteristika, dok ostala dva odsjeka šumskoga odjela 6 pripadaju kategoriji »šumske kulture«.

Djelomično mehanizirani sustav pridobivanja drva primijenjen je u odsjeku 01 šumskoga odjela

105, a potpuno mehanizirani sustav pridobivanja drva u odsjecima 01 i 05 šumskoga odjela 6. Usporedni prikaz broja preostalih stabala i broja oštećenih stabala u analiziranim odjelima i odsjecima dan je u tablici 5.

Tablica 5. Usporedba oštećenja pri primjeni različitih sustava pridobivanja drva**Table 5** Comparison of damages during use of different harvesting systems

Djelomično mehanizirani sustav; šumski odjel 105, odsjek 01 Semi-mechanised harvesting system; forest compartment 105, subcompartment 01				Potpuno mehanizirani sustav; šumski odjel 6, odsjeci 01 i 05 Fully mechanised harvesting system; forest compartment 6, subcompartments 01 and 05			
Ploha Plot	Broj preostalih stabala, n Number of remaining trees, n	Broj oštećenih stabala, n Number of damaged trees, n	Broj oštećenja, n Number of damages, n	Ploha Plot	Broj preostalih stabala, n Number of remaining trees, n	Broj oštećenih stabala, n Number of damaged trees, n	Broj oštećenja, n Number of damages, n
1	56	25	33	14	83	12	12
2	80	21	23	15	58	7	10
3	86	24	29	23	63	23	27
4	68	23	27	24	59	13	16
5	82	13	14	25	65	21	26
6	66	12	12	26	67	25	26
7	82	16	17	27	62	4	4
8	63	6	11	28	76	8	8
9	81	21	25	30	65	7	9
10	47	7	10	31	65	8	8
11	43	11	16	32	37	5	5
12	50	7	7				
13	73	8	9				
14	54	14	17				
Ukupno Total	931	208	250	Ukupno Total	700	133	151

Udio oštećenih stabala u odsjecima 01 i 05 šumskoga odjela 6 iznosi 19 %, dok u odsjeku 01 šumskoga odjela 105 taj udio iznosi 22,34 %, odnosno veći je za 3,34 %. Do sličnih rezultata u svojim istraživanjima primijenjenih tehnologija rada došli i Košir (2008a) te Cudzik i dr. (2017). Radi određivanja statističke značajnosti utvrđenih razlika primijenjen je χ^2 -test, a rezultati su prikazani u tablici 6.

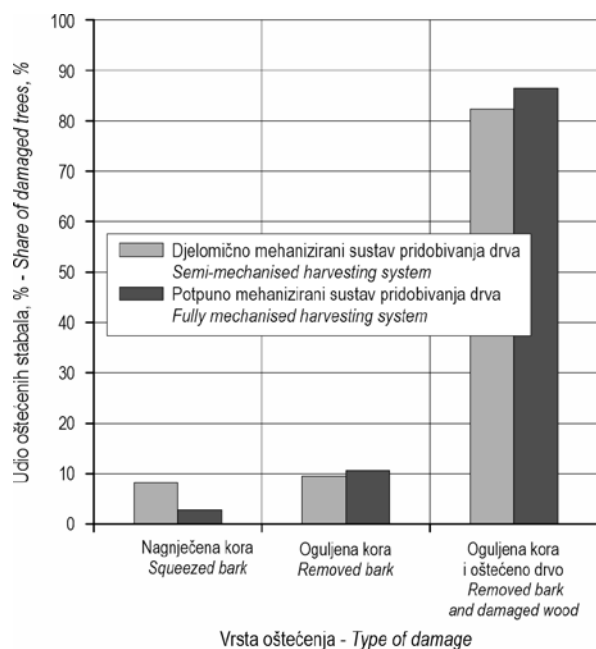
Tablica 6. Rezultat χ^2 -testa

Table 6 Result of χ^2 test

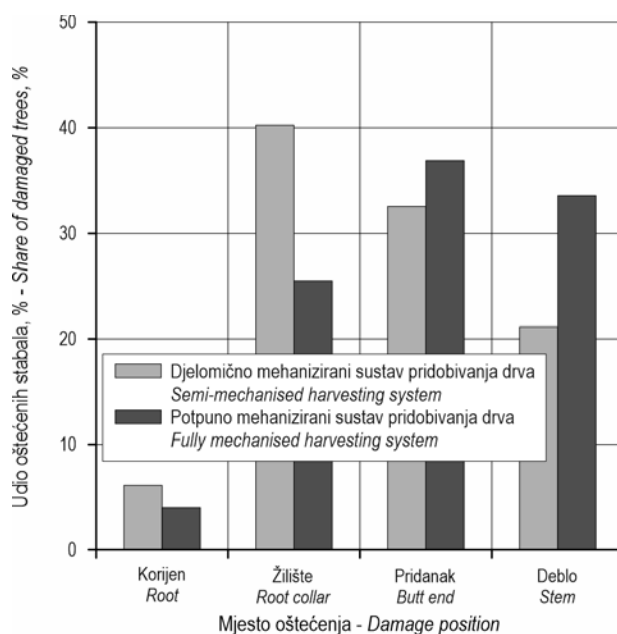
Šumski odjel <i>Forest compartment</i>	Odsjek <i>Sub-compartment</i>	Gospodarski razred <i>Management class</i>	Broj preostalih stabala, n <i>Number of remaining trees, n</i>	Broj oštećenih stabala, n <i>Number of damaged trees, n</i>	Broj neoštećenih stabala, n <i>Number of undamaged trees, n</i>
Djelomično mehanizirani sustav pridobivanja drva; šumski odjel 105 <i>Semi-mechanised harvesting system; forest compartment 105</i>	01	1201	931	208	723
Potpuno mehanizirani sustav pridobivanja drva; šumski odjel 6 <i>Fully mechanised harvesting system; forest compartment 6</i>	01, 05	1211	700	133	567

χ^2 p-vrijednost 0,1005 / χ^2 p value 0,1005

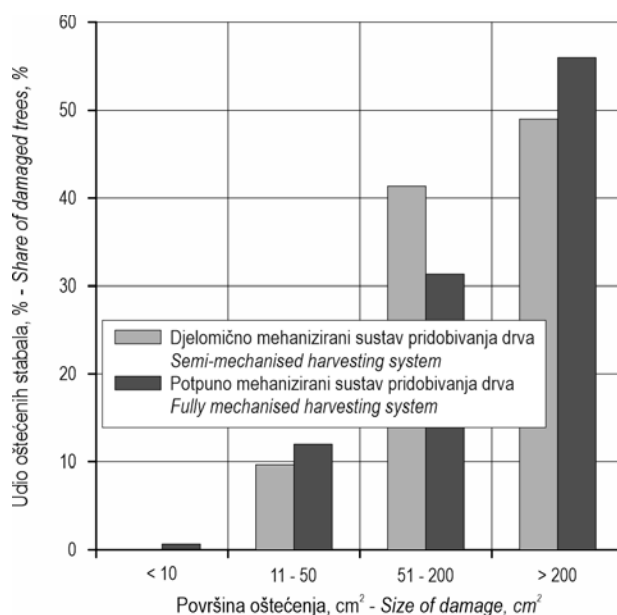
Provedenim je testiranjem utvrđeno da ne postoje statistički značajne razlike u proporciji oštećenih stabala između promatranih sustava pridobivanja drva ($p = 0,1005$). Radi dobivanja jasnije predodžbe na slikama 11–13 prikazana je usporedba nastalih oštećenja po vrsti, mjestu nastanka i površini pri primjeni promatranih sustava pridobivanja drva.



Slika 11. Usporedba vrste oštećenja
Fig. 11 Comparison of damage types



Slika 12. Usporedba mjesta oštećenja
Fig. 12 Comparison of damage position



Slika 13. Usporedba površine oštećenja
Fig. 13 Comparison of damage size

Na osnovi prikazanih usporedbi može se zaključiti da nisu utvrđena značajnija odstupanja između vrste oštećenja pri primjeni različitih sustava pridobivanja drva. Najčešća je vrsta oštećenja u oba slučaja »oguljena kora i oštećeno drvo«. Pri primjeni djelomično mehaniziranoga sustava pridobivanja drva oštećuje se žilište uglavnom tijekom privitlavanja

šumskih drvnih sortimenata vitlom skidera, dok se harvesterom i forvarderom većinom oštećuju debla. Oštećenja najveće površine (>200 cm²) neznatno su češća kod potpuno mehaniziranoga sustava pridobivanja drva.

5.4. Usporedba oštećenja pri primjeni sustava harvester i forvarder u različitim kategorijama šuma – Comparison of damages during use of harvester-forwarder system in different types of forests

S obzirom na to da je navedeni sustav pridobivanja drva primijenjen u dvjema različitim kategorijama šuma, provedena je i usporedba oštećivanja stabala u visokim šumama s prirodnom obnovom (odsjeci 01 i 05) i šumskim kulturama (odsjeci 02 i 03) u šumskom odjelu 6 te prikazana u tablici 7.

Tablica 7. Usporedba oštećenja pri primjeni sustava harvester i forvarder u različitim kategorijama šuma

Table 7 Comparison of damages during use of harvester-forwarder system in different types of forests

Visoke šume s prirodnom obnovom; šumski odjel 6, odsjeci 01 i 05 <i>High forests with natural regeneration; forest compartment 6, subcompartments 01 and 05</i>				Šumske kulture; šumski odjel 6, odsjeci 02 i 03 <i>Forest plantations; forest compartment 6, subcompartments 02 and 03</i>			
Ploha <i>Plot</i>	Broj preostalih stabala, n <i>Number of remaining trees, n</i>	Broj oštećenih stabala, n <i>Number of damaged trees, n</i>	Broj oštećenja, n <i>Number of damages, n</i>	Ploha <i>Plot</i>	Broj preostalih stabala, n <i>Number of remaining trees, n</i>	Broj oštećenih stabala, n <i>Number of damaged trees, n</i>	Broj oštećenja, n <i>Number of damages, n</i>
14	83	12	12	4	79	7	10
15	58	7	10	5	124	16	19
23	63	23	27	6	115	22	23
24	59	13	16	10	87	4	4
25	65	21	26	12	30	2	2
26	67	25	26	19	146	12	13
27	62	4	4	20	126	19	23
28	76	8	8	21	104	1	2
30	65	7	9	22	185	8	8
31	65	8	8				
32	37	5	5				
Ukupno <i>Total</i>	700	133	151	Ukupno <i>Total</i>	996	91	104

Postotni udio oštećenih stabala u odsjecima koji pripadaju visokim šumama s prirodnom obnovom iznosi 19 %, dok je u odsjecima koji pripadaju šumskim kulturama 9,14 %. Kada je riječ o visokim šumama s prirodnom obnovom, dobiveni rezultati približno su jednaki rezultatima do kojih su došli Sirén i dr. (2015) za primjenu sustava harvester i forvarder u raznodobnim smrekovim sastojinama (21,5 %), a manji od nalaza Ursića i dr. (2022) za proredne sječe u sastojinama graba i bukve (35,5 %). Radi određi-

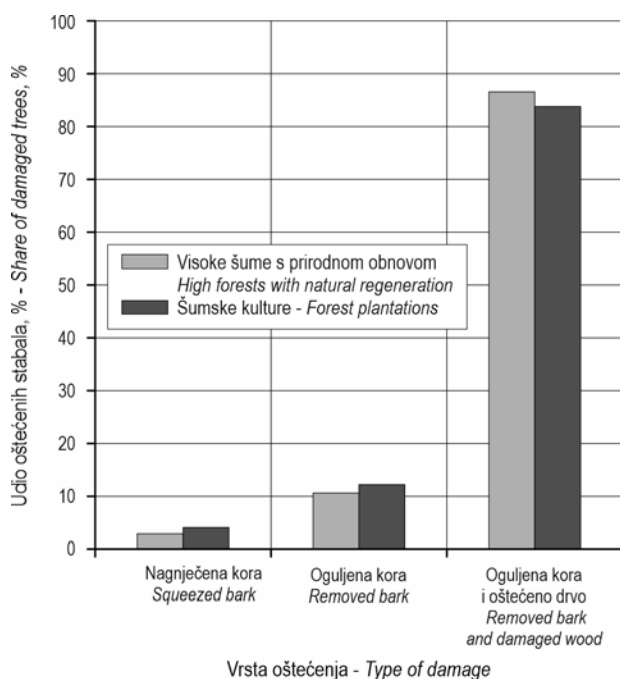
vanja statističke značajnosti utvrđenih razlika proveden je χ^2 -test, a rezultati su prikazani u tablici 8.

Tablica 8. Rezultat χ^2 -testa

Table 8 Result of χ^2 test

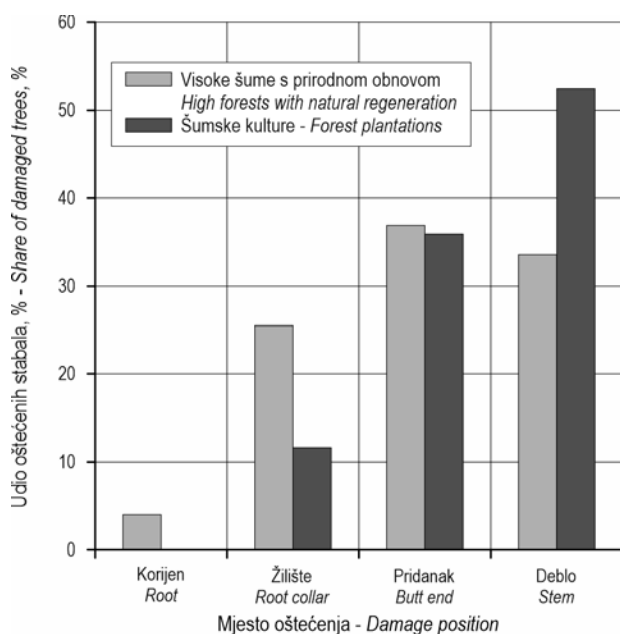
Kategorija šuma <i>Forest category</i>	Broj preostalih stabala, n <i>Number of remaining trees, n</i>	Broj oštećenih stabala, n <i>Number of damaged trees, n</i>	Broj neoštećenih stabala, n <i>Number of undamaged trees, n</i>
Visoke šume s prirodnom obnovom <i>High forests with natural regeneration</i>	700	133	567
Šumske kulture <i>Forest plantations</i>	996	91	905
χ^2 p-vrijednost 0,0000 / χ^2 p value 0,0000			

Provedena je analiza pokazala da postoje statistički značajne razlike u proporciji oštećenih stabala pri primjeni potpuno mehaniziranoga sustava pridobivanja drva između visokih šuma s prirodnom obnovom i šumskih kultura ($p = 0,0000$). Ipak, radi dobivanja preciznije i jasnije predodžbe o evidentiranim oštećenjima na slikama 14–16 prikazana je usporedba nastalih oštećenja po vrsti, mjestu nastanka i površini zbog primjene te tehnologije rada u različitim kategorijama šuma.



Slika 14. Usporedba vrste oštećenja

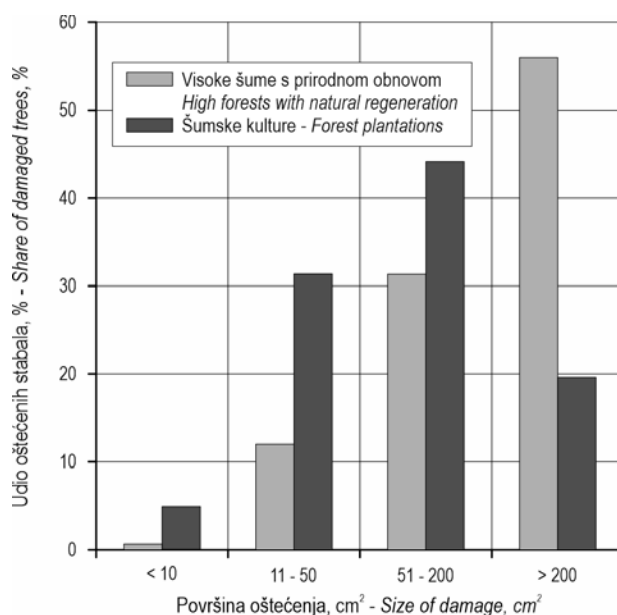
Fig. 14 Comparison of types of damage



Slika 15. Usporedba mjesta oštećenja

Fig. 15 Comparison of damage position

Na osnovi prikazanih slika može se zaključiti da nisu utvrđena značajnija odstupanja između vrste oštećenja pri primjeni potpuno mehaniziranoga sustava pridobivanja drva u različitim kategorijama šuma. Najčešća je vrsta oštećenja u oba slučaja »ogu-



Slika 16. Usporedba površine oštećenja

Fig. 16 Comparison of damage size

ljena kora i oštećeno drvo«. U visokim šumama s prirodnom obnovom uglavnom je oštećeno žilište, a u šumskim kulturama oštećena su debla. Oštećenja najveće površine (>200 cm²) znatno su češća u visokim šumama s prirodnom obnovom.

6. Zaključci – Conclusions

Na osnovi dobivenih, prikazanih i raspravljenih rezultata provedenoga istraživanja može se izdvojiti nekoliko važnijih zaključaka. Primjena potpuno mehaniziranoga sustava pridobivanja drva uzrokovala je oštećenja na 13,21 % preostalih stabala u analiziranom šumskom odjelu koji obuhvaća visoke šume s prirodnom obnovom i šumske kulture. U visokim šumama s prirodnom obnovom udio oštećenih stabala iznosi 19 %, a u šumskim kulturama 9,14 %. Primjena djelomično mehaniziranoga sustava pridobivanja drva rezultirala je s 22,34 % oštećenih preostalih stabala. Provedenim je testiranjem utvrđeno da ne postoje statistički značajne razlike u proporciji oštećenih stabala između promatranih sustava pridobivanja drva u visokim šumama s prirodnom obnovom. Analiza je pokazala da postoje statistički značajne razlike u proporciji oštećenih stabala pri primjeni potpuno mehaniziranoga sustava pridobivanja drva između visokih šuma s prirodnom obnovom (19 %) i šumskih kultura (9,14 %). To je uvjetovano u prvom redu izostankom dosljed-

ne primjene propisanoga skupinasto-prebornoga sustava gospodarenja u visokim šumama s prirodnom obnovom. Očit problem nedostatka radne snage u šumarstvu BiH zasigurno će povećati mehaniziranost radova, ponajprije u tehnološkom procesu pridobivanja drva. Stoga se kao prioritet nameće potreba nastavka istraživanja ekoloških i ekonomskih učinaka primjene visoko mehaniziranih i potpuno mehaniziranih sustava pridobivanja drva u šumarstvu BiH.

7. Literatura – References

- Athanassiadis, D., 1997: Residual stand damage following cut-to-length harvesting operations with a farm tractor in two conifer stands. *Silva Fennica*, 31(4): 461–467. <https://doi.org/10.14214/sf.a8541>
- Bojanin, S., A. P. B. Krpan, 1997: Mogućnost tzv. visokoga i potpunog mehaniziranja sječe i izrade te mehaniziranja privlačenja drva u šumama Hrvatske. *Šumarski list*, 121(7–8): 371–381.
- Cudzik, A., M. Brennensthal, W. Bialczyk, J. Czarnecki, 2017: Damage to soil and residual trees caused by different logging systems applied to late thinning. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 38(1): 83–95.
- Gurda, S., J. Musić, Dž. Sokolović, M. Bašić, 2016: Damage on standing trees during wood skidding (winching phase) by cable skidder Timberjack 225A. *Radovi Šumarskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu*, 46(1): 74–87. <https://doi.org/10.54652/rsf.2016.v46.i1.80>
- Halilović, V., J. Musić, S. Gurda, J. Topalović, 2015: Analysis of the means of forest harvesting in the Federation of Bosnia and Herzegovina. *Glasnik Šumarskog fakulteta (Issue suppl.)*: 55–62. <https://doi.org/10.2298/GSF15S1055H>
- Halilović, V., J. Musić, J. Knežević, M. Šarić, B. Balić, D. Ballian, 2020: Research of mechanical damage on fir trees and other tree species during exploitation – case Forestry „Glamoč“. *Šumarski list*, 144(3–4): 149–158. <https://doi.org/10.31298/sl.144.3-4.4>
- Hartsch, F., M. Schönauer, L. Breinig, D. Jaeger, 2022: Influence of loading distance, loading angle and log orientation on time consumption of forwarder loading cycles: A pilot case study. *Forests*, 13(3), 384. <https://doi.org/10.3390/f13030384>
- Jourgholami, M., 2012: Environmental impacts to residual stand damage due to logging operations in Hyrcanian forest. *Natulae Scientia Biologicae*, 4(3): 65–69. <https://doi.org/10.15835/nsb437681>
- Košir, B., 2004: Factors affecting technological changes. *Gozdarski vestnik*, 62(1): 3–11.
- Košir, B., 2008a: Modelling stand damages and comparison of two harvesting methods. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 29(1): 5–14.
- Košir, B., 2008b: Damage to young forest due to harvesting in shelterwood systems. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 29(2): 141–153.
- Krč, J., U. Vranešić, B. Košir, 2015: Comparison of mechanized and motor-manual cutting operation in mixed stands of southern Slovenia. *Šumarski list*, 149(11–12): 655–669.
- Krpan, A. P. B., T. Poršinsky, 2001: Harvester Timberjack 1070 u Hrvatskoj. *Šumarski list*, 125(11–12): 619–624.
- 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. *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 – 4. dio: Okolišna pogodnost strojne sječe u prirodnim sastojinama. *Šumarski list*, 128(7–8): 351–360.
- Kulušić, B., 2000, *Iskorištavanje šuma*. *Rukopis, Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu*, 356 str.
- Marčeta, D., 2015: Comparison of technologies of wood biomass utilization in beech stands. *Doctoral dissertation, Biotechnical faculty University of Ljubljana*, 157 str.
- Martinić, I., 1991: Oštećivanje sastojine pri obaranju stabala, izradi i privlačenju drva. *Šumarski list*, 115(1–2): 33–48.
- Martinić, I., 1993: Neke činjenice u svezi sa šumskim radovima. *Glasnik za šumske pokuse, Posebno izdanje, br. 4*: 321–330.
- Martinić, I., 2000: Koliko smo blizu ekološki prihvatljivoj uporabi mehanizacije u šumarstvu? *Šumarski list*, 124(1–2): 3–13.
- Meng, W., 1978: Baumverletzungen durch Transportvorgänge bei der Holzernte – Ausmaß und Verteilung, Folgeschäden am Holz und Versuch ihrer Bewertung, *Schriftenreihe der LFV Baden-Württemberg, Band 53*, 159 str.
- Pandur, Z., T. Poršinsky, M. Šušnjar, M. Zorić, D. Vusić, 2014: Gaženje tla pri izvoženju drva forvarderom u sječinama hrasta lužnjaka. *Nova mehanizacija šumarstva*, 35: 23–34.
- Pandur, Z., A. Đuka, M. Šušnjar, M. Bačić, K. Ostović, K. Lepoglavec, 2018: Analiza gaženja tla prilikom strojne sječe, izrade i izvoženja drva u prorednoj sastojini listača. *Nova mehanizacija šumarstva*, 39: 1–12.
- Picchio, R., F. Neri, M. Maesano, S. Savelli, A. Sirna, S. Blasi, S. Baldini, E. Marchi, 2011: Growth effects of thinning damage in a Corsican pine (*Pinus laricio* Poiret) stand in central Italy. *Forest Ecology and Management*, 262(2): 237–243. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.03.028>
- Picchio, R., F. Tavankar, A. Bonyad, P. S. Mederski, R. Venanzi, M. Nikooy, 2019: Detailed analysis of residual stand damage due to winching on steep terrains. *Small-scale Forestry*, 18: 255–277. <https://doi.org/10.1007/s11842-019-09417-5>

Poršinsky, T., M. Ožura, 2006: Oštećivanje dubećih stabala pri izvoženju drva forvarderom. *Nova mehanizacija šumarstva*, 27: 41–49.

Sabo, A., 2000: Oštećivanje drveća pri privlačenju oblovi- ne traktorom LKT 81 u gorskotarskim prebornim sa- stojinama različite otvorenosti. *Mehanizacija šumarstva*, 25(1–2): 9–27.

Sirén, M., 2001: Tree damage in single-grip harvester thinning operations. *Journal of Forest Engineering*, 12(1): 29–38.

Sirén, M., J. Hyvönen, H. Surakka, 2015: Tree damage in mechanized uneven-aged selection cuttings. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 36(1): 33–42.

Tavankar, F., A. I. Bodaghi, 2011: Logging damages on residual trees during ground based skidding system in the Caspian forests of Iran. In: *Proceedings of 2nd Internati-*

onal Conference on Environmental Science and Techno-logy IPCBEE, Singapore 6: 232–234.

Tavankar, F., M. Nikooy, R. Picchio, A. Bonyad, R. Venan- zi, 2017: Effects of logging wounds on caucasian Alder trees (*Alnus subcordata* C.A. Mey.) in Iranian caspian fo- rests. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 38(1): 73–82.

Tomanić, S., V. Vondra, I. Martinić, 1989: Oštećivanje sa- stojine pri šumskim radovima. *Mehanizacija šumarstva*, 14(3–4): 65–72.

Ursić, B., D. Vusić, I. Papa, T. Poršinsky, Ž. Zečić, A. Đuka, 2022: Damage to residual trees in thinning of broadleaf stand by mechanised harvesting system. *Forests*, 13(1): 2–18. <https://doi.org/10.3390/f13010051>

Zahirović, K., T. Treštić, O. Mujezinović, A. Hasković, 2016: Utjecaj sječe i izvoza drvne mase na oštećenost i zdravstveno stanje stabala jele i smrče na području plani- ne Zvijezda. *Naše šume*, 44–45: 15–29.

Abstract

Damage to Residual Trees During Use of Different Harvesting Systems

Damage to residual trees during the use of semi-mechanised and fully mechanised harvesting systems is a critical factor in assessing their ecological impact on the forest ecosystem. Given the increasing trend of mechanization in forest harvesting operations in Bosnia and Herzegovina, this study conducted a comparative analysis of damage to residual trees when using semi-mechanised harvesting system (chainsaw and skidder) and fully mechanised harvesting system (harvester and forwarder). The research was carried out in the area managed by the Forest Management Company »Unsko-sanske šume« Ltd Bosanska Krupa. In two forest compartments, a systematic grid of 200 x 200 meters was established, along with circular sample plots with a radius of 25 meters (0.19625 hectares). All damaged residual trees on the sample plots with a diameter at breast height above 5 cm were analysed, and data were recorded in terms of tree species, diameter at breast height, type of damage, tree position damage and size of damage. The application of fully mechanised harvesting system resulted in damage to 13.21% of the residual trees in the analysed forest compartment, which consists of high forests with natural regeneration and forest cultures. On the other hand, the application of semi-mechanised harvesting system caused damage to 22.34% of the residual trees in high forests with natural regeneration. The analysis of the collected data revealed no statistically significant differences in the proportion of damaged trees when comparing two harvesting systems in high forests with natural regeneration ($\chi^2 p = 0.1005$). »Removed bark and damaged wood« is the most common type of damage in both cases. The majority of the damage occurred on the root collar and butt end with semi-mechanised harvesting system, and on the butt end and stem with fully mechanised harvesting systems. To obtain more reliable results, further research encompassing a broader range of influential factors is necessary.

Keywords: damage, harvesting systems, chainsaw, skidder, harvester, forwarder

Adrese autorâ – Authors' addresses:

Prof. dr. sc. Jusuf Musić*
e-pošta: j.music@sfsa.unsa.ba
Prof. dr. sc. Velid Halilović
e-pošta: v.halilovic@sfsa.unsa.ba
Doc. dr. sc. Jelena Knežević
e-pošta: j.knezevic@sfsa.unsa.ba
Prof. dr. sc. Admir Avdagić
e-pošta: a.avdagic@sfsa.unsa.ba
Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu
Zagrebačka 20
71000 Sarajevo
BOSNA I HERCEGOVINA
Haris Koljić
e-pošta: pskljuchk@gmail.com
ŠPD »Unsko-sanske šume« d.o.o. Bosanska Krupa
Radnička bb
77240 Bosanska Krupa
BOSNA I HERCEGOVINA

Primljeno (Received): 1. 9. 2023.

Prihvaćeno (Accepted): 3. 10. 2023.

* Glavni autor – Corresponding author