

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA

Marija ČERNE

**PRIMERNOST DVEH TEHNOLOGIJ SEČNJE IN
SPRAVILA V POMLAJENIH SESTOJIH JELOVO-
BUKOVIH RASTIŠČ NA VISOKEM KRASU**

MAGISTRSKO DELO

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA

Marija ČERNE

**PRIMERENOST DVEH TEHNOLOGIJ SEČNJE IN SPRAVILA V
POMLAJENIH SESTOJIH JELOVO-BUKOVIH RASTIŠČ NA
VISOKEM KRASU**

MAGISTRSKO DELO

**SUITABILITY OF TWO TIMBER HARVESTING
TECHNOLOGIES IN STANDS IN REGENERATION ON SILVER
FIR-BEECH SITES IN THE AREA OF HIGH KARST**

M. Sc. Thesis

Ljubljana, 2016

Na podlagi Statuta Univerze v Ljubljani ter po sklepu Senata Biotehniške fakultete z dne 30. 3. 2015 je bilo potrjeno, da kandidatka izpolnjuje pogoje za magistrski Podiplomski študij bioloških in biotehniških znanosti ter opravljanje magisterija znanosti s področja gozdarstva in obnovljivih virov. Za mentorja je bil imenovan prof. dr. Jurij Diaci in za somentorja prof. dr. Boštjan Košir.

Magistrsko delo je zaključek podiplomskega magistrskega študija bioloških in biotehniških znanosti, znanstveno področje: gozdarstvo. Raziskave sem opravila na Območni enoti Novo mesto, Krajevni enoti Podturn, pod vodstvom mentorjev z Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete v Ljubljani.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: doc. dr. Aleš Kadunc

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire

Član: doc. dr. Jurij Marenče

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire

Član: doc. dr. Matjaž Čater

Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za prirastoslovje in gojenje gozda

Datum zagovora: 12.5.2016

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisana se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddala v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Marija Černe

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

DD	Md
DK	GDK 301:307:308(497.4Kras)(043.2)=163.6
KG	pridobivanje lesa/tehnologije/sestoj v obnovi/poškodbe sestojev/pomladek/svetlobne razmere
AV	ČERNE, Marija, univ. dipl. inž. gozd.
SA	DIACI, Jurij (mentor) / KOŠIR, Boštjan (somentor)
KZ	SI – 1000 Ljubljana, Večna pot 83
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Podiplomski študij bioloških in biotehniških znanosti, področje gozdarstvo in obnovljivih virov
LI	2016
IN	PRIMEROST DVEH TEHNOLOGIJ SEČNJE IN SPRAVILA V POMLAJENIH SESTOJIH JELOVO-BUKOVIH RASTIŠČ NA VISOKEM KRASU
TD	Magistrsko delo
OP	XI, 91 str., 14 pregl., 11 sl., 6 pril., 101 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Meritve za magistrsko nalogo so potekale poleti in jeseni l. 2009 na OE Novo mesto, v GGE Poljane, oddelek 43. Namen naloge je bil primerjati prilagojeno strojno sečnjo (strojna sečnja s kombinacijo sekača z motorno žago) in klasično sečnjo (motorna žaga in traktor) v pomlajenih sestojih smreke s primesjo bukve, gorskega javorja in jelke. Pred sečnjo smo postavili mrežo vzorčnih ploskev za odrasli sestoj in pomladek ter popisali vse osebkke na ploskvah, po sečnji pa smo analizirali še poškodovanost preostalih dreves in pomladka ter posneli svetlobne razmere. Ugotovitve kažejo, da med tehnologijama ni velikih razlik. S prilagojeno strojno sečnjo je bilo na novo poškodovanih 14 % dreves, pri klasični sečnji 16 %, skupaj s starimi poškodbami 42 % in 45 %. Pri prilagojeni strojni sečnji je bilo največ poškodb na deblu, pri klasični na korenovcu, pri obeh pa so prevladovali največje poškodbe. Delež na novo poškodovanih dreves in pomladka je bil v značilni povezavi s položajem ploskve glede na prometnice in jakostjo poseka na ploskvi. Poškodovanost pomladka po prilagojeni strojni sečnji je v povprečju znašala 34 %, po klasični sečnji 38 %, poškodovanost po divjadi pa dodatnih 4,6 %. Največ poškodb je bilo na osebkkih do višine 50 cm in ob prometnicah.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Md

DC FDC 301:307:308(497.4Kras)(043.2)=163.6

CX forest harvesting/technologies /stands in regeneration/stand damage/young
forest/solar radiation

AU ČERNE, Marija, univ. dipl. inž. gozd.

AA DIACI, Jurij (supervisor) / KOŠIR, Boštjan (co- advisor)

PP SI – 1000 Ljubljana, Večna pot 83

PB University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Postgraduate Study of Biological and

PY 2016

TI SUITABILITY OF TWO TIMBER HARVESTING TECHNOLOGIES IN STANDS
IN REGENERATION ON SILVER FIR-BEECH SITES IN THE AREA OF HIGH
KARST

DT M. Sc. Thesis

NO XI, 91 p., 14 tab., 11 fig., 6 ann., 101 ref.

LA sl

AL sl/en

AB Measurements for the thesis took place in the summer and fall of 2009 in the Novo mesto forest management region, Poljane forest management unit, compartment 43. The purpose of the thesis is to compare the effects of combined machine logging (machine logging combined with a worker using a chainsaw) with motor-manual cutting (the use of a chainsaw and a tractor) in a spruce stand in regeneration with admixture of beech, sycamore maple and fir. Before cutting the trees, we constructed a network of sample plot for analysing mature trees and regeneration and recorded all the specimens on the plot. Following the logging, we analysed the damage to the remaining trees and regeneration and we recorded the light conditions. Findings have shown that both methods yield no significant difference. Combined machine logging brought about 14% of trees to be newly damaged, whereas with motor-manual cutting the damage was done to 16% of trees. All together with old injuries, it accounts for 42% and 45% of trees to be damaged, respectively. In combined machine cutting predominant damage was done to the trunk and in motor-manual cutting damage prevailed on lower part of the bole and roots. With both methods severe damages predominated. The extent of the newly damaged trees and regeneration was greatly dependent on both the position of the plots with regard to the proximity to the skid trail and the intensity of the logging. The damage done to regeneration in combined machine logging in average amounted to 34%, compared to 38% caused by motor-manual cutting. An additional 4.6% of damage to young forest was caused by wild game. Most damage was observed on specimen of up to 50 cm in height and situated close to the skid trails.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
KAZALO PRILOG	IX
SLOVAR UPORABLJENIH IZRAZOV	X
1 UVOD.....	1
2 PREGLED OBJAV.....	3
2.1 MOŽNOSTI ZA NOVE TEHNOLOGIJE PRIDOBIVANJA LESA V SLOVENIJI.....	5
2.2 VPLIVI PRIDOBIVANJA LESA NA GOZDNI EKOSISTEM	7
2.2.1 Vplivi tehnologij na gozdna tla.....	7
2.2.1.1 Poškodbe tal	8
2.2.1.2 Poškodbe korenin.....	11
2.2.2 Vplivi tehnologij na poškodbe sestojev	13
2.2.2.1 Raziskave poškodovanosti sestojev v tujini.....	14
2.2.2.2 Raziskave poškodovanosti sestojev v Sloveniji.....	15
2.2.2.3 Raziskave poškodovanosti pomladka	18
2.2.3 Posledice poškodb na drevesih	21
2.2.4 Svetlobne razmere v sestojih	23
2.2.4.1 Svetlobne razmere in pomlajevanje	25
2.2.5 Ciljne gostote mladja.....	27
3 METODE.....	29
3.1 OPIS RAZISKOVALNEGA OBJEKTA.....	29
3.1.1 Pregled preteklega gospodarjenja z gozdovi.....	30
3.2 PRIPRAVA DELA	32
3.3 POPIS POŠKODOVANOSTI SESTOJEV	33
3.4 POPIS POŠKODOVANOSTI POMLADKA	35
3.5 SNEMANJE SVETLOBNIH RAZMER	37
3.6 OPIS TEHNOLOGIJ.....	38
3.7 ANALIZA PODATKOV	39
3.7.1 Regresijske analize	39
4 REZULTATI.....	41
4.1 STANJE PRED UKREPOM.....	41
4.1.1 Lesna zaloga in mešanost sestojev.....	41
4.1.2 Značilnosti odkazila.....	42
4.1.3 Prometnice.....	43
4.1.4 Pomladek	45
4.1.5 »Čakalci« (druga debelinska stopnja)	46
4.2 STANJE PO UKREPU	48
4.2.1 Stanje matičnega sestoja	49
4.2.1.1 Poškodovanost matičnega sestoja	49
4.2.1.2 Starost poškodb.....	50
4.2.1.3 Mesto poškodb	51

4.2.1.4 Velikost poškodb	51
4.2.1.5 Lega poškodovanih dreves v sestoju.....	52
4.2.1.6 Regresijska analiza.....	53
4.2.2 Poškodovanost pomladka	55
4.2.2.1 Regresijska analiza.....	59
4.2.3 Poškodovanost »čakalcev«	61
4.3 SVETLOBNE RAZMERE	62
5 RAZPRAVA IN SKLEPI	65
5.1 PRIMERNOST OBJEKTA ZA STROJNO SEČNJO	65
5.2 METODE OCENJEVANJA POŠKODOVANOSTI SESTOJEV.....	68
5.3 PRIMERJAVA TEHNOLOGIJ Z VIDIKA POŠKODOVANOSTI SESTOJEV	69
5.4 POŠKODOVANOST POMLADKA	72
5.5 SVETLOBNE RAZMERE IN POMLAJEVANJE.....	73
5.6 SKLEPI	75
6 POVZETEK (SUMMARY)	79
6.1 POVZETEK	79
6.2 SUMMARY	83
7 VIRI.....	88

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Mešanost drevesnih vrst matičnega sestoja pred ukrepom	41
Preglednica 2: Lesna zaloga pred sečnjo po delovnih poljih	42
Preglednica 3: Porazdelitev odkazila po delovnih poljih iz terenskega zapisnika	43
Preglednica 4: Gostote sekundarnih prometnic po delovnih poljih	44
Preglednica 5: Mešanost pomladka po delovnih poljih in tehnologijah pred sečnjo	45
Preglednica 6: Razmestitev in poškodovanost pomladka po višinskih razredih pred ukrepom	46
Preglednica 7: Pregled ploskev in število »čakalcev« (od 5 do 10 cm DBH) po delovnih poljih	47
Preglednica 8: Razmestitev novih poškodb glede na mesto poškodbe po delovnih poljih	51
Preglednica 9: Razmestitev novih poškodb (v %) glede na velikostni razred poškodbe po delovnih poljih	52
Preglednica 10: Rezultati linearnih mešanih modelov (LMM) za poškodovanost in nepoškodovanost odraslih dreves po izpeljavi ukrepov s prilagojeno strojno in klasično sečnjo v odvisnosti od položaja ploskve in poseka na ploskvi. Kot naključni faktor so upoštevana posamezna delovna polja (N = 6). Številke v oklepaju pomenijo standardno napako (SE)	54
Preglednica 11: Poškodovanost pomladka po višinskih razredih po ukrepu	56
Preglednica 12: Poškodovanost pomladka po drevesnih vrstah in treh višinskih razredih (v %)	58
Preglednica 13: Rezultati linearnih mešanih modelov (LMM) za mortaliteto in poškodovanost mladja glede na dva višinska razreda po izpeljavi ukrepov s prilagojeno strojno in klasično sečnjo v odvisnosti od položaja ploskve in poseka na ploskvi. Kot naključni dejavnik so upoštevana posamezna delovna polja (N = 6). Številke v oklepaju pomenijo standardno napako (SE)	60
Preglednica 14: Analiza poškodovanih »čakalcev« po delovnih poljih in skupaj	62

KAZALO SLIK

Slika 1: Lokacija raziskovalnega objekta	29
Slika 2: Prikaz vzorčne mreže ploskev za popis matičnega sestoja in pomladka.....	34
Slika 3: Drevesna sestava (v %) druge debelinske stopnje pred sečnjo	47
Slika 4: Poškodovanost (v %) druge debelinske stopnje pred sečnjo.....	48
Slika 5: Število (vrednosti v stolpcih) in delež poškodovanih dreves (Y os) po delovnih poljih in skupaj po sečnji in spravilu	49
Slika 6: Število (v stolpcih) in delež poškodovanih dreves (Y os) glede na starost poškodbe po delovnih poljih	50
Slika 7: Deleži na novo poškodovanih dreves po delovnih poljih glede na položaj v sestoju	53
Slika 8: Zgoraj: Modelirane vrednosti za delež novih poškodb na odraslem drevju v povezavi s položajem ploskve in jakostjo poseka na ploskvi. Spodaj: Modelirane vrednosti za delež nepoškodovanih odraslih dreves v povezavi z naklonom terena in količino poseka na ploskvi. Oznaka v oklepaju za odvisno spremenljivko pomeni način transformacije.	55
Slika 9: Delež poškodovanih osebkov pomladka po višinskih razredih glede na sestojni položaj.....	59
Slika 10: Modelirane vrednosti za delež mortalitete mladja do 50 cm višine glede na položaj ploskve (levo) in modelirane vrednosti za delež poškodovanega mladja do 50 cm višine glede na količino poseka na ploskvi (desno). Oznaka v oklepaju za odvisno spremenljivko pomeni način transformacije.....	61
Slika 11: Mediane, kvartilni razmiki in ekstremne vrednosti relativne difuzne (FDIF) svetlobe (%) po tehnologijah klasične sečnje in prilagojene strojne sečnje, kot rezultat Mann-Whitneyjevega U testa.	63

KAZALO PRILOG

PRILOGA A: Prikaz objekta z delovnimi polji in prometnicami.....	
PRILOGA B: Mreža ploskev na objektu primerjave prilagojene strojne sečnje in klasične sečnje.....	
PRILOGA C: Popis dreves na ploskvah velikosti 4 are pred in po sečnji in spravilu.....	
PRILOGA D: Popis »čakalcev« (5 do 10 cm DBH) na ploskvah velikosti 4 are pred in po ukrepu	
PRILOGA E: Snemalni list za popis pomladka ($r = 1$ m) pred sečnjo	
PRILOGA F: Snemalni list za popis pomladka ($r = 1$ m) po sečnji in spravilu	

SLOVAR UPORABLJENIH IZRAZOV

Matični sestoj je izraz, ki se uporablja v razvojni fazi sestojev v obnovi, ko hočemo ločiti odraslo drevje od mladega drevja (pomladka) pod krošnjami. Matični sestoj sestavlja odraslo drevje, ki bo do konca pomladitvene dobe posekano.

Pomladek je izraz, ki se uporablja za mlado drevje pod krošnjami odraslih dreves sestojev v obnovi. Pomladek bo po odstranitvi odraslih dreves postal bodisi mladje, gošča ali letvenjak (s skupnim imenom mladovje).

»Čakalec« v nalogi uporabljamo za pomladek debeline od 5 do 10 cm, drugače pa se uporablja pri prebiralnem gospodarjenju z gozdovi.

Svetlitvena sečnja je druga sečnja v razvojni fazi sestojev v obnovi (pomlajencev), ko z odstranjevanjem dreves povečamo dotok svetlobe do pomladka in tal in s tem omogočimo boljši razvoj pomladka.

Klasična sečnja (angl. motor-manual cutting) je skupen izraz za tehnologijo pridobivanja lesa, kjer sečnjo opravimo z motorno žago, spravilo pa s traktorjem (vseh oblik).

Strojna sečnja (tudi polna ali popolna strojna sečnja, angl. cut-to-length ali krajše CTL) je tehnologija pridobivanja lesa, kjer sečnjo opravimo s strojem za sečnjo (angl. Harvester), spravilo pa z zgibnim polprikoličarjem (zgibno polprikolico, angl. Forwarder).

Prilagojena ali kombinirana strojna sečnja je način izvedbe sečnje in spravila, ko pri strojni sečnji sodeluje še sekač z motorno žago.

Delovno polje je zaključena prostorska enota (homogena) znotraj odseka, na kateri se izvaja sečnja in spravilo. V našem primeru smo delovna polja oblikovali na podlagi uporabljene tehnologije, tako da smo načrtovali neodvisna delovna polja za posamezno vrsto tehnologije sečnje in spravila. Delovna polja prilagojene strojne sečnje imajo oznako A1, A2, A3 in skupaj A, delovna polja B1, B2, B3 in skupaj B pa so bila načrtovana za klasično sečnjo.

Sekundarne prometnice so skupni izraz za vlake in sečne poti.

Vlaka je grajena ali negrajena gozdna prometnica, namenjena spravilu lesa.

Sečna pot je skupen izraz za sečno in spravilno pot, ki praviloma poteka po brezpotju; po njej se vozijo stroji za sečnjo in zgibni polprikoličarji. V primeru, da na objektu strojne sečnje že obstajajo vlake, le te uporabimo kot sečne poti. V nekaterih virih imenujejo sečne

poti tudi sečnospravilne (Judnič, 2006), sečno-spravilne poti ali tudi sečne in spravilne poti.

Odkazilo je izraz za izbiro ali označitev drevja za posek.

Odkazilni manual (tudi terenski zapisnik) je prikaz odkazanega (označenega) drevja po vzroku poseka, drevesnih vrstah in debelinskih stopnjah.

DBH (diameter at breast height) je mednarodna kratica, ki podaja premer drevesa v prsni višini, natančno na višini 1,3 m od tal.

GGO (območje) je kratica za gozdnogospodarsko območje.

GGE (tudi samo enota) je kratica za gozdnogospodarsko enoto.

ZGS (zavod) je kratica za Zavod za gozdove Slovenije.

1 UVOD

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Tehnologijo strojne sečnje smo v Sloveniji pričeli uporabljati iz istih razlogov kot že mnogo prej v razvitejših evropskih državah, Ameriki in Kanadi. Nadomešča težko ročno delo, je varnejša in ergonomsko bolj prilagojena človeku, zmanjšuje stroške dela in proizvodne stroške in je vsekakor tehnološko naprednejša (Košir, 2002a). Kaže se, da je tehnologija strojne sečnje sprejemljiva tudi z gojitvenih vidikov (Judnič, 2006; Stańczykiewicz in sod., 2012).

Strojna sečnja je v slovenskih gozdovih utečen proces. Kljub dolgoletnemu prizadevanju stroke nam še vedno manjkajo študije o učinkih in izkušnje o vplivih strojne sečnje na okolje, kar so ugotovili tudi na sestanku ekspertne skupine za izdelavo vodil dobrega ravnanja za strojno sečnjo leta 2009 (Mihelič, 2014).

V želji prispevati k bolj utemeljeni uporabi strojne sečnje smo s sodelovanjem Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire na Biotehniški fakulteti, Zavoda za gozdove Slovenije ter Gozdnega gospodarstva Novo mesto in Gozdarstva Grča zastavili prvi poskus primerjave prilagojene strojne sečnje in klasične sečnje v sestojih v obnovi, kjer smo obe tehnologiji primerjali z gojitvenih vidikov, še posebej z vidika poškodovanosti sestojev, matičnega sestoja in pomladka.

Poleg gojitvenih vidikov smo na istem objektu v istem času preučevali tudi poškodbe tal (Mihelič, 2014), učinke in stroške pravih sredstev (Mikec, 2011) ter učinke in stroške sečnje (še neobjavljeno). Sečnja in spravilo sta potekala v GGE Poljane, v oddelku 43, od septembra do oktobra 2009.

1.2 CILJI, NAMEN IN RAZISKOVALNE HIPOTEZE

Na Gozdnogospodarskem območju Novo mesto, posebno v državnih gozdovih Kočevskega roga, uspeva velik delež (18 % oz. 2.870 ha) sestojev bukve s smreko in jelko v obnovi na rastiščih dinarskega jelovega bukovja, ki pokriva približno 9.070 ha, in na rastiščih preddinarskega gorskega bukovja, ki pokriva približno 7.040 ha

(Gozdnogospodarski načrt ..., 2012). V teh gozdovih se načrtno gospodari že več kot 120 let. Ker so se pomladitvene sečnje s pomočjo tehnologije strojne sečnje v sestoju v obnovi že izvajale, nas je zanimalo, kakšne so posledice strojne sečnje v sestoju in kakšne so razlike v primerjavi s klasično sečnjo. Poleg nadaljevanja pomladitvenih sečenj je na istih rastiščih priplizno enaka površina (2.870 ha oz. 18 %) debeljakov, namenjenih uvajanju v obnovo. Prikazani podatki veljajo za GGO Novo mesto, podobnih sestojev pa je zagotovo tudi na ostalih območjih (Zabukovec, 2012), vendar to presega zastavljene okvirje naše naloge.

Zaradi večjih dimenzij dreves, večje skalovitosti (50 % površine), razvitega pomladka in pričakovanja vrednejših sortimentov smo v sestoju v obnovi izvedli poskus strojne sečnje s kombinacijo klasične sečnje. Pri tako imenovani kombinirani strojni sečnji (Krč in sod., 2013) sodelujejo sekač z motorno žago, ki predhodno usmerjeno podre drevo in odžaga prvi hlod, strojnik s strojem za sečnjo, ki dokonča sečnjo, in strojnik z zgibno polprikolico, ki izvozi les na skladišče ob gozdni cesti. Tehnologijo kombinirane strojne sečnje (tudi prilagojena strojna sečnja) smo primerjali z običajno klasično sečnjo (sečnja z motorno žago in traktorsko spravilo) tako, da smo na istem objektu v enakih razmerah sočasno z enakimi metodami spremljali obe tehnologiji.

Želeli smo primerjati klasično in kombinirano strojno sečnjo pri svetlitveni sečnji v sestoju v obnovi, zato smo izbrali sestoj smreke s primesjo bukve, gorskega javorja, jelke in posamičnega gorskega bresta in lipe, kjer je bil dobro razvit pomladek prisoten skoraj na celotni površini.

Ker smo za preizkus primernosti posamezne tehnologije izbrali sestoj v obnovi, smo ločeno preučili poškodovanost matičnih dreves in poškodovanost pomladka. Na istem objektu pri obeh tehnologijah smo merili tudi svetlobo s kvantnimi tipali (LAI 190) in datalogerjem (Li Cor 1400), ki meri relativno difuzno sevanje.

Cilji raziskave so bili:

- ugotoviti vrsto, tip, mesto, starost in obseg poškodb pomladka ter matičnega sestoja pri kombinirani strojni sečnji in pri klasični tehnologiji sečnje in spravila lesa,

- primerjati obe tehnologiji po poškodovanosti sestojev in pomladka po sečnji in spravilu,
- glede na lego sekundarnih prometnic ugotoviti, kje v sestoku so poškodbe sestoja in pomladka večje,
- ugotoviti vzroke poškodb drevja in pomladka,
- primerjati svetlobne razmere v sestokih po izpeljavi sečnje in spravila po obeh tehnologijah.

Glede na dosedanje raziskave s tega področja smo postavili naslednje hipoteze:

1. Število in velikost poškodb na drevesih matičnega sestoja sta večja pri prilagojeni strojni sečnji kot pri klasični sečnji.
2. Glede mesta poškodb je pri prilagojeni strojni sečnji več poškodb na deblu in višje, pri klasični tehnologiji pa nižje na drevesu (korenovec in korenine).
3. Poškodovanost pomladka je večja pri prilagojeni strojni sečnji kot pri klasični sečnji.
4. Poškodovanost pomladka je večja ob sekundarnih prometnicah (vlakah, sečnih poteh) kot v sestoku in je najmanjša na razlesnici.

2 PREGLED OBJAV

2.1 MOŽNOSTI ZA NOVE TEHNOLOGIJE PRIDOBIVANJA LESA V SLOVENIJI

Ob uvajanju strojne sečnje v Sloveniji je stroka ocenila, da je za njeno izvedbo primernih vsega 8 % gozdov ali 11 % v državni lasti (Krč, 2002). Na izločitev relativno majhnega deleža primernih sestojev so vplivale vrednosti postavljenih vplivnih dejavnikov, in sicer naklon terena največ 30 %, delež iglavcev najmanj 70 %, skalovitost največ 50 % in izključitev vrtačastih terenov. Izbrane površine so se skoraj podvojile, če je znašan naklon terena največ 40 % in delež iglavcev najmanj 60 % (Krč in Košir, 2003). Na majhen delež za strojno sečnjo primernih objektov je vplivala tudi raven zajema podatkov in grobost prostorskih podatkov, kot je skalovitost. Za določevanje primerne tehnologije je odsek prevelik in preveč pester z vidika vplivnih dejavnikov, zato bi bila smiselna podrobnejša delitev (Zabukovec, 2012). Najmanjše primerno delovišče za strojno sečnjo mora biti velikosti vsaj 8 ha, če so potrebni prevozi stroja med objekti, pa vsaj 30 ha (Bultemeier in sod., 1998, cit. po Marenče in sod., 2012).

Po dobrem desetletju uporabe strojne sečnje ugotavljamo, da se zadnja leta s stroji poseka okoli 200.000 m³ na leto lesa, največ v državnih gozdovih. Grobe ocene kažejo, da bi lahko v Sloveniji s stroji letno posekali 25 % možnega poseka, trenutno pa je njena izkoriščenost le 13 % (Jakše, 2013). Največja ovira pri doseganju navedenih potencialov je razdrobljenost in majhnost gozdnih posesti v zasebni lasti, medtem ko se v državnih gozdovih posek s tehnologijo strojne sečnje povečuje.

Na novomeškem območju smo strojno sečnjo prvič beležili v l. 2004 (evidence, OE Novo mesto), ko je bilo s to tehnologijo posekanih približno 15.900 m³ lesa, od tega slabih 4.000 m³ v gozdovih v zasebni lasti. V naslednjih treh letih je bilo s strojem posekanih od 120 do 4.120 m³, po l. 2008 (8.300 m³) pa so se količine poseka s strojno sečnjo povečevale in v l. 2012 presegle 20.000 m³, v l. 2013 že 30.000 m³ in v l. 2015 41.250 m³. Od l. 2011 beležimo večje količine poseka s strojno sečnjo tudi v gozdovih v zasebni lasti, kjer se letno s to tehnologijo poseka preko 2.000 m³, v l. 2013 4.000 m³, v l. 2015 že 5.900 m³.

Čeprav smo v Sloveniji tehnologijo strojne sečnje začeli uporabljati pri redčenjih sestojev iglavcev manjših dimenzij (drogovnjaki, tanjši debeljaki), so se izvajalska podjetja v Sloveniji v večini opremila s težkimi stroji za sečnjo (Timberjack 1270D, Königstiger, Eco Log 580 C, John Deere 1470 D), ki so predvsem namenjeni podiranju debelejšega drevja. Te stroje sedaj uporabljajo na vseh objektih, ki so pripravljeni za strojno sečnjo, tako v redčenjih kot v pomladitvenih sečnjah. Nekako so tovrstni težki stroji postali univerzalni za naše razmere.

Do sedaj se je v Sloveniji strojna sečnja izkazala za primerno tehnologijo v drogovnjakih in debeljakih iglavcev in mešanih sestojih z manjšim deležem listavcev (Košir in Robek, 2000; Krč in Košir, 2003). Primernejši so sestoji s prevladujočimi iglavci, kot je smreka, in svetloljubnimi iglavci z robustnejšo skorjo ter globljim koreninjenjem, kot sta bor in macesen. Optimalno uporabo te tehnologije dosežemo pri preglednih, enomernih, tankovejnatih sestojih brez polnilne plasti in pri uporabi klasičnega redčenja močne jakosti (Diaci in Magajna, 2002). Strojna sečnja je nenadomestljiva tudi pri sanacijah požarišč in v sestojih, prizadetih po ujmah (Diaci in Magajna, 2002; Avsenek in sod., 2009; Košir, 2010).

Raziskava uporabe strojne sečnje v sestojih s pretežnim deležem listavcev (Mali, 2005; Judnič, 2006; Vranešič, 2008) z več vidikov nakazuje, da je novo tehnologijo možno uporabljati tudi v drogovnjakih in debeljakih listavcev (pretežno bukve in javorja) na vrtačastih terenih visokega krasa. Strojna sečnja se je na tem primeru v primerjavi s klasično sečnjo za slabšo izbiro izkazala le z vidika poškodovanosti sestojev, saj je bilo pri strojni sečnji poškodovanih 31,6 % dreves, pri klasični sečnji pa 18,9 %. Vzroki za velik delež poškodovanih dreves pri strojni sečnji so bili poleg neugodnih vremenskih razmer (obdobje dežja) predvsem neizurjenost strojnikov, neprimerna organizacija dela (delo v turnusu 3 dni po dve izmeni neprekinjeno) in uporaba prevelikega stroja.

Poleg popolne strojne sečnje se pri nas izvaja tudi kombinirana oz. prilagojena strojna sečnja, pri kateri se s strojno sečnjo kombinira delo z motorno žago, s katero se predhodno usmerjeno podre predebelo ali težje dostopno drevje. Pri analiziranju delovišč strojne sečnje v državnih gozdovih na Postojnskem je Zabukovec (2012) ugotovil, da je

prilagojene strojne sečnje več kot same strojne sečnje. Prilagojena strojna sečnja se največkrat izvaja na višjih nadmorskih višinah, v sestojih z naravno drevesno sestavo z drevesi večjih dimenzij ter v sestojih v obnovi. Tudi v novomeškem območju se prilagojeno strojno sečnjo izvaja zaradi večjih dimenzij drevja, prisotnega pomladka, na območjih večjih naklonov in vrtač.

2.2 VPLIVI PRIDOBIVANJA LESA NA GOZDNI EKOSISTEM

V gospodarskem gozdu je sečnja z večine vidikov pozitiven poseg v gozd, če se izvaja strokovno, ob ustreznem letnem času, v primernem obsegu in s primerno tehnologijo. Z ekološkega vidika sta pri oceni primernosti uporabe določene tehnologije pri pridobivanju lesa ključna elementa poškodovanost sestojev in poškodovanost gozdnih tal (Košir, 2010).

2.2.1 Vplivi tehnologij na gozdna tla

Čeprav v nalogi preučujemo poškodovanost sestojev, je potrebno omeniti tudi vplive tehnologij na gozdna tla, saj so le ta ključna za proizvodno sposobnost gozdov. Tla skupaj s klimo, reliefom in biocenozo tvorijo rastišče in so pomemben del gozdnega ekosistema (Kotar, 2005).

Z uporabo vse težjih strojev z večjo nosilnostjo na vse večjih naklonih postajajo tla ključni omejevalni faktor pri strojni sečnji. Z vožnjo težkih strojev (od 12 do 16 t, naložen tudi preko 30 t) po brezpotju se tla zbijajo, trgajo in celo premeščajo. Zmanjšata se poroznost in vlažnost ter poveča gostota tal, kar vpliva na koreninski sistem dreves, tako da se zmanjša preskrba z vodo in hranili ter posledično oslabi rast dreves (Šušnjar in sod., 2006).

Največja razlika med klasično in strojno ali prilagojeno strojno sečnjo se kaže prav pri vplivu tehnologije na gozdna tla. Medtem ko je pri klasični sečnji običajna gostota vlak od 130 do 220 m/ha (grajenih vlak največ 180 m/ha), se pri strojni sečnji stroji vozijo po brezpotju in potrebujejo glede na doseg sečne glave od 300 do 600 m/ha sečnih poti. Glede na širino sekundarnih prometnic (vlak in sečnih poti), ki v povprečju znašajo 3,5 m, je pri uporabi klasične tehnologije motenega največ do 7 % rastnega prostora, pri strojni sečnji s sortimentno metodo od 15 do 25 % (povzeto po Košir, 2010), pri prilagojeni strojni sečnji pa nekje vmes.

V Žekancu (Košir in Robek, 2000) je pri redčenju sestojev rdečega bora delež motene površine znašal 17,3 %. V tanjših debeljaki listavcev na Mirni gori je pri klasični sečnji delež sekundarnih prometnic znašal 6,3 % celotne površine, delež sečnih (sečnospravičnih) poti pa 13,5 % (Judnič, 2006). Pri redčenju smrekovih drogovnjakov na Pohorju je bil delež motene površine 19,4 %, v drogovnjaki bukve na Goričkem pa zaradi nekoliko širših sečnih poti 21,9 % (Cerjak, 2011). Cerjak tudi ugotavlja, da je povprečna širina sečne poti približno enaka širini stroja, ki ji na vsako stran prištejemo 0,5 m (skupaj 1 m). Tudi Južnič (2012) je v Mozlju pri redčenjih ugotovil 22-% delež motene površine po strojni sečnji, pri čemer je gostota sečnih poti znašala 567 m/ha, povprečna širina sečne poti pa 3,90 m. Mihelič (2014) je preučeval različne poizkuse strojne sečnje in v svoji disertaciji navaja deleže motene površine od 14,7 do 21,0 %, pri čemer povprečne širine sečnih poti znašajo od 2,95 do 4,17 m.

2.2.1.1 Poškodbe tal

Pri preučevanju vplivov tehnologij pridobivanja lesa je pomembno poznavanje gozdnih tal, saj so zelo občutljiva na mehanske vplive, zato niso namenjena vožnji in spravilu lesa. Od vrste tal, globine, teksture (prisotnost peska in gline), strukture, gostote ter vlažnosti tal je najbolj odvisno obnašanje tal pri določenih obremenitvah z gozdarskimi stroji (Mali in Košir, 2007; Košir, 2010).

Dejavniki, ki vplivajo na obremenitve in zbijanje tal, so teža vozila in tovora, vrsta in velikost pnevmatik, zračni tlak v pnevmatikah, potovalna hitrost in število prehodov. Zbijanje tal je odvisno še od tipa in globine tal (Williamson in Neilsen, 2000), vsebnosti organskega dela tal in vremenskih razmer. Ker vsi ti dejavniki delujejo na tla v medsebojni odvisnosti in sočasno, je težko izmeriti vpliv vsakega posebej, zato preučujemo vpliv tehnologije kot celote (sečnja in spravilo) na določena tla.

Mehansko lastnost tal, ki predstavlja zmožnost tal, da se uprejo zunanjim silam, imenujemo nosilnost ali odpornost tal (Šušnjar in sod., 2006). Nosilnost naravnih tal je vedno manjša od tlaka koles gozdarskih strojev, kar pomeni, da do manjših ali večjih poškodb prihaja vedno. Nosilnost tal je večja, ko so tla suha ali zamrznjena. V naših razmerah so tla suha le v močni suši, torej krajši čas leta. Da so tla zamrznjena, mora biti

temperatura zraka nekaj dni manjša od $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, kar tudi ne traja dolgo, zato splošna raba teh dveh omejitev ni primerna (Krč in sod., 2013). Večino težav z nosilnostjo tal lahko pojasnimo s povečano mesečno količino padavin (Zabukovec, 2012), kar pomeni, da se težave z nosilnostjo tal praviloma pojavljajo v primeru dežja oz. mokrih tal.

Triplat in sod. (2015) so na podlagi upoštevanja lastnosti tal, terenskih razmer in osnovnih karakteristik strojev sestavili matriko odločanja (DMT – decision-making tool) o uporabi primernejše tehnologije v danih razmerah. V matriki so uporabili delitev tal glede trdnosti po Owende in sod. (2015, cit. po Triplat in sod., 2015): zelo mehka tla (trdnost tal do 40 kPa, šotna tla, vlažna tla), mehka tla (trdnost tal 40–60 kPa, globoka silikatna, sveža tla), povprečna tla (trdnost tal 60–80 kPa, globoka pokarbonatna, suha tla) in trdna tla (trdnost tal nad 80 kPa, plitka, osušena tla). Primerljivo lestvico navaja tudi Košir (2010), ki trdi, da bi morala biti nosilnost tal precej večja od dovoljenega nominalnega tlaka na podlago (NGP). Vrednost NGP narašča s težo stroja. Z uporabo gosenic zmanjšamo tlak na podlago, hkrati pa zmanjšamo tudi hitrost stroja, povečamo stroške vzdrževanja in pridobivanja.

Večina raziskav potrjuje, da se glavnina zbijanja zgodi že po nekaj prehodih (Košir, 2002b). Seixas in sod. (2003, cit. po Šušnjar in sod., 2006) so izmerili, da so tla že po petem prehodu dosegla 75 % zbitosti (skupno 20 prehodov). Froehlich in sod. navajajo (1980, cit. po Vora, 1988), da se 60 % zbitosti tal doseže že v prvih šestih prehodih. Po 20. prehodu se zmanjša poroznost tal za 43 %, prepustnost tal za vodo za 80 % in infiltracijska sposobnost tal za 67–78 % (Vora, 1988).

Williamson in Neilsen (2000) sta na različnih tleh z različno vlažnostjo tal (od težkih ilovnatih do prodnatih peščenih tal) ugotavljala, da se v vrhnji plasti 10 cm tla zbijejo v povprečju za 62 % že po prvem prehodu stroja za sečnjo, po tretjem prehodu pa do globine 30 cm že od 80 do 95 % celotne zbitosti. Na mokrih tleh (vlažnost tal 90 %) je poleg zbitosti težava še s premeščanjem tal. Že po prvem do tretjem prehodu kolesa plast tal do globine 10 cm narinejo na notranjo ali zunanjo stran kolesnic. Do šestega prehoda kolesa pridejo že do globine 30 cm.

Priznan indikator, ki kaže usklajenost stroja in podlage, je globina kolesnic, vendar normativov z dopustnimi mejami poškodovanosti tal še nimamo. Košir (2010) je globino kolesnic razvrstil v tri razrede: do 10 cm je plitva kolesnica, od 10 do 20 cm je srednje globoka kolesnica, od 20 do 30 cm globoka kolesnica. Košir glede na raziskave v tujini predlaga, da so kolesnice, globlje od 30 cm, ekološko nesprejemljive ter tehnično-ekonomsko neprimerne neglede na obseg talnih poškodb. Nesprejemljive so tudi kolesnice globine 10–20 cm v obsegu nad 20 % ter kolesnice 20–30 cm v obsegu nad 10 % skupne dolžine sekundarnih prometnic. V nemški, švicarski in skandinavski literaturi navajajo zgornjo mejo sprejemljive globine kolesnic 10 cm (Košir, 2010).

Kako globoke bodo kolesnice pri določenem prehodu stroja, je najbolj odvisno od vrste tal in njihove vlažnosti (Košir, 2010). Na poškodovanih tleh se po sečnji in spravilu poveča še nevarnost erozije, kolesnice se poglobljajo in rezultat so nepovratno spremenjena tla.

Nastanek in poglobljanje kolesnic delno preprečujejo sečni ostanki, ki jih stroj za sečnjo polaga pod seboj. Pri preučevanju vpliva sečnih ostankov na zbitost tal sta McDonald in Seixas (1997) ugotavljala, da sečni ostanki ublažijo poškodbe tal, še posebej mokrih tal. Na suhih ilovnato-peščenih tleh sečni ostanki zmanjšajo zbitost tal, vendar ne statistično značilno. Na istih tleh z večjo vlažnostjo je pri gostoti sečnih ostankov 20 kg/m^2 gostota tal značilno manjša kot na tleh brez sečnih ostankov, pri gostoti sečnih ostankov 10 kg/m^2 pa se vpliva statistično ni dalo potrditi, čeprav je bila zbitost večja pri tleh brez sečnih ostankov.

Košir in Robek (2000) navajata, da mora znašati debelina potlačenih sečnih ostankov na sečnospravični poti vsaj od 10 do 15 cm, da se zmanjšajo negativni vplivi strojev na tla (zbitost tal, premeščanje in narivanje tal, globina kolesnic). Za pokritje vseh kolesnic pri redčenjih rdečega bora ni dovolj sečnih ostankov. V najboljšem primeru bi s skrbnim polaganjem pokrili slabo polovico sečnih poti.

Pri preučevanju poškodovanosti tal na visokem krasu smo ugotovili, da zaradi dobro nosilne podlage (apnenec, dolomit) in pretežno plitkih tal sama poškodovanost tal ni problematična (Mali, 2005; Južnič, 2012; Mihelič, 2014), če tla niso prevlažna. Raziskav

poškodovanosti tal pri strojni sečnji v vlažnih razmerah pri nas nimamo (Mihelič, 2014), zato še niso bile določene zgornje meje vlažnosti tal, pri katerih so poškodbe tal še sprejemljive, zagotovo pa velja, da trdnost tal pada z večanjem vlažnosti tal in je najmanjša pri nasičenosti tal z vodo (Mihelič, 2014).

Poškodbe tal so bile v mejah normale tudi na Pohorju (Osankarica) na pretežno plitvih distričnih rjavih tleh na tonalitu in na Goričkem na pretežno srednje globokem distričnem psevdgleju na matični podlagi terciarnih sedimentov. Kljub uporabi težkih strojev za sečnjo v drogovnjakih je bila povprečna vrednost globin kolesnic v prvem primeru 5 cm, v drugem pa 6 cm, hkrati pa na nobenem objektu ni bilo več kot 9 % kolesnic globljih od 10 cm (Cerjak, 2011). Ugoden vpliv na kolesnice so imeli sečni ostanki, nizka vlažnost tal (20,5 in 11,4 %) in majhno število prehodov.

Regeneracija naravnih tal je lahko dolgotrajen postopek, v prvi vrsti omejen na 15 cm globine, v globljih plasteh pa poteka še počasneje (Hogervorst in Adams, 1994, cit. po Šušnjar in sod., 2006). Arnup (1998, cit. po Šušnjar, 2006) ugotavlja, da je potrebnih 5 do 10 let, da se po zbijanju vzpostavi primerna poroznost ilovnatih tal. Meritve s penetrometrom (Horvat, 1995, cit. po Šušnjar, 2006) so pokazale, da se tla v smislu zbitosti tal regenerirajo po 10 letih. Po 40 letih je bil konusni indeks na pravih poteh v povprečju za 20 % večji kot ob njih (Vora, 1988).

2.2.1.2 Poškodbe korenin

Na korenine med vožnjo delujejo strižne sile koles, ki jih trgajo, lomijo, lupijo ali zmečkajo, zato postanejo izpostavljene vdoru gliv. Če se poškoduje koreninski sistem, se zaradi zmanjšane oskrbe z vodo, minerali, hormoni in metaboliti ustrezno zmanjša tudi rast poganjkov in posledično produkcija dreves (Torelli, 2001).

Osnovni nalogi korenin sta pritrditev rastline v tla ter preskrba rastline z vodo in mineralnimi snovmi. Nekatere korenine opravljajo še nalogo shranjevanja zaloznih snovi ali vegetativnega razmnoževanja. Dolge drobne korenine skrbijo za preskrbo vode in hranil, kratke drobne korenine pa zagotavljajo predvsem izmenjavo hranil.

Spremembe v tleh, kot so večja zbitost in večja gostota tal, manjša poroznost in manjša zračnost tal, predstavljajo za korenine stres. Na razgaljenih gozdnih tleh je koreninski sistem izpostavljen večjim temperaturam, hkrati pa je zmanjšan dotok vode, hranil in zraka do korenin, na kar se morajo rastline prilagoditi. Eno od prilagoditev predstavlja razvijanje koreninskega sistema zunaj območij poškodb, kar so dokazali na Pohorju (Kraigher, 2013). Po eni od delitev korenine glede na debelino razvrščamo v tri razrede: do 2 mm so drobne korenine, od 2 do 10 mm tanke korenine in nad 10 mm debele korenine. Po številu je preko 90 % drobnih korenin, katerih skupna dolžina znaša preko 50 % (Robek in sod., 2000).

Čeprav so raziskave in meritve zahtevne, je morfologija drobnih korenin v tleh dober indikator zbitosti tal. V zbitih tleh se skupna masa drobnih korenin zaradi mehanskega upora zmanjša. Železnik in sod. (2011) so na Pohorju z metodo minirizotronov in vrstnih mrežic preučevali biomaso korenin na petih mestih v sestoji glede na sečnjo in spravilo lesa (kontrola v sestoji, ob sečni poti, na sečni poti, na sečnospravljeni poti). Po dveh rastnih sezonah je bil opazen značilen upad drobnih korenin v tleh na sečnih poteh. Na sečni poti, kjer je vozil tudi zgibni polprikoličar, je povprečna biomasa korenin dosegla le 7 % biomase korenin na ostalih ploskvah oz. 1 % povprečne dolžine korenin na ploskvah, kar je posledica več prehodov. Podobno so Robek in sod. (2000) pri preučevanju razvoja korenin v zbitih tleh po spravilu ugotovili, da je po letu dni značilen upad živih korenin v vrhnji plasti do 10 cm, prav tako pa tudi v plasti 10–20 cm.

Šušnjar (2005) navaja, da povečanje gostote tal ter posledično zmanjšanje poroznosti in vlage v tleh zmanjšata dostopnost hranil, kar je glavni vzrok za zmanjšano rast rastlin. Tudi Wasterlund (2003, cit. po Šušnjar, 2005) ugotavlja, da zbijanje gozdnih tal zmanjšuje rast rastlin, na plitvih in siromašnih tleh celo do 50 %. Rebula (1993) pa ni dokazal negativnega vpliva izgradnje vlak na priraščanje dreves v dinarskem jelovo-bukovem gozdu.

Da zbita tla onemogočajo rast korenin, dokazuje tudi raziskava (Shepperd, 1993) na vegetativnem pomlajevanju trepetlike (*Populus tremuloides*) s pomočjo poganjkov iz panja v Skalnih gorah v ZDA. Na naravnih tleh v primerjavi s sečnimi potmi je bilo najdeno trikrat več korenin in desetkrat več poganjkov iz panja. Po 16–32 prehodih traktorja je bilo

na pravilnih poteh poškodovanih 26–48 % vzorcev korenin. Najpogostejše (57 %) je bilo uničenje drobnih korenin. Od ostalih poškodb so prevladovali zlomi korenin (22 %), lupljenje korenin (17 %) in drobljenje korenin (4 %). V namočenih tleh so bile zaradi premeščanja in poglobljanja tal poškodbe korenin še večje, saj so bile že po štirih prehodih korenine pretrgane ali olupljene.

Vožnja težkih gozdarskih strojev po naravnih gozdnih tleh vpliva tudi na razvoj simbiotskih gliv, ki pomembno pripomorejo pri kroženju hranil v tleh in preko mikorize povezujejo rastline iste ali različnih vrst med seboj. Micelijske mreže zagotavljajo prerazporejanje hranil in vode med viri in porabniki, zato je v primeru njihovega poškodovanja ta funkcija onemogočena (povzeto po Grebenc in Kraigher, 2009).

Poškodbe tal lahko posredno preko poškodb korenin in micelija mikoriznih gliv vplivajo na neto primarno produkcijo. Dokazana korelacija obstaja med primarno neto produkcijo nadzemnih delov in biomaso debelih olesenelih korenin (Grebenc in Kraigher, 2009).

2.2.2 Vplivi tehnologij na poškodbe sestojev

Uvajanje tehnologije strojne sečnje v Sloveniji poteka danes hitreje kot njeno spremljanje, ocenjevanje in podajanje rezultatov ter omejitev. V srednji in severni Evropi, kjer je strojna sečnja že dobro uveljavljena, razpolagajo z več raziskavami, ki dajejo odgovore tudi na vprašanja glede poškodovanost sestojev v vseh razvojnih fazah (Fröding, 1988).

Ključna parametra, ki vplivata na delež poškodb sestojev glede na izhodiščno stanje, sta jakost sečnje in delež vsakokrat poškodovanih dreves. Na končno poškodovanost sestoja pa vpliva le delež vsakokrat poškodovanih dreves. Pri klasični sečnji in spravilu je po modelu največji delež poškodb v pomlajencu in znaša tudi do 80 % (Košir in Cedilnik, 1996), poleg poškodb matičnega sestoja se pojavljajo tudi poškodbe pomladka. Osnovni modeli za napovedovanje vsakokratne poškodovanosti sestojev in simulacijski modeli za napovedovanje poškodovanosti sestojev skozi celotno proizvodno dobo napovedujejo manjšo poškodovanost pri strojni sečnji in počasnejše naraščanje skupnega števila poškodb kot pri klasični sečnji (Košir, 2008a). Pri dovolj zanesljivih modelih lahko za določene

vplivne dejavnike napovemo normalno poškodovanost in jo primerjamo z dejansko poškodovanostjo na terenu (Košir, 2000).

Metode popisa poškodovanosti sestojev niso enotne, zato rezultatov raziskav ne moremo vedno neposredno primerjati. V večini raziskav, ki jih navajamo, pomeni poškodovanost sestojev delež poškodovanih dreves od vseh dreves v sestoku nad merskim pragom. V Sloveniji znaša merski prag 10 cm, v tujini pa je lahko tudi drugačen, zato bomo v takem primeru to posebej navedli. Tudi prag poškodovanosti in velikostne razrede poškodb raziskovalci navajajo drugače, kar bomo posebej navedli.

2.2.2.1 Raziskave poškodovanosti sestojev v tujini

Limbeck-Lilienau (2003) je raziskovala poškodovanost sestojev po štirih različnih sistemih strojne sečnje, ki se izvajajo v Avstriji. Odvisno od sistema, letnega časa sečnje (zima, poletje) in jakosti sečnje (od 13,6 do 70 %) je poškodovanost sestojev znašala od 3 % (sortimentna metoda s strojem na kolesih, zimska sečnja, jakost sečnje 13,6 %) do 43 % (žičnično spravilo z drevesno metodo in procesorjem, zimska sečnja, jakost sečnje 55,2 %). Poškodbe po sistemih strojne sečnje, ki so primerljive z našimi (sortimentna metoda strojne sečnje s strojem za sečnjo (na kolesih ali na gosenicah) in spravilo z zgibnim polprikoličarjem), so znašale od 3 do 21 %.

Na Norveškem (Fjeld in Granhus, 1998) ugotavljajo, da na poškodovanost sestojev najbolj vplivajo način sečnje in spravila, jakost sečnje (večja jakost pomeni več poškodb) in bližina sečne poti ali vlake. Poškodovanost sestojev v zimski sečnji (45 % od temeljnice, meja poškodbe je bila 15 cm²) je znašala po klasični sečnji in spravilu 8,7 %, po strojni sečnji in spravilu pa 13,7 %.

Na Švedskem (Modig in sod., 2012) beležijo pri strojni sečnji in kombinirani strojni sečnji poškodovanost do 5 % pri velikosti poškodbe 15 cm². Prevladujejo odrgnine (2/3 poškodb), ostalo pa so zlomi debel. Največ poškodb nastane v fazi podiranja (34,8 in 48,4 %), sledi nalaganje sortimentov in spravilo (skupaj nad 30 %). Največ poškodb je ob sečnih poteh v oddaljenosti do 5 m (57 %), pri kombinirani strojni sečnji pa v razdalji do 10 m od poti (skupaj 82 %).

Na Poljskem Stańczykiewicz in sod. (2012) ugotavljajo, da ni značilnih razlik v poškodovanosti sestojev rdečega bora pri uporabi različnih tehnologij. Pri sortimentni metodi je poškodovanost preostalih dreves (od 7 cm DBH) znašala 3,1–11,3 % in pri drevesni metodi 3,0–10,9 %. Poškodbe pomladka (do 7 cm DBH) so v istem zaporedju znašale 4,1–27,1 % in 5,2–14,0 %.

V ZDA so zaradi drugačnih načinov gospodarjenja tudi metode ocenjevanja poškodovanosti sestojev drugačne, kar otežuje primerjave naših raziskav z njihovimi. V Tennesseeju (Clatterbuck, 2006) so preučevali poškodovanost mešanih sestojev hrasta po redčenju s strojno sečnjo treh jakosti (12,5 %, 25 % in 50 %). Poškodovanost sestojev pri najmanjši jakosti je znašala dobrih 43 %, pri ostalih jakostih pa celo 80 %. Glavnina poškodb se je pojavljala na deblu (64–72 %), od teh je bila polovica poškodb v razredu hudih poškodb.

Han (1997) ugotavlja, da pri strojni sečnji (cut-to-length) 70 % poškodb nastane pri sečnji in 30 % pri spravilu lesa. Zgibni polprikoličar povzroči več poškodb na tleh in močnejše poškodbe v primeru povzročitve poškodbe. Večina poškodb (69 %) je bila manjših od 232 cm².

2.2.2.2 Raziskave poškodovanosti sestojev v Sloveniji

Poškodbe drevja v sestojih so pri pridobivanju lesa vedno puščale negativen predznak, zato ima v Sloveniji preučevanje poškodovanosti sestojev dolgo zgodovino, katere začetki segajo v sedemdeseta leta dvajsetega stoletja (Robek in Medved, 1997).

Sprva so pri preučevanju poškodovanosti sestojev primerjali ročno, konjsko in traktorsko spravilo (Krivec, 1975). Primerjali so poškodbe pri različnih metodah pridobivanja lesa (Žagar, 1982; Južnič, 1984) v različnih razvojnih fazah. V času gradnje vlak s pomočjo miniranja so v popis poškodovanosti zajeli še poškodbe po miniranju (Šolar, 1994). Papac (1992) je celo preizkušal metodo preučevanja vzrokov nastanka poškodb in možnosti za zmanjšanje deleža poškodovanih dreves po sečnji in spravilu.

Poškodovanost dreves spremljajo tudi v slovenskih popisih propadanja gozdov vse od l. 1987 (Robek in Medved, 1997), neuradno pa že od l. 1985 (Kovač in Simončič, 2015). Metodologija popisa se je z leti spreminjala in dopolnjevala. Od l. 1995 se poškodbe na drevesih razvršča v pet velikostnih razredov: ni poškodbe, poškodbe do 1 dm², 1–5 dm², 5–20 dm², nad 20 dm². Analize popisov kažejo, da znaša večji delež poškodovanih dreves v državnih gozdovih in v bolj negovanih sestojih. Poškodovanost sestojev je v letih od 1987 do 1995 znašala v povprečju pod 15 %. Delež poškodovanih dreves je po predvidevanju avtorjev manjši, kot kažejo ostale študije poškodovanosti pri pridobivanju lesa, ker metoda popisa ne upošteva zakonitosti pojavljanja poškodb pri pridobivanju lesa.

Tudi pri popisu poškodovanosti gozdov l. 2000 (Robek, 2001) so ugotovili večjo mehansko poškodovanost dreves v državnih gozdovih (29,6 %) v primerjavi z ostalimi gozdovi (19,8 %). 40 % dreves z mehansko poškodbo debla je imelo skupno površino ran v velikostnem razredu 1–5 dm² in 31 % poškodovanih dreves v razredu nad 5 dm².

Spremljanje stanja gozdov v Sloveniji skupaj z nekdanjim popisom propadanja gozdov v Sloveniji torej poteka že preko 30 let (Kovač in Simončič, 2015). Povzetki vsakoletnih meritev na istih ploskvah kažejo, da se od l. 2008 zdravstveno stanje gozdov izboljšuje (Skudnik, 2015). V letnih poročilih žal ni prikazan delež poškodovanih dreves pri pridobivanju lesa. Avtorji se osredotočajo predvsem na osutost krošenj, na katero poleg defoliorjev in podlubnikov zadnja leta vse bolj vplivajo abiotiski dejavniki (žled, sneg, požar), parazitske glive, ostale žuželke in divjad. V l. 2014 je bila pri 7,1 % dreves za vzrok osutosti (povprečna osutost teh dreves je bila 25,7 %) navedena sečnja, vendar sečnja ni bila primarni vzrok osutosti, ker je pojasnila le 4 % osutosti dreves (Simončič in sod., 2015).

Popis poškodovanosti dreves na stalnih vzorčnih ploskvah ZGS ni primerljiv z našimi raziskavami poškodovanosti, saj beleži le večje poškodbe (velikosti 3 dm² in več, v krošnji odlomljen vrh ali veja po debelini presegata petino premera drevesa v prsni višini). Pri zadnji analizi ploskev na novomeškem območju je imelo hujšo poškodbo 6,4 % dreves, na deblu ali korenovcu 3,5 % dreves. V državnih gozdovih je bilo hujše poškodovanih 6,7 %

dreves, v zasebnih gozdovih 4,4 %, v gozdovih lokalne skupnosti pa 3,6 % (Gozdnogospodarski načrt ..., 2012).

Na splošno je na novo poškodovanega drevja po klasični sečnji in spravilu v povprečju 24 % (Košir in Robek, 2000), skupaj s starimi poškodbami pa kar 60 %, podobno kot v tujini (Košir, 2002a). Papac (1992) je ugotovil, da je bilo pred redčenjem v sestoju poškodovanih 27 % dreves, po redčenju pa kar 49 %. Največje poškodbe so nastajale predvsem zaradi neupoštevanja pravilne smeri, saj sta bila sečnja in spravilo navadno ločena procesa. Tudi Klun in Poje (2000) sta pri popisu poškodovanosti sestojev (metoda pasov, merski prag 10 cm DBH, prag poškodovanosti 10 cm²) na Rogu ugotovila, da je znašala poškodovanost pred redčenjem v povprečju 52 %. Pri sečnji in spravilu z zgibnim traktorjem so poškodovali 10 % že poškodovanih dreves in 10 % nepoškodovanih dreves, zato je poškodovanost po zadnjem ukrepu v povprečju znašala 62 %.

Pri sodobni tehnologiji strojne sečnje novejša raziskava v pretežno iglastih sestojih (Košir in Mihelič, 2011) kažejo, da je v povprečju poškodovanih 20,1 % dreves, kar je manj, kot znaša povprečje pri klasičnih tehnologijah pridobivanja lesa (22,2 %). Če primerjamo samo strojno sečnjo (sortimentna metoda) in klasično sečnjo (motorna žaga in traktor, Sortimentna metoda), je po poškodovanosti še vedno v majhni prednosti slednja z 19,8 %. Avtorja ugotavljata, da je delež poškodb po strojni sečnji v primerjavi z rezultati v tujini velik, ker so bile meritve izvedene v času uvajanja strojne sečnje.

Košir (1998) vsakokratno poškodovanost v obsegu okoli 20 % pri pogostih redčenjih z nizko intenziteto, katerih smiselnost je vprašljiva, ocenjuje kot neprimerno, saj tolikšna poškodovanost kaže na slabo prilagojenost tehnologije načinu sonaravnega, trajnostnega in večnamenskega gospodarjenja z gozdovi.

V Žekancu je bila poškodovanost sestojev po strojni sečnji pri zapoznelem drugem redčenju rdečega bora 10-% (Košir in Robek, 2000). Analiza poškodb je pokazala, da so poškodbe praviloma manjše, ker je bilo 54 % vseh poškodb v razredih 10–29 cm² ter do 49 cm², in se najpogosteje pojavljajo na deblu (68 % vseh poškodb). Razloge za precej

večjo poškodovanost, kot jo navajajo podobne raziskave v ostali Evropi, avtorja najdeta v večji gostoti sestojev in v uporabi prevelikega stroja.

Primerjava strojne in klasične tehnologije sečnje in spravila lesa v sestojih iglavcev (Delavec, 2003) je pokazala, da je poškodovanost pri strojni sečnji manjša (8,2 %) kot pri klasični sečnji (14,0 %). Pri strojni sečnji je bilo največ poškodb v razredu 10–29 cm² in nad 200 cm² (36 % in 46 %), pri klasični sečnji pa nad 200 cm² (75 %). Glede na lego debla je bilo pri strojni sečnji največ poškodb na korenovcu in koreninah, nato na deblu, pri klasični sečnji pa največ na korenovcu, nato na deblu in koreninah.

Poškodovanost na Mirni gori (Judnič, 2006) v tanjših debeljkih pretežno listavcev je znašala pri klasični sečnji 18,9 % in pri strojni sečnji 31,6 %. Analiza poškodb je prav tako pokazala, da je pri strojni sečnji več manjših poškodb (53,6 % do 50 cm² in 24,1 % do 100 cm²) kot pri klasični sečnji (35,1 % do 50 cm² in 26,3 % do 100 cm²). Glavnina poškodb pri strojni sečnji je bila na deblu (82,3 %), pri klasični sečnji pa na deblu (59,7 %) in korenovcu (33,9 %). Podobne rezultate pri analizi poškodb sestojev kaže tudi obširnejša raziskava Koširja in Miheliča (2011).

Poškodovanost sestojev ni odvisna le od uporabe določene tehnologije, metode dela in terenskih razmer, temveč predvsem od vremenskih razmer, priprave in organizacije dela ter izurjenosti in zainteresiranosti strojnika (Judnič, 2006; Klun in Poje, 2000; Zabukovec, 2012). Na manjšo poškodovanost pomembno vpliva tudi strokovno odkazilo, kjer revirni gozdar predvidi smer podiranja in nadaljnji potek spravila (Papac, 1992).

2.2.2.3 Raziskave poškodovanosti pomladka

Poškodbe pomladka in mladovij (mladje, gošča in letvenjak) po sečnji in spravilu niso zanemarljive. V sistemih gospodarjenja, ki temeljijo na sonaravnem gospodarjenju, je naravno pomlajevanje temelj za nastanek bodočega sestoja, zato so raziskave poškodovanosti pomladka pomembne (Košir, 2008b).

Pri preučevanju poškodovanosti pomladka pri klasični sečnji in spravilu v Sloveniji se je izkazalo (Košir, 2008b), da je v povprečju 31 % površin odraslih sestojev pomlajenih.

Delež poškodovanih površin pomladka znaša pri iglavcih v povprečju 19 % in pri listavcih 21 % pri povprečni jakosti sečenj 31 in 41 % in gostoti sekundarnih prometnic 216 oz. 183 m³/ha v istem zaporedju. Glavnina poškodb nastane pri privlačevanju lesa v fazi spravila lesa. Večja kot je površina pomladka, večji je delež poškodb. Na splošno poškodovanost pomladka narašča do 17 % pokrovnosti pomladka, potem pa poškodovanost upada (Košir, 2008b).

Na Hrvaškem (Petreš, 2006) je bilo v sestoji hrasta (dob) v obnovi pri popisu poškodovanosti pri sečnji z motorno žago in spravilu z zgibnim traktorjem poškodovanih 6,8 % osebkov hrasta od vznika do starosti pet let, od teh je bilo 87,8 % uničenih ali močno poškodovanih. 94 % poškodb je nastalo v fazi zbiranja in vlačjenja lesa po vlaki, ko je deblo drselo po tleh. Gostota pomladka pred končno sečnjo je znašala 2,9 osebkov na 1 m², lesna zaloga odraslega sestoja pa 274,5 m³/ha.

Sikström in Glöde (2000) navajata nekatere predhodne raziskave poškodovanosti mladja iglavcev pri končnem poseku s klasično sečnjo in sortimentno metodo, kjer je poškodovanost mladja znašala 8–38 %.

Pri končnem poseku s strojno sečnjo v zimskem času (temperatura pod 0 °C, do 0,5 m snega) na primeru naravnega pomlajevanja smreke je delež poškodovanega mladja znašal med 38 in 65 % (Sikström in Glöde, 2000). Od poškodovanih osebkov je bilo od 48–76 % resno poškodovanih. Največ poškodb (56–70 %) je povzročila vožnja s stroji in pokritost mladja s sečnimi ostanki. Dokazali so linearno povezavo med poškodovanostjo pomladka in bližino sečne poti. Večja je bila poškodovanost pomladka višine nad 1 m; s sečnimi ostanki je bilo prekritih več osebkov do višine 1 m. Ugotovili so tudi, da na poškodovanost pomladka, bolj kot metoda in način dela, vplivajo lesna zaloga in število posekanih dreves v sestoji ter volumen povprečnega odkazanega drevesa. Pri končnem poseku naj bi bilo največ 200 dreves na 1 ha z lesno zalogo do 200 m³/ha, pomladek gostote vsaj 6.500 osebkov na 1 ha pa naj bi imel povprečno višino 1–2 m.

Pri nadaljevanju raziskav na istih objektih ugotavljajo (Glöde, 2002), da na nadaljnjo višinsko rast mladja ne vplivajo poškodbe, temveč vitalnost osebkov pred sečnjo. Na letni

višinski prirastek po končnem poseku značilno vpliva višina osebka pred sečnjo. Ugotavljajo, da sta višina in ocenjena vitalnost osebkov pred sečnjo dobra kazalca za napoved rasti mladja po končnem poseku.

Glöde in Sikström (2001) sta tudi primerjala dve različni metodi strojne sečnje, ki se razlikujeta pri izvedbi sečnje. Pri običajni (konvencionalni) metodi, ki jo izvajamo tudi pri nas, vozi stroj za sečnjo po sečni poti in na vsaki strani v svojem dosegu usmerjeno podira, izdela in zloži označena drevesa na način, da najmanj poškoduje pomladek in preostalo drevje. Pri drugi metodi (poimenovani »tossing the caber«) strojnik med podiranjem pred padcem drevo usmerjeno potiska in prenese na sečno pot pred stroj, kjer opravi klešččenje in razrez. Na ta način prepreči oz. zmanjša poškodbe pomladka, ker drevo ne pade v sestoj. Spravilo se pri obeh metodah izvede z zgibnim polprikoličarjem, ki za vožnjo uporablja izključno že uporabljene sečne poti. Pri končnem poseku sestojev smreke in rdečega bora je znašala povprečna višina pomladka pri običajni metodi 1,3 m in pri »tossing the caber« metodi 1,2 m, povprečna gostota pomladka v istem zaporedju je znašala 9.530 oz. 11.780 osebkov/ha, lesna zaloga matičnega sestoja 165 oz. 140 m³/ha, povprečno posekano drevo pa je imelo volumen 0,36 oz. 0,39 m³. Popis poškodovanosti (pet tipov poškodb s tremi stopnjami) na sistematični mreži 15 x 15 m na krožnih ploskvah (r = 2,52 m) je pokazal, da je v danih razmerah pri končnem poseku poškodovanost pomladka pri običajni metodi znašala 40 %, pri metodi »tossing the caber« pa 43 %. Od poškodovanih je bilo v obeh primerih resno poškodovanih 32 % osebkov. Glede na tip poškodbe so pri običajni metodi prevladovale poškodbe vej, ki so znašale 44 %, nato poškodbe vrha 21 %, izruvani ali poviti osebki 18 % ter s sečnimi ostanki prekriti osebki 11 %. Pri metodi »tossing the caber« so prav tako prevladovale poškodbe vej z 32 %, manjše so bile poškodbe vrha (16 %) in manjši delež povitih ali izruvanih osebkov (13 %), presenetljivo pa je bil večji delež s sečnimi ostanki prekritih osebkov, ki je znašal kar 23 %.

Glöde in Sikström (2001) povzemata rezultate številnih raziskovalcev, ki navajajo deleže poškodovanih in uničenih osebkov mladja po končnem poseku s strojno sečnjo 20–56 %. Na poškodovanost pomladka vplivajo tudi višina in premer pomladka, odpornost drevesne vrste na upogibanje ter temperatura zraka (Eliasson in sod., 2003). Z višino pomladka in padanjem temperature (od 0 do –15 °C) se povečuje delež polomljenega pomladka.

V Veliki Britaniji (Stokes in sod., 2009) je študija poškodovanosti pomladka v pretežno iglastih sestojih pokazala, da je po sečnji in spravilu 40–80 % pomladka nepoškodovanega oz. lažje poškodovanega, vendar je še perspektivno za tvorbo bodočega sestoja. Značilnih razlik v poškodovanosti po različnih tehnologijah (klasična ali strojna sečnja) niso dokazali. Na večjo poškodovanost sta značilno vplivali bližina sečne poti in bližina panja posekanega drevesa.

Podobno ugotavljajo na Finskem (Sirén in Surakka, 2010; Surakka in sod., 2011), kjer so na več poskusih strojne sečnje v raznomernih sestojih smreke dokazali vpliv jakosti sečnje, sečnih poti, bližino panja in vpliv višine pomladka na končno poškodovanost pomladka, ki je znašala 17,6–61,0 %.

Tudi na Norveškem ugotavljajo (Granhus in Fjeld, 2001), da na poškodovanost pomladka pri sečnji in spravilu močno vplivajo tehnologija in metoda dela, jakost sečnje, višina pomladka in lega pomladka glede na sečne poti in preostala večja drevesa. Skupna poškodovanost pomladka (poškodovani, premeščeni in uničeni osebki) je po klasični sečnji in spravilu znašala 26–50 % (v povprečju 33 %), po strojni sečnji in spravilu pa 17–76 % (v povprečju 41 %).

V Mediteranu, kjer so dimenzije dreves in lesne zaloge občutno manjše, je tudi poškodovanost pomladka majhna. V primeru sečnje v borovih pomlajencih blizu Pise poškodovanost pomladka nikjer ni presegla 5 % (Spinelli in sod., 2013).

2.2.3 Posledice poškodb na drevesih

Manjše poškodbe ne ogrožajo preživetja drevesa in ne zmanjšajo njegovega prirastka, prizadenejo pa kakovost lesa (Torelli, 2001). Drevo rane ne pozdravi, bolj ali manj uspešno jo preraste in omeji, poškodovana tkiva pa začnejo propadati, zato na kakovost lesa najbolj vplivajo poškodbe, nastale pri večji starosti.

Pri poškodovanju se prekine površinska zaščita drevesa (lubje in sklenjen periderm), z vodo nasičena živa tkiva (skorja, kambij, les) pa pridejo v neposreden stik z okolico. Drevo razpolaga z zaščitnimi mehanizmi, s katerimi se beljava in živi del skorje odzoveta na

poškodbe. Ran in njenih učinkov drevo ne pozdravi, temveč jih lahko le bolj ali manj učinkovito lokalizira in zavre. Po teoriji kompartmentalizacije (Torelli, 2001) poznamo tako imenovane 4 stene oz. bariere. Najšibkejša je stena 1, ki omejuje širjenje učinkov poškodb v vzdolžni smeri drevesa. Predstavlja razne okluzije v aksialnih elementih, kot so tile pri listavcih, aspirirane obokane piknje pri iglavcih, gumozne snovi in suberiziran sloji. Stena 2 je rezultat normalne kambijeve rasti, saj jo tvori gostejši kasni les, in omejuje širjenje v radialni smeri. Zelo močno steno 3, ki omejuje širjenje v tangencialni smeri, tvorijo radialno usmerjene parenhimske celice trakov. Najmočnejšo steno 4 (t. i. barierna cona) pa tvori kambij po ranitvi in loči les, ki je nastal pred ranitvijo, od lesa, ki je nastal po njej. Zanj je značilen povečan delež parenhima. Vse strukture, ki nastanejo kot odziv na poškodbe, predstavljajo oviro za vdor zraka ter mikroorganizmov in gliv v les.

Pri poškodbi bukve, kjer se odstrani skorja, na izpostavljeni površini lesa, na robu rane in pod skorjo nastane učinkovit zaščitni les, ki sestoji iz tanke izsušitvene cone (0,5 mm) in diskoloracijske cone (4,5–6,5 mm) pod njo (Torelli, 2001). Zaščitni les lahko nekaj let uspešno ščiti les pod seboj, ko se zmanjša njegova vlažnost pod točko nasičenja celičnih sten, se začne krčiti, pojavijo se radialne razpoke ali ga predrejo insekti in odpre se pot okužbam in razkroju.

Raziskave odziva na poškodbo žive skorje jelke (Oven, 2001) so pokazale, da se na poškodbi že po 28–42 dneh pojavi ligno-suberinski sloj, ki preprečuje izsuševanje in vdor patogenov ter omogoči razvoj ranitvenega periderma. Odziv skorje na poškodbo se zaključi, ko se ranitveni periderm združi z najmlajšim peridermom. Na poškodbo drevo hitreje odreagira v rastni sezoni (od aprila do avgusta), najhitreje na višku rastne sezone (junija), počasneje pa v obdobju depozicijske faze in faze mirovanja.

Delež in obseg mrtvih tkiv se s starostjo drevesa povečuje, hkrati pa slabi kompartmentalizacijski potencial živega lesa (Torelli, 2006).

Kessel in Fanta (cit. po Žemva, 2007) sta poškodbe zaradi divjadi (lupljenje, grizenje) razvrstila v: 1) nepomembne poškodbe do širine 0,5 cm, ki se zacelijo v 2–3 letih, 2) poškodbe I. stopnje, kjer poškodba ni širša od 5 cm ter se zaceli v 10–20 letih, 3) poškodbe

II. stopnje, kjer širina poškodbe znaša 5–10 cm in se zaceli v 20–30 letih, 4) poškodbe III. stopnje, kjer poškodba presega širino 10 cm in se lahko nikoli ne zaraste. Rane se hitreje zaraščajo v horizontalni smeri, 3–4 mm na leto. Če naštete stopnje prevedemo v velikostne razrede poškodb (po Koširjevi metodi), ki jih povzročijo tehnologije, lahko I. stopnjo prevedemo v velikostni razred 10–30 cm², II. stopnjo v 31–100 cm² in III. stopnjo v velikostni razred nad 100 cm². Pri poškodbah nad 100 cm² je po tem sklepanju manj verjetno, da se zarastejo.

Mehanske poškodbe drevja vplivajo na končno vrednost in strukturo gozdnih lesnih sortimentov. Ranitve drevja so lahko vzrok za diskoloracijo lesa in razvoj trohnob, ki povzročajo izpad dohodka zaradi odreza spodnjih delov debel, spremenjene sortimentacije (večji delež napak, manjše povprečne dimenzije) in povečanih stroškov pridobivanja (več prežagovanj, več merjenja, manjši učinki sečnje, spravila in transporta). Poškodbe stoječega drevja so lahko vzrok za obodno gnilobo, gnilobo v srcu, nepravo črnjavo, ki močno zmanjšajo uporabnost lesa, tudi do stopnje, ko les ni več uporaben kot tehnični les (Lipoglavšek, 2001). Delež neprave črnjave (merilo kakovosti po standardih) z debelino narašča, kakovost sortimentov pa se zmanjšuje. Ocenjujejo (Rebula, 1993), da je do 4 % lesne zaloge razvrednotene za en kakovostni razred. Pri razvrščanju hlodovine na Brezovi rebri so ugotovili (Lipoglavšek, 2001), da zaradi deleža neprave črnjave ni bilo furnirskih hlodov ali žagovcev prve kakovosti, zaradi poškodb oboda pa te hlode niso mogli uvrstiti med hlode za luščenje.

Pri vsakokratni 25-% poškodovanosti se vrednost donosov v celotni dobi sestoja zmanjša za 14,8 %, pri 10-% poškodovanosti za 8,4 % (Piškur, 2001). Absolutne vrednosti izgub se spreminjajo glede na starost ran in starost sestojev, pri kateri so nastale, ter glede na aktualne cene gozdnih lesnih sortimentov.

2.2.4 Svetlobne razmere v sestojih

Sončno sevanje je eden najpomembnejših naravnih virov in ekoloških dejavnikov. Pomeni edini vir energije, ki ga zelene rastline lahko uporabijo v procesih metabolizma (Diaci, 1999). Jakost in kakovost sevanja vplivata na mnoge fiziološke pojave pri rastlinah, na

primer zgradbo listov (Kotar, 2005). Senčni listi so navadno večji, tanjši, manj krpasti in imajo manj plasti palisadnega mezofila kot listi, ki rastejo na polni sončni svetlobi.

S količino svetlobe je pri kalicah povezana odvisnost mase vršnih poganjkov in mase korenin. Pri polni osvetlitvi je razlika med maso vršnih poganjkov in maso korenin manjša kot pri vrstah, ki rastejo v senci, največja razlika v masi pa je pri polni zasenčenosti (Kozłowski, 1951, cit. po Kotar, 2005). S povečevanjem zasenčenosti se torej zmanjšuje masa korenin, ki posledično vodi v slabo preskrbo s hranili in vodo in zmanjšano mehansko stabilnost osebkov pred vetrom in snegom.

Sončno sevanje lahko delimo na direktno (FDIR) in difuzno (FDIF) oz. razpršeno sončno sevanje. Pri polni oblačnosti imamo na zemeljski površini le difuzno sevanje, ki je sestavljeno iz direktnega sončnega sevanja, ki se je razpršilo pri prehodu skozi oblake, in iz difuznega sevanja atmosfere nad in pod oblaki. Direktno sončno sevanje je sevanje, ki ga sprejema pravokotna površina na os sončnih žarkov, ki je sestavljeno iz nerazpršenega in neodbitega sončnega sevanja. Razmerje med direktnim in difuznim sevanjem je zaradi dnevnega in letnega položaja sonca časovno in prostorsko izrazito spremenljivo, zato je med njima težko potegniti jasno mejo (Dohrenbuch, 1987, cit. po Diaci, 1999).

S prvimi meritvami svetlobnih razmer v gozdnih sestojih so pričeli konec 19. stoletja. Takratna Wiesnerjeva metoda je temeljila na uporabi fotografskega papirja, ki so ga izpostavili sončnemu sevanju v sestoju. V dobrem stoletju so znanstveniki razvili številne metode in instrumente, ki merijo različne komponente sončnega sevanja: globalno sevanje, direktno sevanje, difuzno sevanje, fotosintetsko aktivno sevanje, fotosintetsko uporabno sevanje, vidno svetlobo, trajanje osončenja (povzeto po Diaci, 1999).

V Sloveniji svetlobne razmere največkrat merimo z digitalnim fotoaparatom s skrajno širokokotnim objektivom 'ribje oko' ali z instrumentom LI-COR 2000, ki ne poda vrednosti za direktno sevanje, meri tudi indeks listne površine. Na splošno velja, da se meritve svetlobnih razmer opravljajo do 15. septembra. Pri ponovitvah na istem objektu je dobro meritve opraviti v istem času vegetacijskega obdobja, čeprav se lahko že zaradi izrazito suhega ali izrazito namočenega leta pokažejo razlike med sezonami.

Na vrednost relativnega difuznega sevanja in indeks listne površine neposredno vpliva jakost posega v sestoj. Na primeru redčenja drogovnjaka rdečega bora v Žekancu (Diaci in Magajna, 2002) je mediana relativnega difuznega sevanja (FDIF) pri strojni sečnji znašala 28 %, pri klasični pa 17 %, pri tem pa sta jakosti sečnje v istem zaporedju znašali 25 in 17 %. Indeks listne površine je bil manjši pri strojni sečnji (v povprečju 1,59) v primerjavi s klasično sečnjo (2,23).

Pri redčenju tanjših debeljakov pretežno listavcev (Judnič, 2006) s povprečno jakostjo 23,3–25,3 % lesne zaloge so meritve svetlobe pokazale, da je bila mediana FDIR pri strojni sečnji 10,13 % in pri klasični sečnji 9,30 %, mediana vrednosti FDIF pa je znašala pri strojni 12,93 % in pri klasični sečnji 11,70 %. V kontrolnem neredčenem sestoju sta bili pričakovano obe vrednosti mediane manjši, FDIR 5,71 % in FDIF 9,21 %. Pri ponovitvi meritev po dveh letih (Judnič, 2007) so se vrednosti zmanjšale, v redčenih sestojih v povprečju za 64 % pri FDIR in 52 % pri FDIF, v neredčenih sestojih pa za 73 % pri FDIR in 70 % pri FDIF.

2.2.4.1 Svetlobne razmere in pomlajevanje

Pri večini negovalnih ukrepov v sestoju hkrati povečujemo rastni prostor dreves in dotok svetlobe. Pri preučevanju naravne obnove gozdov je poznavanje svetlobnih razmer posebej pomembno, saj je sončno sevanje glavni dejavnik za nastanek različnih mikrorastišč v vrzelih (Diaci, 1999). Vilhar in sod. (2006) ugotavljajo, da na mikroklimatske razmere poleg zgradbe sestoja in oblike vrzeli pomembno vplivajo tudi terenske razmere, kot so naklon terena, ekspozicija in oblikovanost terena.

Obsežne raziskave pomlajevanja bukve in javorja v dinarskih jelovo-bukovih gozdovih kažejo, da sta velikost vrzeli in vrednost FDIF zelo pomembni za uspešno pomlajevanje. Kljub zmanjšanju povprečne velikosti vrzeli z 200 na 125 m² in zmanjšanju povprečne vrednosti FDIF z 11,0 na 5,7 % se je bukov pomladek počasi gostil in večal, kar pa ni veljalo za javor, saj dominantnih osebkov javorja nad višino 50 cm po desetih letih skoraj ni bilo. Pri obeh vrstah se je pokazal negativen vpliv zmanjševanja vrednosti FDIF na razvoj pomladka (Diaci in sod., 2012).

Z večanjem velikosti vrzeli se povečujeta tudi vrednosti FDIR in FDIF (Roženberger in sod., 2007), ki pa v dinarskih pragozdnih ostankih v vrzelih od 200 do 2000 m² (v povprečju 487 in 640 m²) nista presegli 23 in 18 % v istem zaporedju. Bukvi povečevanje FDIR in FDIF odgovarja, medtem ko jelki povečevanje FDIR ne koristi pri preraščanju v višje razrede. Ugotavljajo, da na pomlajevanje poleg svetlobnih razmer vplivajo še številni ostali dejavniki, kot so pritalna vegetacija, vlaga v tleh in divjad, ki jih je tudi potrebno upoštevati.

Čater in sod. (2014) pri pomlajevanju v dinarskih jelovo-bukovih gozdovih na visokem krasu zagovarjajo vrzeli velikosti 600–750 m², v katerih se je izkazalo, da imata jelka in bukev približno enake možnosti za uspešno pomlajevanje in kompeticijo. Vrednosti FDIF so v povprečju znašale 25 %.

Meritve svetlobnih razmer v pragozdnih ostankih kažejo, da so vrednosti FDIF v večini primerov komaj zadostne za bukov pomladek. Minimalna vrednost FDIF za preživetje bukovega pomladka je 1 %, večina ostalih listavcev, ki se pojavljajo na bukovih rastiščih, pa potrebuje več difuzne svetlobe (povzeto po Rugani in sod., 2008).

V dinarskih jelovo-bukovih pragozdnih ostankih so povprečne vrednosti FDIF v večjih vrzelih znašale 16,9 %, v manjših vrzelih 7 %, pod zastorom pa le 2,7–3,6 %. Pod zastorom je bukov pomladek slabe kakovosti in ima izredno majhne višinske prirastke (Roženberger, 2007).

V skromnih svetlobnih razmerah v konkurenci pomladka zmaguje jelka, saj je izrazito sencozdržna. Jelki ustrezajo bolj vlažna in hladna rastišča, pri pomlajevanju pa jo ovirata zeliščna vegetacija ter objedanje rastlinojede divjadi. Pod zastorom lahko jelovi »čakalci« čakajo tudi stoletje in v času ugodnih razmer odreagirajo na povečan dotok svetlobe. V Pečki in Rajhenavskem rogu jelke v višinskem razredu nad 50 cm skoraj ni, čeprav je število klic sorazmerno veliko (povzeto po Diaci in sod., 2010).

V večjih vrzelih imajo svetloljubne vrste, kot je javor, več možnosti, da konkurirajo sencozdržni bukvi, kar se je pokazalo v pragozdnem ostanku Ravna gora. Po vetrolomu v

čistem bukovem gozdu je v nastali vrzeli velikosti 5,17 ha po dvajsetih letih v zgornji plasti mladovja gorski javor prevladoval na celotni površini z deležem 34–37 %, po skupnem številu osebkov pa na sredini in zgornji strani vrzeli s 64 oz. 55 %, na spodnji strani vrzeli pa 47 % (Marinšek in Diaci, 2004).

2.2.5 Ciljne gostote mladja

Za normalen razvoj bodočega sestoja je pomembna gostota mladja in rastišču primerna mešanost drevesnih vrst. Gostoto mladja podajamo s številom dreves oz. osebkov na enoto površine (ha ali m²). Število dreves v mladovjih, od mladja do letvenjaka, se spreminja. Na gostoto mladja najbolj vplivajo abiotiski (svetlobne razmere, vlaga, rastišče, relief, nadmorska višina, ekspozicija, ...) in biotski (divjadi, žuželke, bolezni) vplivni dejavniki, na gostoto v gošči in letvenjaku pa pomembneje vpliva konkurenca med osebki (Kotar, 2005).

V bukovem enodobnem sestoju (Assmann, 1961, cit. po Kotar, 2005) se število osebkov na hektar zmanjša od 4.300.000 v vzniku (prvo leto) na 50.000 v fazi gošče in 4.600 dreves v fazi letvenjaka. Večje izhodiščno število v vzniku pomeni tudi večje gostote v kasnejših fazah mladovij (Vanselow, 1956, cit. po Kotar, 2005), ker se osebki prilagodijo na manjšo rastno površino.

Raziskave gostote pomladka v prebiralnih gozdovih v Švici (Bachofen, 2009) kažejo, da na gostoto mladja poleg njegove višine vplivata še rastišče in nadmorska višina. Na poskusnih ploskvah je gostota pomladka do višine 130 cm znašala od 42.800 osebkov na 1 ha na boljših rastiščih v sredogorju do 1.200 osebkov na 1 ha na slabših rastiščih v visokogorju, medtem ko je lesna zaloga sestoja znašala od 680 do 237 m³/ha in število merskih dreves od 539 do 300 na 1 ha. Ugotavljajo, da se gostote pomladka v prebiralnih gozdovih na različnih rastiščih in nadmorskih višinah z višino v vseh primerih zmanjšujejo. Pri višini do 20 cm znaša gostota pomladka od 1.000 do 100.000 osebkov na 1 ha, v višinskem razredu 20–49,9 cm znaša med 300–10.000 osebki na 1 ha, pri višini do 130 cm pa le še 50–1.000 osebkov na 1 ha.

Rugani in sod. (2008) ugotavljajo, da se glede na svetlobne razmere in starost pomladka gostota pomladka pri bukvi spreminja od nekaj 100 do 610.000 na 1 ha. Gostota pomladka je praviloma večja v večjih vrzelih, kjer so svetlobne in talne razmere ugodnejše, če se prej prekomerno ne razvije zeliščna in grmovna vegetacija. Ugotavljajo, da v naravnih bukovih gozdovih in pragozdnih ostankih prevladuje malopovršinsko obnavljanje v vrzelih do 1.000 m².

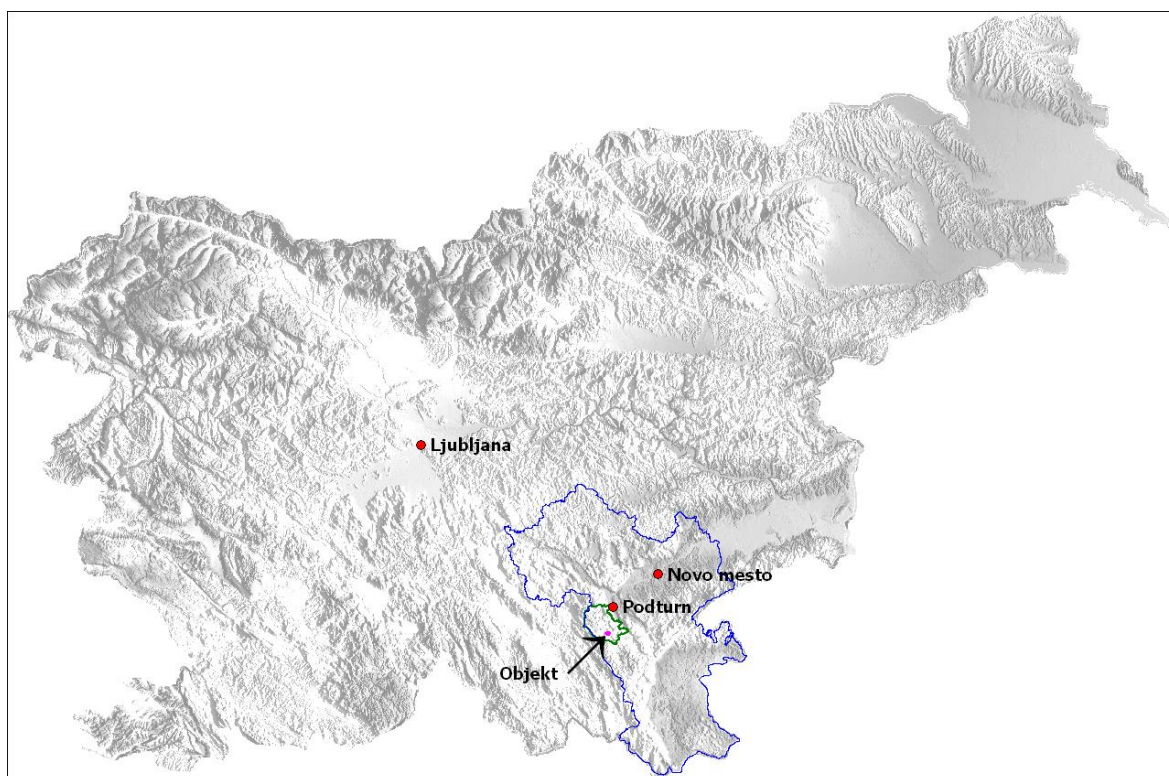
Število pomladka, vključno s klicami, je v vrzelih pragozdnega ostanka Rajhenav znašalo v l. 2000 od 27.750 do 105.620 osebkov na 1 ha, v letu 2005 pa v istih vrzelih od 37.300 do 112.550 osebkov na 1 ha (Perme, 2008). Medtem ko je bukev uspešno preraščala višinske razrede, zaradi objedanja nobena jelka niti javor nista uspela prerasti višinskega razreda 21–50 cm. Pri javorju je bil omejitveni faktor pri preraščanju višinskih razredov še pomanjkanje svetlobe, saj je izrazito svetloljubna vrsta. Stopnja objedenosti je bila pri vseh treh vrstah v velikih vrzelih večja kot v manjših vrzelih, verjetno zaradi manjše gostote pomladka v večjih vrzelih in večje prekritosti tal s pritalno vegetacijo.

V raziskavah, ki jih navajamo, ugotavljajo, da je gostota pomladka odvisna od rastišča, nadmorske višine, svetlobnih razmer, velikosti vrzeli, starosti in višine pomladka. Glede na razmere, ki vladajo na poskusnem objektu oddelka 43, predvidevamo, da bodo gostote pomladka podobne kot drugod v Rogu. V Pragozdnem rezervatu Rajhenavski Rog so gostote pomladka skupaj s pomladkom v vzniku znašale od 27.750 do 112.550 osebkov na 1 ha (Perme, 2008). Ker pomladka v vzniku v našem popisu nismo upoštevali, lahko za ciljno gostoto pomladka navedemo Assmanna (1961, cit. po Kotar, 2005), ki je ugotovil, da je v fazi bukove gošče približno 50. 000 osebkov na 1 ha. Podobne ciljne gostote navajajo tudi v prebiralnih gozdovih v Švici (Bachofen, 2009), kjer znašajo gostote pomladka (do višine 130 cm na najboljših rastiščih) okoli 42.800 osebkov na 1 ha.

3 METODE

3.1 OPIS RAZISKOVALNEGA OBJEKTA

Raziskava je potekala v južnem delu oddelka 43, med gozdno cesto in mejo z oddelkom 42. Oddelek 43 s krajevnim imenom Bradačeva frata se nahaja v Gozdnogospodarski enoti Poljane, ki spada v Krajevno enoto Podturn in Območno enoto Novo mesto.



Slika 1: Lokacija raziskovalnega objekta
Figure 1: Location of the research area

Izbrani objekt leži na blago vzpenjajočem severnem pobočju od 640 do 680 m n. v. z naklonom do 18°. Matično podlago tvori apnenec, na katerem so se razvila rjava pokarbonatna tla in sprsteninaste rendzine. Za objekt je značilna velika skalovitost, ki znaša v povprečju 50 %, in vrtačast teren. S severne oz. spodnje strani objekt zaključuje gozdna cesta, na katero se stekajo vse vlake. Z zgornje oz. južne strani objekt zaključuje oddelčna meja, po kateri je speljana tudi vlaka.

Oddelek 43 s površino 45,06 ha, v katerem se nahaja naš poskusni objekt s površino 14,01 ha, je v načrtu GGE Poljane (2004) zajet v rastiščno gojitvenem razredu (RGR) Dinarski jelovo-bukovi gozdovi, v katerem prevladuje rastišče *Omphalodo-Fagetum* (prej *Abieti-Fagetum*). Povprečna lesna zaloga RGR znaša 400 m³/ha. Velik je delež smreke (38 %), ki bi po naravnem stanju znašal 5 %, zato je z vidika ohranjenosti gozdov več kot polovica sestojev v kategoriji spremenjenih gozdov, kljub temu pa je 42 % ohranjenih gozdov. Delež bukve v lesni zalogi predstavlja 31 %, delež jelke slabih 23 % in delež plemenitih listavcev slabih 8 %. Odlično se pomlajujeta bukev s preko 53 % in smreka s 36 %. Jelka ima v pomladku delež 7 %, plemeniti listavci in ostale vrste 4 %. Pri pomlajevanju je edina težava divjad, ki z objedanjem močno zavira jelko in plemenite listavce.

Matični sestoj je tvorila smreka (60 %) s primesjo bukve (20 %), jelke (10 %) in gorskega javorja (10 %) ter s posameznimi drevesi gorskega bresta, lipe in jerebike. V pomladku je prevladovala bukev z okoli 70 %, smreka s 25 % in jelka s 5 %, ostalih vrst skupaj pa je bilo manj kot 1 % (Gozdnogojitveni načrt ..., 2009).

3.1.1 Pregled preteklega gospodarjenja z gozdovi

Še konec 18 st. so bili na tem območju praktično pragozdovi (celoten odstavek povzet po Gospodarske osnove ..., 1953), saj v njih ni bilo sečenj. Do l. 1840, ko je knez Auersperg na to področje naselil 40 oglarskih družin, se o izkoriščanju teh gozdov ni govorilo. Oglarji so sekali na golo in kuhali oglje, ki so ga vozili v knežjo livarno na Dvor. Na poseki so prekopali tla in nekaj let izvajali poljedelstvo, nato pa zasadili smreko, v manjšem obsegu tudi macesen. Kasneje sta se naravno pojavili še jelka in bukev iz panja. Zadnje tovrstne sečnje so se izvajale pod Jeleniško cesto v osemdesetih letih 19. st.

Od devetdesetih let 19. st. je na izsekavanje roških gozdov močno vplivala tudi Žaga Rog, na kateri se je letno predelalo do 40.000 m³ hlodovine. Žaga je s polno paro delovala do l. 1914, po obnovi l. 1922 pa je s presledki delovala do l. 1932. Za njeno delovanje so bile zgrajene gozdne železnice, katerih proge so segale do Straže, Kočevja in celo Črnomlja. Ob progah so se vršila izsekavanja bukve in jelke, na nastalih golosekih pa so zopet sadili smreko in v manjšem obsegu macesen (Gozdnogospodarski načrt ..., 1983).

Do prve svetovne vojne so bili ti gozdovi v lasti kneza Karla Auersperga. Z Zakonom o agrarni reformi l. 1919 je Kraljevina Jugoslavija po vojni vse njegove gozdove zasegla (Gospodarske osnove ..., 1953) in so še danes v državni lasti.

Že l. 1892, ko je potekala prva ureditev roških gozdov, je urejevalec dr. Hufnagel zapisal, da se v enomernih smrekovih umetno osnovanih sestojih pogosto pojavlja snegolom, zato je potrebno gozdove čimprej prevesti v prebiralno strukturo, ki je za te gozdove najbolj primerna in naravna (Gospodarske osnove ..., 1953).

Drugi val nenačrtnega izkoriščanja se je v teh gozdovih zgodil po drugi svetovni vojni, ko so se zaradi potreb vsesplošne obnove države vršile obsežne sečnje, ki so močno presegale načrtovan posek in tudi prirastek (Gospodarske osnove ..., 1953).

V načrtu iz l. 1953 (Gospodarske osnove ..., 1953) je razmerje drevesnih vrst v enoti znašalo: smreka 24,3 %, jelka 39,4 %, bukev 29,9 %, javor 5,3 %, ostali listavci 1,1 % (največ brest, nato hrast, lipa, gaber, kostanj). V donosnosti so listavci močno zaostajali za iglavci.

V Gozdnogospodarskem načrtu za gospodarsko enoto Poljane 1983–1992 piše, da so tedaj v enoti prevladovali skupinsko raznomerni sestoji. Bukve in plemenitih listavcev je bilo skupaj 40 %, jelke 30 %, smreke 29 % in 1 % ostalih listavcev.

V Gozdnogospodarskem načrtu za Poljane iz l. 2004 je bukve in plemenitih listavcev še vedno približno 40 % (32 % bukve, 8 % plemenitih listavcev), povečal se je delež smreke na 38 % na račun jelke, katere delež v lesni zalogi se je zmanjšal na 22 %.

V zadnjem Gozdnogospodarskem načrtu gozdnogospodarske enote Poljane (2014) je navedena mešanost drevesnih vrst: smreka 36,3 %, jelka 23,1 %, bukev 32,1 %, plemeniti listavci 8,3 %, ostali iglavci 0,1 % in ostali listavci 0,1 %.

Sestoji, v katerih smo izvedli primerjavo prilagojene strojne sečnje in klasične sečnje, so bili uvedeni v obnovo po l. 2000, čeprav so takrat v debeljakih že obstajale manjše vrzeli s

pomladkom. V gozdnogojitvenem načrtu (Gozdnogojitveni načrt ..., 2000) so bili na tem mestu opisani štirje debeljaki smreke (60 %) z različno primesjo bukve, javorja, jelke in ostalih listavcev. V dveh debeljakih, ki sta pokrivala približno polovico objektov, je bila načrtovana skupinsko postopna obnova. Lesna zaloga in mešanost drevesnih vrst posameznega sestoja v gojitvenem načrtu ni bila zapisana.

Pred našim poskusom je revirni gozdar obnovil gozdnogojitveni načrt (Gozdnogojitveni načrt ..., 2009). Pred sečnjo l. 2009 je bila celotna površina v obnovi, mestoma že skupine v razvojni fazi letvenjaka (bukev 68 %, smreka 20 %, jelka 7 % in gorski javor 5 %). Večji sestoj v obnovi s povprečno lesno zalogo 500 m³/ha so gradili: smreka 57 %, bukev 20 %, gorski javor 13 % in jelka 10 %. Pomladek, ki je prekrival 80 % površine, so sestavljali: bukev 80 %, smreka 25 % in jelka 5 %. Manjši sestoj v obnovi na zahodnem delu objekta je imel povprečno lesno zalogo 450 m³/ha. Matični sestoj so gradili: smreka 60 %, bukev 20 %, jelka 10 % in gorski javor 10 %, pomladek, ki je pokrival 80 % površine sestoja, pa smreka z 80 % in bukev z 20 %.

3.2 PRIPRAVA DELA

Izbrani objekt smo razdelili na šest približno enakih delov ali delovnih polj (tehnično sečnospravičnih enot), ker smo za obe tehnologiji (klasično sečnjo in kombinirano strojno sečnjo) izvedli tri ponovitve. Da bi se izognili stiku tehnologij na vlakah, je imel vsak del neodvisen sistem obstoječih vlak, mejo med njimi pa smo označili z belimi trakovi na mejnih drevesih na razlesnici. Z metom kovanca smo prvemu polju določili tehnologijo in posledično vsakemu drugemu. Met kovanca je določil prvemu polju kombinirano strojno sečnjo, drugemu pa klasično sečnjo in spravilo. Polja kombinirane strojne sečnje smo označili z A1, A2 in A3, polja klasične sečnje pa z B1, B2 in B3.

Označitev dreves za posek je zaradi drugačnega načina označevanja potekala po izbiri načinov dela. Za klasično tehnologijo smo drevesa označevali v prsni višini z rdečo piko na nasprotnih straneh drevesa v smeri padnice ter z žigom odkazilnega kladiča na korenovcu. Pri kombinirani strojni sečnji smo drevje označevali v prsni višini s poševno rdečo črto na nasprotnih straneh v smeri prihoda stroja ter z žigom na korenovcu. Odločili smo se, da posebej označimo in beležimo tudi drevesa prevelikih dimenzij za stroj, večje

vrednosti (bukev in javor večjih dimenzij), bolj oddaljena od prometnic ali nedostopna drevesa za stroj (večja skalovitost, visok pomladek). Taka drevesa je revirni gozdar po lastni presoji označil z dodatno črko K, da jih bo sekač predhodno usmerjeno podrl. Nadaljnje faze bo opravil strojnik s strojem ter sortimente zložil ob prometnico za izvoz z zgibnim polprikolničarjem. Označeno drevje smo med odkazilom beležili ločeno po načinu dela in delovnem polju, pri kombinirani strojni sečnji še posebej za sekača in strojnika. S temi beleženji smo dobili natančne podatke o odkazilu in deleže po posameznih tehnologijah.

Sistem obstoječih vlak na objektu so tvorile posamezne glavne vlake, ki povezujejo mejno vlako z gozdno cesto, so si vzporedne in zaradi vrtačastega terena listasto razvejane. Za klasično tehnologijo sečnje in spravila so obstoječe prometnice zadostovale, za prilagojeno strojno sečnjo pa smo po označevanju dreves za posek dodatno označili še sečne poti. Za označevanje sečnih poti po odkazilu smo se odločili zaradi večjih razdalj med drevesi in posameznih jeder mladja, ki smo jih želeli v največji meri zaščititi in ohraniti.

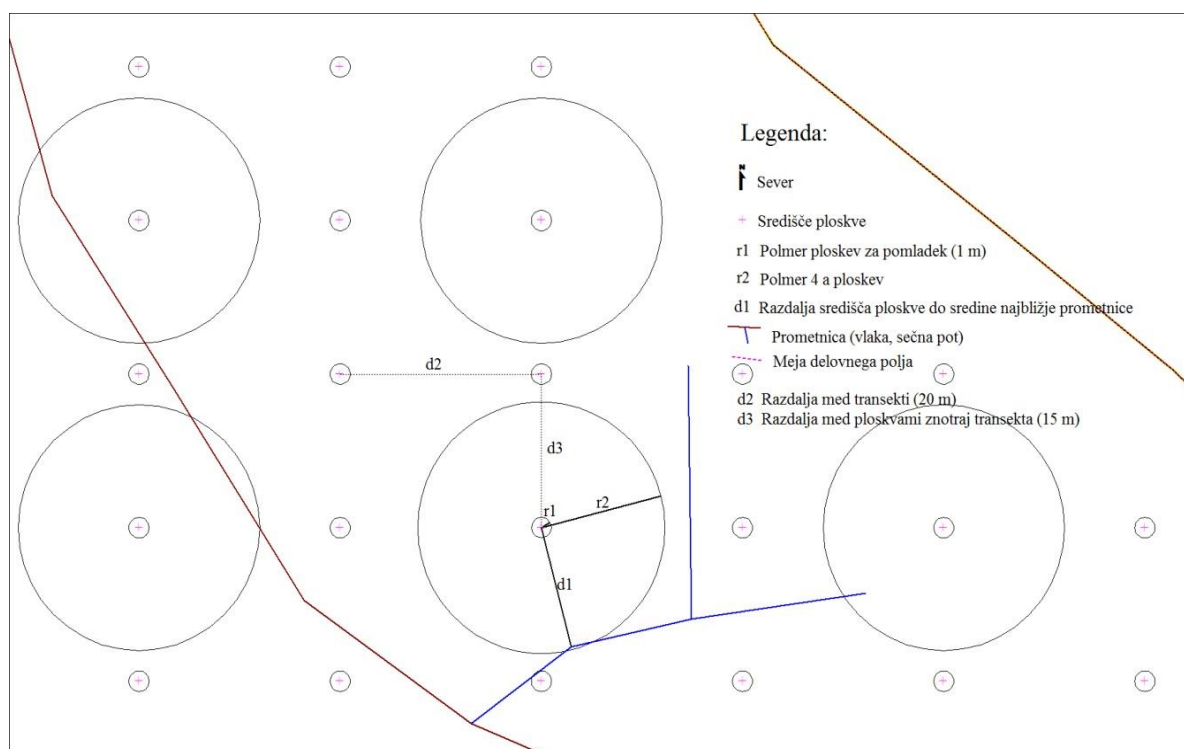
3.3 POPIS POŠKODOVANOSTI SESTOJEV

Po odkazilu in označitvi dodatnih sečnospravnih (sečnih) poti za kombinirano strojno sečnjo je sledilo sistematično vzorčenje po metodi odmerjenih koncentričnih krogov. Odločili smo se za tri tipe ploskev. Pomladek smo popisali na krožnih ploskvah s polmerom 1 m v mreži 20 x 15 m. Transekti so potekali v smeri sever-jug z razmikom 20 m. Razdalja med ploskvami znotraj transeкта je znašala 15 m. Središča ploskev smo označili z železno palico ter barvnim trakom, na katerega smo zapisali oznako ploskve. Popis matičnega sestoja smo izvedli z vzorčenjem na 4 a ploskvah v štirikrat redkejši mreži (40 x 30 m). Glede na naklon, ki je v povprečju znašal 20 %, je polmer ploskve znašal 11,28 m in več. Na istih ploskvah za popis matičnega sestoja smo popisali še morebitne »čakalce«, ki jih je na roškem masivu na jelovo-bukovih rastiščih veliko, predvsem jelke in bukve.

Z vzorčno mrežo smo v treh poljih prilagojene strojne sečnje, ki skupaj merijo 7,80 ha, popisali 57 ploskev odraslega sestoja, prav toliko ploskev za »čakalce« in 211 ploskev

pomladka. V delovnih poljih za klasično sečnjo, ki so skupaj merili 6,21 ha, smo popisali 41 ploskev odraslega sestoja, 42 ploskev za »čakalce« in 183 ploskev pomladka.

Stopnja vzorčenja je pri popisu matičnega sestoja in čakalcev znašala pri prilagojeni strojni sečnji 0,29 in pri klasični sečnji 0,26, stopnja vzorčenja pri popisu pomladka pa pri obeh načinih 0,01, kar je primerno glede na predlagano stopnjo vzorčenja Frodiga (1992, cit. po Košir in Robek, 2000).



Slika 2: Prikaz vzorčne mreže ploskev za popis matičnega sestoja in pomladka

Figure 2: Sample patterns for mature trees and regeneration

Pred sečnjo smo na ploskvah za popis matičnega sestoja popisali vse drevje prsnega premera (DBH) 10 cm in več. Drevesom na ploskvi smo izmerili prsni premer, azimut in razdaljo do središča ploskve, določili drevesno vrsto, gojitveni status (izbranec, konkurent, indiferenten) in položaj v sestoju (ob prometnici, v sestoju, na razlesnici). Na popisni list smo zapisali še številko analizirane ploskve, številko delovnega polja, polmer ploskve, povprečni naklon terena in ekspozicijo. Skalovitosti na ploskvah nismo posebej ocenjevali,

ker smo po pregledu objekta ocenili, da je podatek o skalovitosti pri opisu oddelka 43 (Gozdnogospodarski načrt ..., 2004) ustrezen in znaša v povprečju 50 %.

Po sečnji in spravilu smo na istih ploskvah popisali poškodovanost preostalih dreves. Metoda popisa poškodovanosti matičnega sestoja je pri nas že dodobra uveljavljena. Metoda izhaja s Švedske (Fröding, 1988), za naše razmere pa jo je prilagodil Košir (Košir in Robek, 2000). Ker smo primerjali prilagojeno strojno sečnjo in klasično sečnjo, poškodovanosti sestojev pred sečnjo nismo ugotavljali, saj predhodna poškodovanost ne vpliva na poskus primerjave opisanih tehnologij. Metoda tudi ne predvideva popisa poškodovanosti pred sečnjo, čeprav bi bil podatek o deležu poškodovanih dreves pred sečnjo uporaben pri nekaterih drugih analizah, ki niso del našega poskusa.

Po šifrantu smo ocenjevanemu drevesu na popisni list pripisali velikostni razred poškodbe (do 10 cm² – nepoškodovano, 10–29 cm², 30–49 cm², 50–99 cm², 100–199 cm², 200 cm² in več), starost (ni poškodbe, stara poškodba, nova poškodba, hkrati stara in nova poškodba) in mesto poškodbe (krošnja, veje na deblu, deblo, korenovec, korenine). V primeru nepoškodovanosti je drevo v vseh treh kategorijah dobilo kodo 0. Če je bilo drevo hkrati poškodovano na več mestih, smo površine poškodb sešteli in poškodbo uvrstili na mesto največje poškodbe.

3.4 POPIS POŠKODOVANOSTI POMLADKA

Za popis poškodb pomladka smo priredili metodo, ki sta jo v svojih raziskavah uporabila Sikström in Glöde (2000). Pomladek smo popisali pred in po sečnji, na ploskvah s polmerom 1 m. Na ploskvah smo vsem osebkom pomladka pred sečnjo določili drevesno vrsto, izmerili višinski razred (do 50 cm, 50–130 cm, 130–300 cm, od 300 cm do 5 cm DBH) in popisali poškodovanost. Mladja v vzniku nismo šteli. Osebkke smo uvrščali v tabelo na pripravljene popisne liste. Pred sečnjo je za poškodovan osebek veljal tisti, ki je imel poškodovan terminalni poganjek ali odrgnjeno skorjo na deblu, ki še ni bila zaraščena. Poškodbe terminalnih poganjkov in debelc zaradi divjadi smo beležili posebej. Vsako ploskev smo oštevilčili glede na način dela, določili naklon terena, ekspozicijo, izmerili azimut in razdaljo do sredine najbližje sekundarne prometnice (vlake ali sečne

poti), izmerili razdaljo in azimut do dveh ploskvi najbližjih dreves (da bi ploskev po sečnji lažje našli). Določili smo tudi položaj ploskve glede na sekundarno prometnico:

- 1 ob prometnici (pri strojni sečnji do 4 m od sečne poti, pri klasični sečnji do 15 m od vlake),
- 2 v sestoku (pri strojni sečnji do 8 m od sečne poti, pri klasični sečnji do 30 m od vlake),
- 3 na razlesnici (pri strojni sečnji nad 8 m od sečne poti, pri klasični sečnji nad 30 m od vlake).

Po opravljeni sečnji in spravilu smo na istih ploskvah popisali poškodovanost pomladka. Vse osebkke na ploskvi smo zopet zabeležili na popisni list glede na drevesno vrsto in poškodovanost po istih višinskih razredih kot pred sečnjo. Poškodovanost smo razvrstili v pet tipov poškodb z dvema stopnjama poškodbe (a so lažje in b so težje poškodovani):

1) polomljen glavni poganjek ali steblo

a) terminalni poganjek poškodovan, stranski vrhnji poganjki delno ali nepoškodovani

b) deblo polomljeno v spodnji polovici višine in ni nadomestnega poganjka

2) poškodbe na stranskih poganjkih, vejah

a) do 50 % stranskih vej polomljenih

b) več kot 50 % stranskih vej polomljenih

3) poškodovanost debla, odrgnjena skorja

a) do 50 % oboda debla poškodovanega

b) nad 50 % oboda debla poškodovanega

4) izruvani, manjkajoči ali uničeni osebki

a) osebek delno izruvan ali nagnjen do 45° iz vertikale

b) osebek izruvan ali nagnjen več kot 45°

5) prekriti osebki s sečnimi ostanki ali prstjo in opadom

a) osebek delno prekrit in se bo še dvignil

b) osebek prekrit in se ne bo več dvignil

Če je imel osebek več poškodb, smo ga uvrstili k največji ali zanj usodni poškodbi.

Uničeni osebki so osebki s težjo poškodbo, zabeleženi pod tip poškodbe: 1b, 4b ali 5b.

Ker smo želeli popisati tudi poškodovanost »čakalcev« (od 5 do 10 cm DBH oz. druga debelinska stopnja), za katere smo ocenili, da bodo gradili bodoči sestoj, smo študiji dodali še tretjo vrsto ploskev. »Čakalci« smo jih poimenovali zato, ker so rasli pod krošnjami odraslih dreves, po višini, ki je v povprečju znašala 6 m, in debelini pa so odstopali od pomladka, ki je večinoma segal do višine 130 cm. Ta vrsta ploskev je bila kombinacija prej opisanih vzorčenj. Mreža koncentričnih ploskev velikosti 4 a ($r = 11,28$ m ali več) je sovpadala z mrežo ploskev odraslega sestoja (40 x 30 m), zato smo popisni list pripeli k popisu za matični sestoj. Osnovne značilnosti (št. ploskve, delovno polje, popisovalca, datum popisa, koordinate ploskve, polmer ploskve, nagib, ekspozicija) ploskve so ostale enake. Čakalcem smo pred sečnjo določili drevesno vrsto, prsni premer, višino, razdaljo in azimut od središča ploskve, gojitveno vlogo (perspektiven, indiferenten), položaj v sestoju (ob prometnici, v sestoju, na razlesnici) in ocenili poškodovanost pred posegom (nepoškodovan, poškodovan pri sečnji, poškodovan zaradi divjadi). Za poškodovan osebek smo šteli, če je imel poškodovan vrh ali odrgnjeno skorjo na deblu, ki še ni bila zaraščena. Po sečnji in spravilu smo istim osebkom ocenili poškodovanost po prej opisani metodi za poškodovanost pomladka (pet tipov poškodb z dvema stopnjama poškodovanosti: a so lažje poškodbe in b so težje poškodbe). Uničeni osebki so osebki s težjo poškodbo, zabeleženi pod tip poškodbe: 1b, 4b ali 5b.

3.5 SNEMANJE SVETLOBNIH RAZMER

Meritve svetlobe smo opravili po sečnji in spravilu na istih vzorčnih ploskvah (mreža 20 x 15 m), kjer je bil opravljen popis poškodovanosti. Glede na meritve Rozenbergarja (2007) in Permeta (2008) smo ocenili, da bosta za primerno število meritev zadostovali dve delovni polji. V delovnem polju B1, kjer je potekala klasična sečnja, smo opravili 67 meritev, v delovnem polju prilagojene strojne sečnje (A2) pa 45 meritev. Svetlobo smo merili s kvantnimi tipali (LAI 190) in datalogerjem (Li Cor 1400). Eno od tipal je bilo na prostem (referenca), z drugim smo snemali na ploskvah. Meritve smo izvajali nad središčem ploskve v višini od 1,3 do 2 m (glede na višino pomladka), saj smo želeli posneti svetlobne razmere nad pomladkom. V primeru, da nam je bila v napoto kakšna veja pomladka, smo jo odmaknili, če pa je bil pomladek (ponekod je to že gošča ali letvenjak) previsok, smo točko snemanja premaknili do 1 m od središča in spremembo zapisali v

opombe. Prvi dan smo snemali pred sončnim zahodom, drugi dan pa v oblačnem vremenu, ko ni bilo videti sončnih žarkov.

3.6 OPIS TEHNOLOGIJ

Klasično sečnjo in spravilo so izvedli delavci Gozdnega gospodarstva Novo mesto, d. d., kombinirano strojno sečnjo pa delavci Gozdarstva Grča, d. d., v sodelovanju z Gozdnim gospodarstvom Novo mesto, d. d. V letu 2007 sta se podjetji odločili za sodelovanje in odprli skupno stroškovno mesto z namenom izvajanja strojne sečnje na obeh območjih. Zaradi manjših stroškov nabave in boljše izkoriščenosti strojev sta podjetji skupaj nabavili stroj za sečnjo in zgibni polprikoličar. Kasneje je vsako podjetje posebej nabavilo še lastno garnituro za strojno sečnjo, prvo pa si še vedno delita.

Delovna polja, ki smo jih označili s črko A, so bila z metom kovanca dodeljena tehnologiji prilagojene strojne sečnje. Sečnja je bila izvedena s strojem za sečnjo John Deere 1470D ECO III. Po lastnostih spada stroj med težke stroje za sečnjo, ima tri osi, hidravlično dvigalo CH8 z dosegom 10,8 m in glavo za sečnjo H 480, zato je namenjen sečnji debelejšega drevja (do 71 cm DBH), od redčenj debelejših debeljakov do končnih sečenj. Višina stroja znaša 4000 mm, širina 3000 mm in masa 19.700 kg. S strojem za sečnjo je mogoče podreti drevje debeline do 71 cm, vendar se dogaja, da pri debelini drevja nad 50 cm (pri listavcih nad 45 cm) pri podiranju les poka, kar ima ekonomske posledice (razvrednotenje prvega sortimenta, odrez poškodbe), zato se praviloma izvaja prilagojena strojna sečnja s predsečnjo z motorno žago. Večja verjetnost je, da bo pokal les listavcev, še posebej v soku. Za posek z motorno žago sta revirna gozdarja označevala drevje listavcev nad 45 cm DBH, iglavce nad 50 cm DBH ter težje dostopno drevje sredi skal ali višjega pomladka, da bi preprečila nepotrebne poškodbe pomladka.

Izvoz lesa do gozdne ceste je bil opravljen z velikim zgibnim polprikoličarjem John Deere 1410D ECO III, ki je namenjen izvozu debelejšega drevja. Teleskopsko hidravlično dvigalo CF772 z grabežem ima doseg 7,2 m. Širina stroja znaša 2890 mm, masa praznega stroja je 16,5 t, nanj pa se lahko naloži do 14 t tovora.

Delovna polja z oznako B so posledično pripadla izvedbi s klasično tehnologijo. V skupini sta delala dva sekača z motornima žagama in traktorist na prilagojenem traktorju John Deere 6220 z dvobobenskim vitlom Igland 6002 Pronto.

3.7 ANALIZA PODATKOV

Podatke z vzorčnih ploskev smo obdelali s pomočjo vrtilnih tabel v programu Microsoft Office Excel 2010. V tem programu smo izdelali tudi vse preglednice in grafikone.

Lesno zalogo smo računali po prirejenih Schaefferjevih ter vmesnih tarifah (Kotar, 2003). Pri smreki smo upoštevali tablice za enodobne gozdove (E 8), pri ostalih vrstah pa tablice za gozdove prehodnih oblik: jelka V 7/8, bukev V 8, plemeniti listavci (gorski javor, gorski brest, lipa) V 8/9 (Gozdnogospodarski načrt ..., 2014).

Svetlobne razmere smo izrazili v $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ in jih s primerjavo sevanja na odprtem pretvorili v deleže razpršene svetlobe (FDIF).

Razlike med tehnologijama smo preverjali z neparametričnim Mann-Whitneyevim U testom v programu Statistica 7 in Brandt-Snedecorjevim testom.

3.7 1 Regresijske analize

Za analizo odvisnosti relativne mortalitete in poškodovanosti mladja od načinov dela in drugih dejavnikov (naklon terena, lesna zaloga, položaj ploskev glede na prometnice) smo uporabili modele regresijske analize. Ker so bile vzorčne ploskve ugnezdene v šestih delovnih poljih, smo uporabili linearne mešane modele (angl. Linear mixed models – LMM). Pred začetkom modeliranja smo preverili normalnost podatkov. V kolikor smo z grafičnimi analizami zaznali odstopanja, smo uporabili ustrezne transformacije, za deleže večinoma arcus sinus transformacijo, za gostote korensko ali logaritemsko. Preverili smo tudi multikolinearnost in izločili vse spremenljivke z VIF (angl. variance inflation factor), večjim od 5 (Zuur in sod., 2009). Modeliranje smo začeli z modelom z vsemi pomembnimi pojasnjevalnimi spremenljivkami, ki je že vključeval naključni dejavnik delno polje. Potem smo postopno izločali neznačilne spremenljivke (Bolker in sod., 2009; Zuur in sod., 2009) ter primerjali AIC- in BIC-vrednosti in značilnost modela. Kot končne, smo izbrali modele

z najnižjimi vrednostmi AIC in BIC. Za validacijo modelov smo uporabili različne grafične metode (Zuur in sod., 2009; Robinson in Hamann, 2010). Analize smo izpeljali v programskem okolju R različica 3.0.2 ob uporabi knjižnice "nlme" (Pinheiro in Bates, 2000).

4 REZULTATI

4.1 STANJE PRED UKREPOM

4.1.1 Lesna zaloga in mešanost sestojev

Preglednica 1: Mešanost drevesnih vrst matičnega sestoja pred ukrepom

Table 1: Species mixture of shelterwood before treatment

Drevesna vrsta	Število popisanih dreves	Število dreves na ha	Lesna zaloga (m ³ /ha)	Delež v lesni zalogi (%)
Smreka	387	99	345,4	66,4
Jelka	31	8	10,6	2,1
Bukev	189	48	75,0	14,4
Gorski javor	189	48	87,8	16,9
Gorski brest	4	1	0,5	0,1
Lipa	1	0	0,5	0,1
Skupaj	801	204	520	100

Na ploskvah za odrasel sestoj (skupaj 98 ploskev) smo popisali 801 dreves. Povprečna lesna zaloga sestojev pred ukrepom je znašala 520 m³/ha in povprečno število dreves 204 na 1 ha. Povprečna lesna zaloga po delovnih poljih (preglednica 2) je pred sečnjo znašala od 459 (delovno polje A2) do 653 m³/ha (B2). Lesna zaloga je bila v povprečju za 63 m³/ha večja v delovnih poljih klasične sečnje, kar je naključje, saj smo tehnologijo po delovnih poljih določili naključno.

Analiza ploskev je pokazala, da je v lesni zalogi sestoja prevladovala smreka s 66 %, daleč za njo sta bila gorski javor s 17 % in bukev z dobrimi 14 %, jelka pa je v zalogi predstavljala komaj 2 %. Gorski brest in lipa sta bila zelo redka. Smreka je imela večji delež v lesni zalogi, kot je nakazoval njen delež po številu osebkov v sestoji, kar pomeni, da je imela smreka v povprečju večji volumen kot ostale vrste. Sklepamo, da je to predvsem posledica načina nastanka teh sestojev, ko so konec 19. st. po poseku na golo zasadili smreko, listavci in jelka pa so se pozneje nasemenili sami.

Delež iglavcev v lesni zalogi je znašal od 64,0 % v A2 do največ 87,5 % v B3 delovnem polju, delež listavcev pa posledično od 12,5 do 36,0 %. V povprečju je bilo pri klasični

sečnji več iglavcev predvsem zaradi velikega deleža iglavcev v polju B3. Vsa ostala delovna polja so bila glede na delež iglavcev precej podobna. Jelke je bilo v deležu iglavcev 2 %, kar kaže analiza mešanosti drevesnih vrst (preglednica 1).

Preglednica 2: Lesna zaloga pred sečnjo po delovnih poljih

Table 2: Growing stock on logging units before logging

Delovno polje	Površina (ha)	Število ploskev	Povprečno število dreves na ha	Povprečna lesna zaloga (m^3/ha)	Delež iglavcev v lesni zalogi (%)	Delež listavcev v lesni zalogi (%)
A1	2,71	20	219	527,2	66,3	33,7
A2	2,10	17	204	458,5	64,0	36,0
A3	2,99	20	181	494,3	67,7	32,3
B1	2,19	15	213	518,3	65,3	34,7
B2	1,77	13	233	652,6	64,6	35,4
B3	2,25	13	179	497,9	87,5	12,5
A skupaj	7,80	57	201	493,3	66,4	33,6
B skupaj	6,21	41	209	556,3	71,1	28,9
Skupaj	14,01	98	204	520,0	68,5	31,5

A – prilagojena strojna sečnja, B – klasična sečnja, v vseh navedenih preglednicah in slikah

A- combined mechanized logging, B- motor-manual cutting, in all following tables and figures

4.1.2 Značilnosti odkazila

Analiza odkazilnih manualov (terenskih zapisnikov) je pokazala, da smo v delovnih poljih prilagojene strojne sečnje s skupno površino 7,80 ha označili skupaj 1.262 m^3 lesa, v poljih klasične sečnje na 6,21 ha pa 986 m^3 lesa (preglednica 3). V povprečju smo označili $162 \text{ m}^3/\text{ha}$ ali 33 % lesne zaloge pri prilagojeni strojni sečnji in $159 \text{ m}^3/\text{ha}$ ali 29 % lesne zaloge pri klasični sečnji. Razlika v jakosti sečnje je bila verjetno posledica dodatne označitve sečnih poti pri prilagojeni strojni sečnji, saj pri odkazilu nismo delali razlik glede na predvideno tehnologijo.

Delež iglavcev v odkazilu je v povprečju znašal 61 % pri prilagojeni strojni sečnji in 64 % pri klasični sečnji. Povprečni volumen (preglednica 3) označenih iglavcev je znašal od $2,7 \text{ m}^3$ v A1 do $4,0 \text{ m}^3$ v B2 enoti, v povprečju $3,2 \text{ m}^3$ pri prilagojeni strojni sečnji in $3,4 \text{ m}^3$ pri klasični sečnji. Povprečni volumen označenih listavcev je bil v delovnih poljih prilagojene strojne sečnje skoraj polovico manjši od povprečnega volumna iglavcev, v

delovnih poljih klasične sečnje pa več kot polovico manjši, saj je v povprečju znašal 1,5 m³.

Preglednica 3: Porazdelitev odkazila po delovnih poljih iz terenskega zapisnika

Table 3: Structure of planed cut from manual by logging units

Delovno polje	Odkazilo iglavcev (m ³)	Odkazilo listavcev (m ³)	Skupno odkazilo (m ³)	Povprečno drevo iglavcev (m ³)	Povprečno drevo listavcev (m ³)	Skupno odkazilo (m ³ /ha)	Delež od lesne zaloge (%)
A1	233,1	182,0	415,1	2,7	1,6	153,2	29,3
A2	154,6	143,7	298,3	2,8	1,8	142,0	31,3
A3	377,3	171,4	548,6	3,7	1,7	183,5	37,5
B1	190,1	165,7	355,8	3,0	1,7	162,5	31,6
B2	169,6	112,8	282,6	4,0	1,3	159,7	24,7
B3	274,8	73,2	348,0	3,4	1,4	154,7	31,2
A skupaj	765,0	497,1	1.262,0	3,2	1,7	161,8	33,0
B skupaj	634,8	351,7	986,4	3,4	1,5	158,8	28,9

A – prilagojena strojna sečnja, B – klasična sečnja

4.1.3 Prometnice

Pri snemanju sekundarnih prometnic in umestitvi mreže ploskev smo ugotovili, da se ne moremo zanašati na ortofoto posnetke in potek mej oddelkov, saj smo ugotovili neskladje površin. Površina objekta na kartah je večja od dejanske površine na terenu za 2,07 ha, zato se je teoretično število ploskev popisa pomladka na terenu zmanjšalo za 48 ploskev, največ na južni in vzhodni meji oddelka oz. našega objekta. Podatek je zanesljiv, ker je bila postavitev ploskev izvedena z natančnejšim GPS sprejemnikom (Trimble GeoXT), merskim trakom in kompasom. Podobno neskladje smo ugotovili tudi na Mirni gori (Judnič, 2006).

S pomočjo GPS sprejemnika smo posneli vse sekundarne prometnice: primarne in sekundarne vlake, pri prilagojeni strojni sečni tudi sečne poti. Zaradi napake GPS sprejemnika se trase sekundarnih prometnic in mreža ploskev niso ujemale, zato smo pri popisu ploskev po sečnji popravili karto vlak in sečnih poti glede na položaj ploskev, saj smo mrežo ploskev (20 x 15 m) zakoličili s pomočjo kompasa, merskega traku in natančnejšega GPS sprejemnika.

Vse vlake so bile že izdelane, sečne poti pa smo za potrebe prilagojene strojne sečnje označili na novo po označitvi drevja za posek. Mejno vlako smo šteli pri vsakem delovnem polju, tako da smo upoštevali polovico dolžine odseka vlake, ki pripada meji posameznega polja. Gozdne ceste pri odprtosti nismo upoštevali, ker v pretežnem delu ni produktivna, ker ima na strani objekta visoko odkopno brežino, ki onemogoča sečnjo in spravilo pri prilagojeni strojni sečnji ter spravilo pri klasični sečnji.

Odprtost delovnih polij z vlakami je znašala od 148 m/ha v delovnem polju B3 do največ 212 m/ha v A2 (preglednica 4), v povprečju v delovnih poljih prilagojene strojne sečnje 203 in klasične sečnje 173 m/ha. T test je pokazal, da razlike med delovnimi polji A in B v odprtosti z vlakami niso statistično značilne ($t = -1.8351$, $df = 2.805$, $p = 0.1702$). V delovnih poljih A smo za potrebe prilagojene strojne sečnje dodatno označili 117–157 m/ha sečnih poti, zato je odprtost s sekundarnimi prometnicami pri prilagojeni strojni sečnji v povprečju znašala 343 m/ha.

Preglednica 4: Gostote sekundarnih prometnic po delovnih poljih

Table 4: Skid trail density on logging units

Delovno polje	Obstoječe vlake (m/ha)	Sečne poti (m/ha)	Odprtost (m/ha)
A1	190	157	347
A2	212	117	329
A3	209	140	349
B1	200	0	200
B2	172	0	172
B3	148	0	148
A skupaj	203	140	343
B skupaj	173	0	173

A – prilagojena strojna sečnja, B – klasična sečnja

Če upoštevamo, da širina vlak in sečnih poti v povprečju meri 4 m, je bilo na našem objektu pri klasični sečnji motenih v povprečju 7 % rastne površine, pri prilagojeni strojni sečnji pa 14 %.

4.1.4 Pomladek

Na 394 ploskvah celotnega objekta smo popisali 5.566 osebkov pomladka. Poleg teh ploskev je pri zakoličevanju 17 središč ploskev padlo ravno na prometnico (14 pri prilagojeni strojni sečnji, 3 pri klasični sečnji), 17 ploskev pa je bilo brez pomladka (11 pri prilagojeni strojni sečnji, 6 pri klasični sečnji). Glede na prazne ploskve lahko sklepamo, da je bilo 4 % površine nepomlajene. Pomladek na sekundarnih prometnicah, še posebej na vlakah, nima vloge v prihodnjem razvoju, saj so vlake namenjene spravilu lesa, zato teh ploskev nismo upoštevali pri nepomlajeni površini.

Povprečna gostota pomladka je, z upoštevanjem praznih ploskev, ki niso bile na prometnici, znašala v delovnih poljih prilagojene strojne sečnje v povprečju 43.150 osebkov na 1ha in pri klasični sečnji 43.100 osebkov na 1 ha.

Mešanost drevesnih vrst v pomladku je bila podobna v vseh delovnih poljih, tako na ploskvah prilagojene strojne sečnje kot na ploskvah klasične sečnje. Prevladovala sta smreka s 36 % in gorski javor s 36 %, bukke je bilo 17 %, gorskega bresta 6 %, jelke 5 % in lipe ter jerebika skupaj manj kot 1 %.

Preglednica 5: Mešanost pomladka po delovnih poljih in tehnologijah pred sečnjo

Table 5: Species mixture of young forest on logging units before treatment

Delovno polje	Smreka (%)	Jelka (%)	Bukev (%)	Gorski javor (%)	Gorski brest (%)	Lipa (%)	Jerebika (%)
A1	25,8	4,5	16,6	45,5	7,5	0,0	0,1
A2	42,2	5,4	14,9	33,2	4,1	0,1	0,0
A3	37,7	3,7	20,3	33,4	4,6	0,2	0,1
B1	31,7	8,8	18,2	38,9	2,4	0,0	0,0
B2	38,4	7,1	21,3	27,2	5,2	0,1	0,4
B3	41,0	2,6	10,1	34,1	12,1	0,0	0,2
A skupaj	35,1	4,4	17,8	37,2	5,4	0,1	0,1
B skupaj	36,6	6,3	16,3	34,2	6,4	0,0	0,2
Skupaj	35,8	5,3	17,1	35,8	5,8	0,1	0,1

A – prilagojena strojna sečnja, B – klasična sečnja

Preglednica 6 prikazuje poškodovanost in porazdelitev pomladka pred sečnjo po višinskih razredih. Preko 80 % pomladka je segalo do višine 50 cm ali 91,6 % do višine 130 cm. V povprečju je bilo 1,1 % osebkov poškodovanih iz prejšnjih pomladitvenih sečenj in 1,9 % zaradi divjadi. Pomladek do višine 50 cm je bil najbolj poškodovan, nato pa se je delež poškodovanih osebkov po višinskih razredih zmanjševal.

Preglednica 6: Razmestitev in poškodovanost pomladka po višinskih razredih pred ukrepom

Table 6: Distribution and damage of young forest according to height class before treatment

Pomladek	Do 50 cm	50–130 cm	130–300 cm	300 cm–5 cm DBH	Skupaj
Število osebkov	4.461	642	348	115	5.566
Delež po višinskih razredih (%)	80,1	11,5	6,3	2,1	100
Poškodovani pri sečnji (%)	1,3	0,8	0,3	0,0	1,1
Poškodbe zaradi divjadi (%)	2,1	1,1	0,6	0,0	1,9
Nepoškodovani	96,6	98,1	99,1	100,0	97,0

4.1.5 »Čakalci« (druga debelinska stopnja)

Povprečno je bilo na ploskvah prilagojene strojnje sečnje 125 osebkov na 1 ha in na ploskvah klasične sečnje 67 osebkov na 1 ha. Ta drevesa so bila po sestoji razporejena neenakomerno (posamič ali v skupinah), saj smo popisali 14 ploskev (14 %), kjer je bilo število osebkov na ploskvi večje od 10 (3 ploskve od teh celo nad 20 osebkov), po drugi strani pa je bilo kar 27 ploskev (27 %) brez osebkov in 28 (28 %) ploskev z enim ali dvema osebkom. Rezultati s ploskev kažejo, da je obnova sestojev potekala postopoma v šopih ali skupinah, zato je bil pomladek na mestih v razvojni fazi letvenjaka, na pretežnem delu površine pa v razvojni fazi mladja ali gošče.

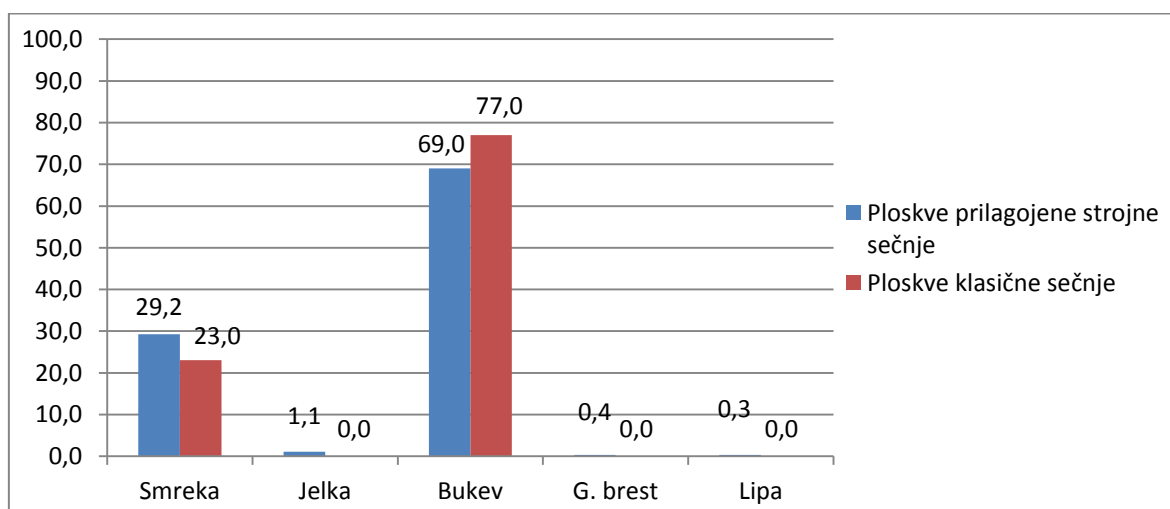
Preglednica 7: Pregled ploskev in število »čakalcev« (od 5 do 10 cm DBH) po delovnih poljih

Table 7: Distribution of trees with DBH between 5 and 10 cm within logging units on each treatment

Delovno polje	Število popisanih ploskev	Prazne ploskve	Število popisanih dreves	Povprečno število dreves na ploskev	Povprečno število dreves na ha
A1	20	3	95	5	119
A2	17	1	103	6	151
A3	20	7	86	4	108
B1	16	6	37	2	58
B2	13	6	24	2	46
B3	13	4	52	4	100
A skupaj	57	11	284	5	125
B skupaj	42	16	113	3	67

A – prilagojena strojna sečnja, B – klasična sečnja

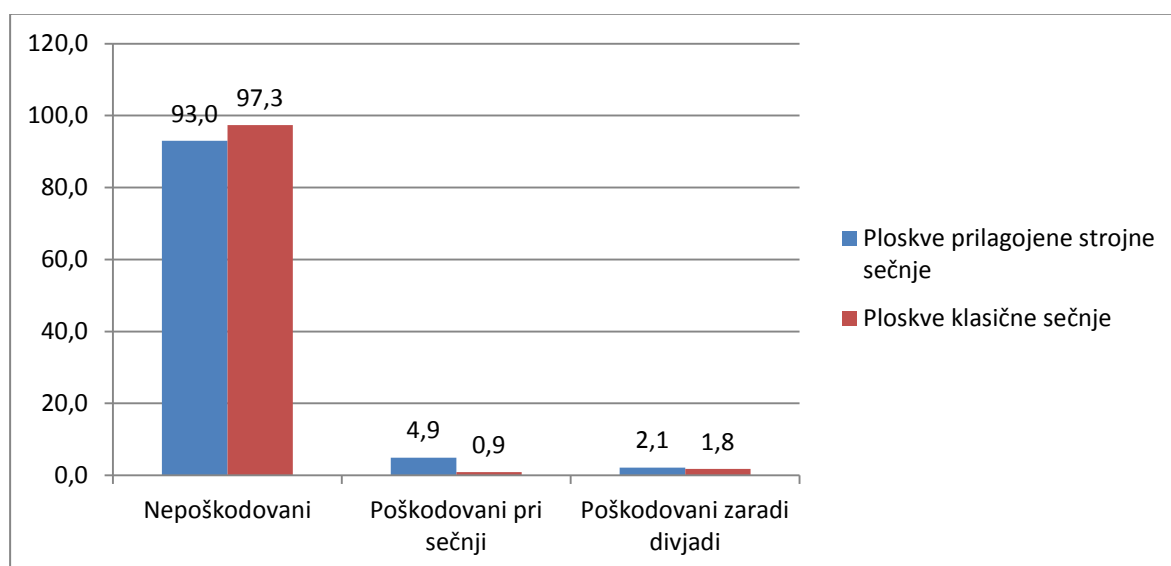
Slika 3 prikazuje deleže drevesnih vrst pri popisu »čakalcev«. Kljub temu da je bilo pri obeh načinih pridobivanja lesa popisanih različno število »čakalcev«, pa je bila njihova mešanost po drevesnih vrstah podobna. Prevladovala je bukev z 69 % pri prilagojeni strojni sečnji in 77 % pri klasični sečnji, nato smreka z 29 in 23 % v istem zaporedju. Jelko (3 osebk) smo našli le na ploskvah pri prilagojeni strojni sečnji, kar nas je presenetilo, saj smo pričakovali večji delež jelke. Gorski brest in lipo (po 1 osebek) smo prav tako zabeležili le na ploskvah pri prilagojeni strojni sečnji. Po mešanosti drevesnih vrst so bile pestrejšje površine, ki so bile dodeljene prilagojeni strojni sečnji, česar nismo pričakovali.



Slika 3: Drevesna sestava (v %) druge debelinske stopnje pred sečnjo

Figure 3: Tree species composition (%) of 2nd DBH class before logging

Pred našim poskusom so bili »čakalci« redko poškodovani (slika 4), v povprečju 7,0 % osebkov na ploskvah za prilagojeno strojno sečnjo in 2,7 % za klasično sečnjo. Pri prilagojeni strojni sečnji je bilo več poškodovanih osebkov iz prejšnjih sečenj, pri klasični sečnji pa celo največ zaradi divjadi (slika 4).



Slika 4: Poškodovanost (v %) druge debelinske stopnje pred sečnjo

Figure 4: Damage structure (%) of 2nd DBH class before logging

Delež »čakalcev« se je glede na položaj v sestoju povečal od 18,4 % osebkov ob prometnicah (vlaka ali sečna pot), 29,2 % v sestoju do 52,4 % na razlesnici. Delež poškodovanih osebkov se je prav tako povečal z oddaljenostjo od prometnice. Najmanj »čakalcev« je bilo poškodovanih ob prometnicah (19,4 %), nato v sestoju (38,7 %) in največ na razlesnici (41,9 %). Delež poškodovanih osebkov glede na položaj v sestoju je bil največji v sestoju (10,3 %), manjši ob prometnicah (8,2 %) in najmanjši na razlesnici (6,3 %).

4.2 STANJE PO UKREPU

Po končani sečnji in spravilu smo na istih ploskvah kot pred sečnjo po opisanih metodah popisali poškodovanost odraslega sestoja, poškodovanost pomladka in poškodovanost »čakalcev«.

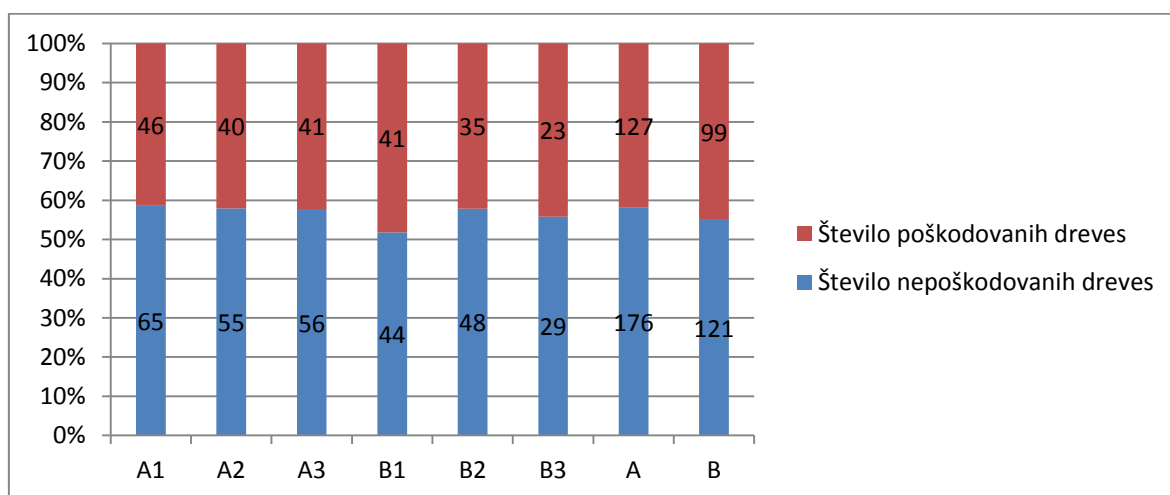
4.2.1 Stanje matičnega sestoja

Vsa označena drevesa so bila posekana; poleg označenih dreves je bilo v delovnih poljih prilagojene strojne sečnje dodatno posekanih 16 dreves, od tega jih je 9 posekal stroj in 7 sekač. V delovnih poljih klasične sečnje je bilo dodatno posekanih 8 dreves.

Pri prilagojeni strojni sečnji smo želeli določiti delež označenih dreves, ki jih je posekal sekač, zato smo jih pri odkazilu, po presoji revirnega gozdarja, na terenu posebej označevali (s črko K) in jih beležili. Iz odkazilnih manualov smo izračunali, da je bilo za sekača označenih 52 % dreves ali 70 % bruto mase označenega drevja. Tudi pri popisu po sečnji smo vsakemu panju na ploskvi določili način sečnje ter ugotovili, da je sekač posekal 71 % označenih dreves, katerih volumen je znašal 81 % volumna odkazanih dreves na ploskvah.

4.2.1.1 Poškodovanost matičnega sestoja

Od 523 dreves na 98 analiziranih ploskvah je bilo po ukrepu 226 dreves poškodovanih, kar pomeni v povprečju 43,2-% poškodovanost sestojev. V delovnih poljih A s prilagojeno strojno sečnjo, je znašala povprečna poškodovanost matičnega sestoja 41,9 %, v delovnih poljih klasične sečnje (B) pa 45,0 %.



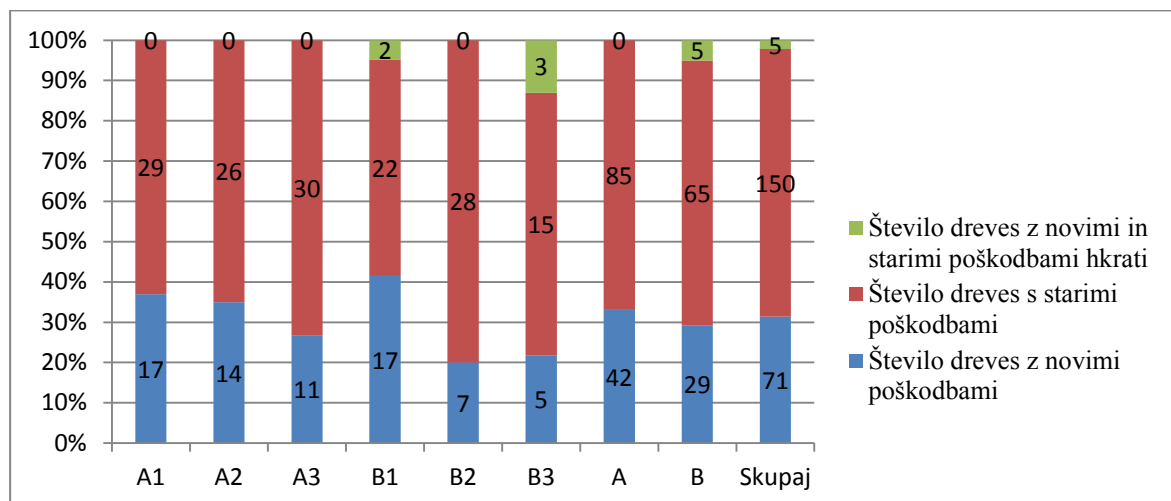
A – prilagojena strojna sečnja, B – klasična sečnja

Slika 5: Število (vrednosti v stolpcih) in delež poškodovanih dreves (Y os) po delovnih poljih in skupaj po sečnji in spravilu

Figure 5: Number (columns) and percentage of damaged trees (Y-axis) on logging units after treatment

Ob primerjavi deležev poškodovanih dreves po ploskvah z Mann-Whitneyjevim U testom nismo potrdili značilnih razlik med obema tehnologijama ($U = 1033,0$; $p = 0,9812$).

4.2.1.2 Starost poškodb



A – prilagojena strojna sečnja, B – klasična sečnja

Slika 6: Število (v stolpcih) in delež poškodovanih dreves (Y os) glede na starost poškodbe po delovnih poljih

Figure 6: Structure of damage (number in columns, % on the Y-axis) by logging units according to damage age: new, old, new and old at the same tree

Pri analizi starosti poškodb smo ugotovili, da so v matičnem sestoku po ukrepu prevladovala stare poškodbe (v povprečju 66,4 %), pri prilagojeni strojni sečnji 66,9 % in pri klasični sečnji 65,7 %. Dreves, ki bi imela hkrati novo in staro poškodbo, je bilo malo, zabeležena so bila le pri klasični sečnji. Delež dreves z novo poškodbo je znašal od 20,0 % v delovnem polju B2 do največ 46,3 % v B1, če prištejemo še delež dreves s staro in novo poškodbo. Pri prilagojeni strojni sečnji je na novo poškodovanih v povprečju 33,1 % poškodovanih dreves, pri klasični sečnji 34,3 %, od vseh analiziranih dreves po ukrepu pa je delež novih poškodb pri prilagojeni strojni sečnji 13,9 % in pri klasični sečnji 15,5 %.

Razlike v odstotkih novo poškodovanih dreves med obema tehnologijama niso bile značilne ($U = 947,50$; $p = 0,4872$).

4.2.1.3 Mesto poškodb

Da bi videli razliko v mestu poškodb med prilagojeno strojno sečnjo in klasično sečnjo, smo primerjali le drevesa z novo poškodbo. Vseh takih dreves je bilo skupaj 76; 42 na ploskvah prilagojene strojne sečnje in 34 na ploskvah klasične sečnje (slika 6).

Preglednica 8: Razmestitev novih poškodb glede na mesto poškodbe po delovnih poljih

Table 8: Structure of new damages according to the part of the tree on logging units

Delovno polje	Krošnja (%)	Veje (%)	Deblo (%)	Korenovec (%)	Korenine (%)
A1	11,8	0,0	41,2	17,6	29,4
A2	0,0	0,0	50,0	14,3	35,7
A3	9,1	18,2	36,4	36,4	0,0
B1	10,5	5,3	26,3	42,1	15,8
B2	0,0	14,3	14,3	71,4	0,0
B3	0,0	0,0	25,0	62,5	12,5
A skupaj	7,1	4,8	42,9	21,4	23,8
B skupaj	5,9	5,9	23,5	52,9	11,8

A – prilagojena strojna sečnja, B – klasična sečnja

Glede na mesto poškodbe na drevesu se kažejo razlike med obema tehnologijama. Pri prilagojeni strojni sečnji je bilo v povprečju največ poškodb na deblu (42,9 %), nato na koreninah (23,8 %) in korenovcu (21,4 %), pri klasični sečnji pa je bil v povprečju največji delež novih poškodb na korenovcu (52,9 %), nato na deblu 23,5 % in 11,8 % na koreninah. Z U testom razlik med tehnologijama glede na mesto poškodbe nismo potrdili, niti v primeru primerjave poškodb na deblu in višje ($U = 1145,00$; $p = 0,8656$), niti pri primerjavi poškodb na korenovcu in nižje ($U = 967,50$; $p = 0,1477$). Tudi z Brandt-Snedecorjevim testom nismo potrdili razlik, ker je bil izračunani χ^2 (0,251) manjši od mejnega (10,828) pri $df = 1$ in $\alpha = 0,001$.

4.2.1.4 Velikost poškodb

Tudi pri velikostnih razredih prikazujemo nove ter hkrati nove in stare poškodbe, da bi videli morebitne razlike pri obeh tehnologijah (preglednica 9).

Deleži poškodovanih dreves po velikostnih razredih (preglednica 9) so se po delovnih poljih spreminjali in se v povprečju pri obeh tehnologijah podobno razporedili. Če skupne deleže po tehnologijah rangiramo, se zamenjata le drugi in tretji velikostni razred. Pri obeh tehnologijah je bilo povzročenih največ poškodb velikosti nad 200 cm² in najmanj velikosti 30–49 cm². Poleg velikega deleža velikih poškodb je bila tudi petina poškodb v najmanjšem velikostnem razredu.

Preglednica 9: Razmestitev novih poškodb (v %) glede na velikostni razred poškodbe po delovnih poljih

Table 9: Structure of damage according to the size of damage (%) by logging units

Delovno polje	10–29 cm ²	30–49 cm ²	50–99 cm ²	100–199 cm ²	≥ 200 cm ²
A1	17,6	5,9	17,6	11,8	47,1
A2	14,3	7,1	7,1	50,0	21,4
A3	27,3	9,1	18,2	18,2	27,3
B1	31,6	10,5	15,8	10,5	31,6
B2	14,3	0,0	14,3	28,6	42,9
B3	0,0	12,5	12,5	25,0	50,0
A skupaj	19,0	7,1	14,3	26,2	33,3
B skupaj	20,6	8,8	14,7	17,6	38,2
A vse poškodbe	15,0	7,9	28,3	19,7	29,1
B vse poškodbe	16,2	8,1	15,2	19,2	41,4

A – prilagojena strojna sečnja, B – klasična sečnja

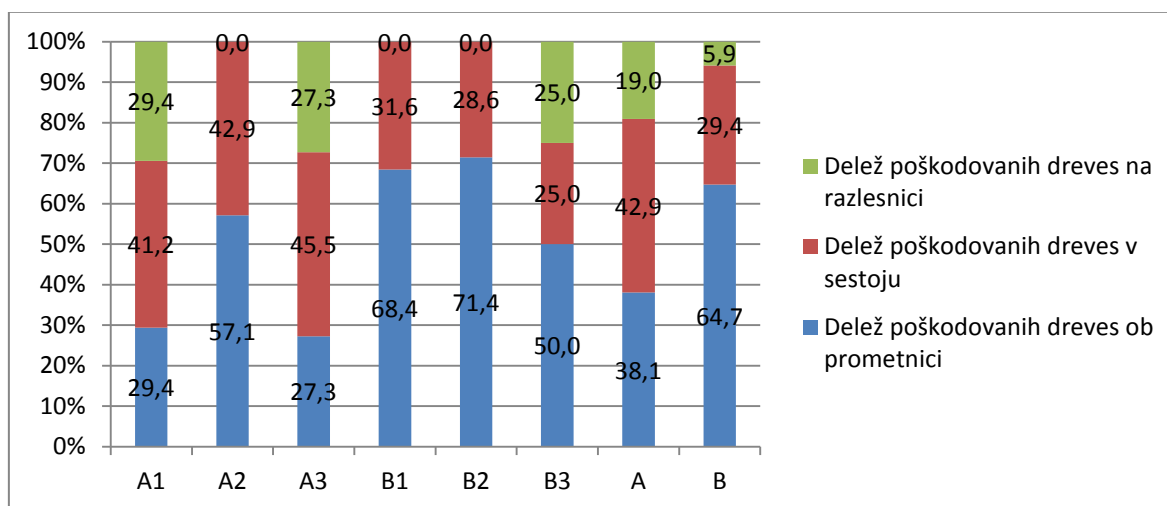
Če pri analizi velikosti poškodb upoštevamo vse poškodbe s ploskev (zadnji vrsti v preglednici 9), se delež poškodb nad 50 cm² pri obeh tehnologijah poveča, zato sklepamo, da so bile stare poškodbe v povprečju večje od novih poškodb.

Pri primerjavi deležev poškodovanih dreves po velikostnih razredih na ploskvah z Mann-Whitneyjevim U testom nismo potrdil značilnih razlik med obema tehnologijama ($U = 5603,0$; $p = 0,1611$). Tudi z Brandt-Snedecorjevim testom nismo potrdili razlik, ker je bil izračunani $\chi^2 (0,832)$ manjši od mejnega ($18,467$) pri $df = 4$ in $\alpha = 0,001$.

4.2.1.5 Lega poškodovanih dreves v sestoji

Slika 7 prikazuje, da so bili deleži poškodovanih dreves glede na lego dreves v sestoji po delovnih poljih različni, v povprečju je bilo pri prilagojeni strojni sečnji največ poškodovanih dreves v sestoji (42,9 %), nato ob vlakah in sečnih poteh (38,1 %) ter

najmanj na razlesnici 19,0 %, čeprav je bil kar v dveh delovnih poljih (A1 in A3) enak delež poškodovanih dreves ob prometnicah in na razlesnici. Pri klasični sečnji je v vseh delovnih poljih in v povprečju največ poškodb ob vlakah, nato v sestoju in najmanj na razlesnici.



A – prilagojena strojna sečnja, B – klasična sečnja

Slika 7: Deleži na novo poškodovanih dreves po delovnih poljih glede na položaj v sestoju

Figure 7: Proportion of new tree damages according to the stand position on logging units

Če glede na položaj dreves v sestoju računamo delež vseh poškodovanih dreves (nove in stare poškodbe) od vseh dreves na ploskvah, ugotovimo, da je v delovnih poljih A ob prometnicah v povprečju poškodovanih 56 % dreves, v sestoju 52 % in na razlesnici 31 % dreves. V delovnih poljih B, kjer smo uporabili klasično sečnjo, je trenutno ob vlakah poškodovanih 57 % dreves, v sestoju 36 % in na razlesnici 32 % vseh popisanih dreves.

4.2.1.6 Regresijska analiza

Delež na novo poškodovanih odraslih dreves je bil v značilni povezavi s položajem na ploskvi in z jakostjo poseka (preglednica 10). Glede položaja ploskev je bil najvišji delež poškodovanih dreves na ploskvah v sestoju, sledile so ploskve ob prometnicah in ploskve ob razlesnici. Delež na novo poškodovanih dreves je nakazoval tudi negativno parabolično povezavo z jakostjo poseka (slika 8 zgoraj levo). Tako je delež poškodovanih dreves najprej naraščal, pri srednjih vrednostih deleža poseka pa je pričel upadati (slika 8 zgoraj desno). Točka preloma ni izrazita in se nahaja med 30 in 40-% jakostjo poseka na

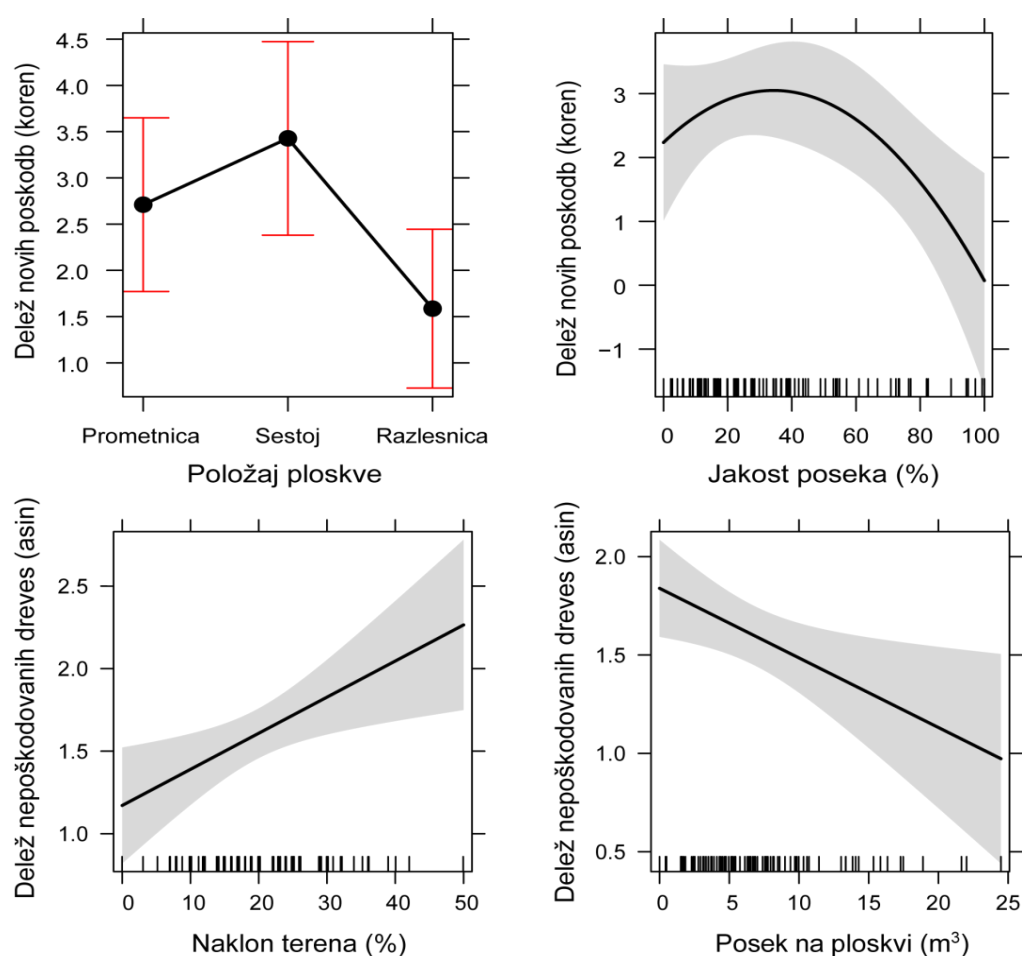
ploskvah. Delež nepoškodovanih dreves je bil v značilni povezavi z naklonom terena in posekom na ploskvi (preglednica 10): z naklonom terena je naraščal (slika 8 levo spodaj), medtem ko je z jakostjo poseka upadal (slika 8 desno spodaj).

Preglednica 10: Rezultati linearnih mešanih modelov (LMM) za poškodovanost in nepoškodovanost odraslih dreves po izpeljavi ukrepov s prilagojeno strojno in klasično sečnjo v odvisnosti od položaja ploskve in poseka na ploskvi. Kot naključni faktor so upoštevana posamezna delovna polja ($N = 6$). Številke v oklepaju pomenijo standardno napako (SE).

Table 10: Results of linear mixed models (LMM) for damage and undamaged trees after different treatments depending on the position of the plot and harvest intensity on the plot. Logging units ($N = 6$) were taken into account as a random factor. Figures in brackets represent the standard error (SE).

	Odvisna spremenljivka			
	Delež na novo poškodovanih dreves	p	Delež nepoškodovanih dreves	p
<i>Število ploskev</i>	98		98	
<i>Naključni dejavnik</i>				
SD (odsek/preostanek)	1,25e-4/2,69		1,89e-5/0,75	
	<i>Test za fiksne dejavnike (SE)</i>			
Odsek na osi	2,49 (0,74)	0,0011	1,41 (0,19)	<0,0001
Položaj pl. blizu promet. vs sesto	/	/	/	/
razlesnica	0,72 (0,71)	0,3151	/	/
Delež poseka (%)	-1,12 (0,65)	0,0853*	/	/
Delež poseka (%)^2	0,05 (0,03)	0,1437	/	/
Naklon	-6,91e-4 (3,20e-4)	0,0335	/	/
Posek na ploskvi	/	/	0,02 (0,01)	0,0088
	/	/	-0,04 (0,01)	0,0169
	<i>Informacijska merila za model</i>			
AIC	501,5		246,8	
BIC	519,2		259,6	

* dejavnik značilen z anova testom ($p = 0,0109$)



Slika 8: Zgoraj: Modelirane vrednosti za delež novih poškodb na odraslem drevju v povezavi s položajem ploskve in jakostjo poseka na ploskvi. Spodaj: Modelirane vrednosti za delež nepoškodovanih odraslih dreves v povezavi z naklonom terena in količino poseka na ploskvi. Oznaka v oklepaju za odvisno spremenljivko pomeni način transformacije.

Figure 8: Above: Effect plots for the proportion of new injuries on mature trees in conjunction with the position of the sample plot and the intensity of felling on the sample plot. Bottom: Effect plots for undamaged mature trees in relation to the terrain slope and the intensity of felling on the sample plot. Designation in brackets for the dependent variable represents the way of transformation.

4.2.2 Poškodovanost pomladka

V času od popisa pred sečnjo do popisa po sečnji (3 meseci) se je delež poškodovanih osebkov zaradi divjadi v povprečju povečal z 1,9 % na 4,6 % (od 104 na 258 osebkov). Po sečnji (preglednica 11) je poškodovanost pomladka (brez vpliva divjadi) v delovnih poljih prilagojene strojne sečnje znašala 33,5 % (1.007 od 3.008 osebkov) in v delovnih poljih klasične sečnje 38,1 % (975 od 2.558 osebkov).

Preglednica 11: Poškodovanost pomladka po višinskih razredih po ukrepu

Table 11: Damage of young forest according to height class after treatment

Tehno- logija	Vrsta in stopnja poškodbe	Analiza pomladka	Do 50 cm	50–130 cm	130– 300 cm	300 cm–5 cm DBH	Skupaj
Skupaj		Število osebkov	4.457	650	342	117	5.566
	Vrsta poškodbe	Nepoškodovani (%)	55,5	77,7	75,5	74,4	59,8
		Poškodovani zaradi divjadi (%)	5,2	2,5	2,6	1,7	4,6
		Poškodovani pri ukrepu (%)	39,3	19,8	21,9	23,9	35,6
	Stopnja poškodbe	Lažje poškodovani (%)	2,1	5,1	7,9	7,7	2,9
		Težje poškodovani (%)	37,2	14,7	14,0	16,2	32,7
		Uničeni (%)	37,1	14,5	9,4	13,7	32,3
A		Število osebkov	2.404	353	200	51	3.008
		Delež po višinskih razredih	79,9	11,7	6,6	1,7	100
	Vrsta poškodbe	Nepoškodovani (%)	58,3	80,5	78,0	82,4	62,6
		Poškodovani zaradi divjadi (%)	4,2	2,0	4,5	0,0	3,9
		Poškodovani pri ukrepu (%)	37,5	17,6	17,5	17,6	33,5
	Tip poškodbe pri ukrepu	Polomljen vrh ali steblo (%)	1,8	14,5	22,9	33,3	4,0
		Poškodovane veje (%)	0,3	3,2	17,1	0,0	0,7
		Poškodbe na obodu debla (%)	0,2	12,9	22,9	33,3	2,1
		Izruvani, manjkajoči osebki (%)	37,6	35,5	11,4	33,3	36,5
		Prekriti osebki s sečnimi ostanki ali prstjo (%)	60,0	33,9	25,7	0,0	56,7
	Stopnja poškodbe	Lažje poškodovani (%)	2,6	5,4	7,0	7,8	3,3
		Težje poškodovani (%)	34,9	12,2	10,5	9,8	30,2
		Uničeni (%)	34,9	11,6	10,5	7,8	30,1
		Število osebkov	2.053	297	142	66	2.558
		Delež po višinskih razredih	80,3	11,6	5,5	2,6	100
	Vrsta poškodbe	Nepoškodovani (%)	52,4	74,4	71,8	68,2	56,4
		Poškodovani zaradi divjadi (%)	6,3	3,0	0,0	3,0	5,5
		Poškodovani pri ukrepu (%)	41,3	22,6	28,2	28,8	38,1
B	Tip poškodbe pri ukrepu	Polomljen vrh ali steblo (%)	1,9	23,9	57,5	52,6	6,7
		Poškodovane veje (%)	1,1	1,5	0,0	10,5	1,2
		Poškodbe na obodu debla (%)	1,1	3,0	10,0	21,1	1,9
		Izruvani, manjkajoči osebki (%)	45,0	32,8	17,5	5,3	42,3
		Prekriti osebki s sečnimi ostanki ali prstjo (%)	51,0	38,8	15,0	10,5	47,9
	Stopnja poškodbe	Lažje poškodovani (%)	1,5	4,7	9,2	7,6	2,4
		Težje poškodovani (%)	39,8	17,9	19,0	21,2	35,7
		Uničeni (%)	39,7	17,9	7,7	18,2	34,9

A – prilagojena strojna sečnja, B – klasična sečnja

Razporeditev pomladka po višinskih razredih je bila pri obeh načinih pridobivanja podobna (preglednica 11). Najbolj so bili poškodovani osebki do višine 50 cm, ker so delavci bolj pazili na višji pomladek.

Po tipu poškodbe so pri obeh tehnologijah (preglednica 11) prevladovali prekriti osebki s sečnimi ostanki ali prstjo, 56,7 % pri prilagojeni strojni sečnji in 47,9 % pri klasični sečnji, ter izruvani ali manjkajoči osebki s 36,5 in 42,3 % v istem zaporedju. Največji delež prekritih in izruvanih osebkov je bil do višine 50 cm in se je z višino praviloma zmanjševal. Z višino se je povečeval delež polomljenih osebkov in osebkov s poškodbo na obodu debla. Po deležu je bilo pri obeh tehnologijah najmanj osebkov s poškodovanimi vejami (0,7 in 1,2 %).

Osebkov z lažjo poškodbo (stopnja a) je bilo manj kot osebkov s težjo poškodbo (b). Delež lažje poškodovanih osebkov se je v primerjavi s težje poškodovanimi z višino pomladka povečeval, kar je ugodno, saj imajo ti osebki možnost preživetja, medtem ko imajo bolj poškodovani osebki manj možnosti za preživetje, še posebej izruvani in prekriti osebki ter osebki s polomljenim deblom v spodnji polovici, ki smo jih posebej prikazali kot uničene (mrtve) osebke.

Pomladek je bil v vseh višinskih razredih bolj poškodovan po ukrepu v delovnih poljih klasične sečnje kot v delovnih poljih prilagojene strojne sečnje (preglednica 11). Največje razlike so bile pri poškodovanem pomladku v zgornjima višinskima razredoma (10,7 in 11,2 odstotne točke). Podobno je bil večji delež težje poškodovanih osebkov pri klasični sečnji, zopet več v zgornjima višinskima razredoma (8,5 in 11,4 odstotne točke). Posledično je bil delež lažje poškodovanih osebkov po ukrepu večji pri prilagojeni strojni sečnji, z izjemo višinskega razreda 130–300 cm.

Z višino pomladka se je zmanjševal tudi delež osebkov, poškodovanih zaradi divjadi. Poškodb divjadi v nadaljnjih delitvah in izračunih nismo več upoštevali, ker niso povezane s tehnologijama.

Zaradi manjšega števila osebkov smo v preglednici 12 združili zgornja višinska razreda v višinski razred nad 130 cm. Iz preglednice je razvidna razporeditev drevesnih vrst po višinskih razredih in po poškodovanosti. Seštevek deležev v vrstici znaša 100.

Če primerjamo vsote deležev posamezne drevesne vrste po višinskih razredih, ugotovimo, da je bila bukev dokaj enakomerno razporejena po vseh višinskih razredih, ostalih vrst pa je bilo v višinskem razredu do 50 cm preko 80 %, v višjih razredih pa posledično manj. Dobro kaže smreki, manj ugodno stanje pa je pri jelki, katere je bilo v višini od 50 do 130 cm 12 % v poljih A in 6 % v poljih B, nad 130 cm pa le še 2 oz. 1 %. Podobno stanje kot pri jelki je bilo pri gorskem brestu, gorskega javorja pa nad višino 50 cm skoraj nismo našli (skupaj 8 osebkov).

Iz preglednice 12 lahko razberemo tudi deleže poškodovanih osebkov posamezne drevesne vrste po vrsti in stopnji poškodbe ter višinskih razredih pri posamezni tehnologiji A in B. Vidimo, da je divjad bolj objedala nižji pomladek, najbolj gorski brest, jelko in gorski javor, kar je z vidika preraščanja teh vrst v višje razrede neugodno.

Preglednica 12: Poškodovanost pomladka po drevesnih vrstah in treh višinskih razredih (v %)

Table 12: Damage of young forest according to tree species and height class after treatment (%)

Pomladek %	Do 50 cm				50 do 130 cm				Nad 130 cm				
	L	T	D	N	L	T	D	N	L	T	D	N	
A	Smreka	1,5	22,3	0,0	59,2	0,6	0,9	0,0	11,6	0,1	0,1	0,8	2,9
	Jelka	0,8	18,8	10,5	55,6	0,0	3,0	0,0	9,0	0,0	0,8	0,0	1,5
	Bukev	1,1	5,1	0,0	22,3	2,1	5,1	0,4	25,7	3,0	4,5	0,2	30,7
	G. javor	3,3	43,8	4,2	48,3	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
	G. brest	1,8	36,5	24,6	25,7	1,2	0,6	3,0	5,4	0,6	0,0	0,0	0,6
B	Smreka	1,1	26,2	0,1	53,6	1,1	0,9	0,0	13,2	0,4	0,1	0,1	3,3
	Jelka	3,7	32,3	5,6	50,9	0,6	0,0	0,0	5,6	0,0	0,0	0,6	0,6
	Bukev	0,5	13,4	0,2	18,5	0,7	8,6	0,5	17,0	3,4	9,6	0,0	27,6
	G. javor	0,9	47,3	6,9	44,4	0,0	0,1	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
	G. brest	2,9	30,4	33,9	15,8	0,0	4,7	3,5	8,8	0,0	0,0	0,0	0,0

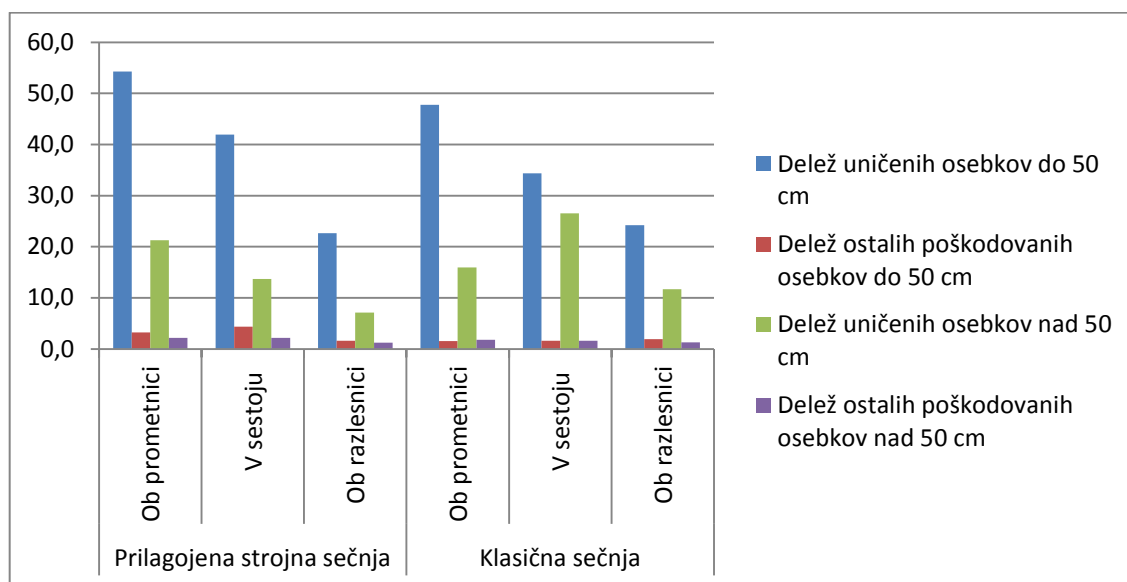
A – prilagojena strojna sečnja, B – klasična sečnja

L – lažja poškodba, T – težja poškodba, D – divjad, N – nepoškodovani

L – mildly damaged, T – seriously damaged, D – game, N – undamaged

Slika 9 kaže, da je bil delež uničenih osebkov (od osebkov v istem višinskem razredu z isto lego) pri obeh načinih izvedbe največji ob prometnicah, nato v sestoji in najmanjši na razlesnici. Večji delež uničenih osebkov pomladka je bil do višine 50 cm, več pri prilagojeni strojni sečnji (54,3 %) kot pri klasični sečnji (47,8 %). Delež uničenih osebkov nad 50 cm višine se je pri prilagojeni strojni sečnji zmanjševal od prometnice (21,3 %), preko sestoja (13,7 %) do razlesnice (7,1 %), pri klasični sečnji pa je ob prometnici znašal

16,0 %, v sestoju 26,5 % in ob razlesnici 11,7 %. Tudi delež ostalih poškodb se je z oddaljenostjo od prometnic praviloma zmanjševal, v primerjavi z deležem uničenih osebkov pa je bil delež ostalih poškodb manjši.



Slika 9: Delež poškodovanih osebkov pomladka po višinskih razredih glede na sestojni položaj

Figure 9: Structure of damages in young forest according to the stand position

4.2.2.1 Regresijska analiza

Z linearnimi mešanimi modeli smo preverjali povezave med mortaliteto mladja po sečnji in poškodovanostjo mladja po sečnji ter načinom dela (prilagojena strojna sečnja, klasična sečnja), naklonom tal, položajem ploskve v sestoju (blizu prometnic, v sestoju in blizu razlesnice), višino lesne zaloge na ploskvi in količino poseka na ploskvi. Mladje smo razdelili na dve višinski stopnji: mladje do 50 cm višine in mladje nad 50 cm višine. Analize aritmetičnih sredin glede na načina dela so nakazovale enako relativno mortaliteto nižjega mladja in večjo relativno mortaliteto višjega mladja pri klasični sečnji ter večjo relativno poškodovanost višjega mladja pri strojni sečnji. Mešani linearni modeli, v katerih smo upoštevali ugnezdenje ploskvic v delovnih poljih (naključni dejavnik), niso potrdili razlik med skupinama (preglednica 13).

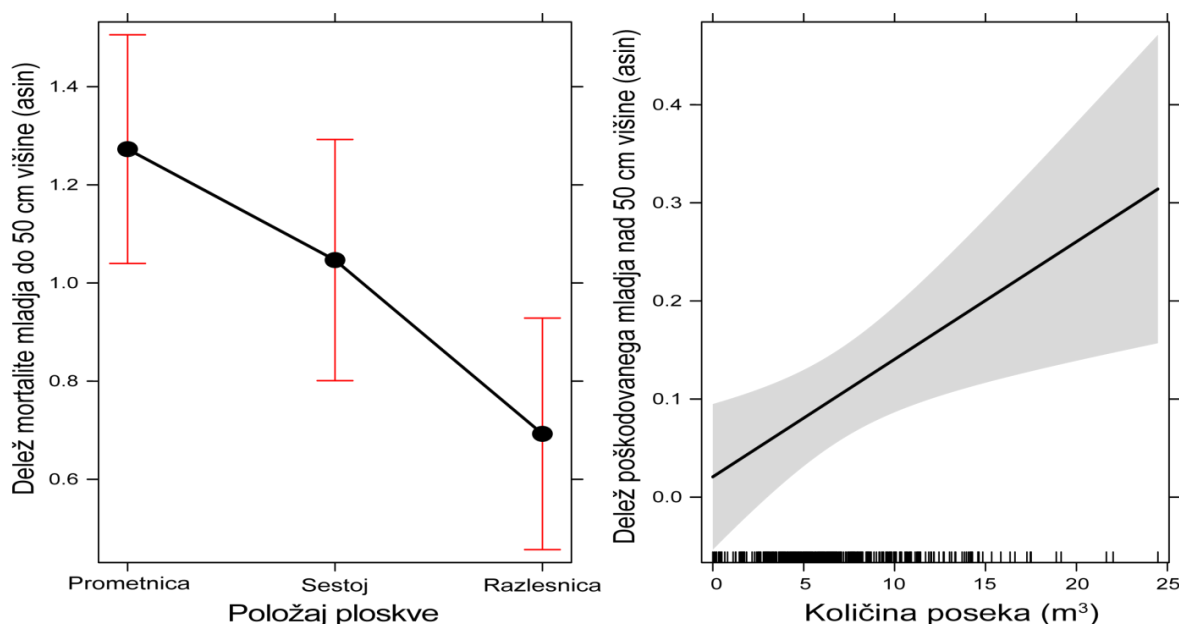
Preglednica 13: Rezultati linearnih mešanih modelov (LMM) za mortaliteto in poškodovanost mladja glede na dva višinska razreda po izpeljavi ukrepov s prilagojeno strojno in klasično sečnjo v odvisnosti od položaja ploskve in poseka na ploskvi. Kot naključni dejavnik so upoštevane posamezna delovna polja (N = 6). Številke v oklepaju pomenijo standardno napako (SE).

Table 13: Results of linear mixed models (LMM) for seedling mortality and damage in relation to the two height classes after different treatments depending on the position of the sample plot and the intensity of logging on sample plots. Individual logging units (N = 6) were taken into account as random factors. Figures in brackets represent the standard error (SE).

	Odvisna spremenljivka			
	Delež mortalitete mladja do 50 cm višine	p	Delež poškodovanega mladja do 50 cm višine	p
<i>Število ploskev</i>	394		394	
<i>Naključni dejavnik</i>				
SD (odsek/preostanek)	0,16/1,15		0,04/0,36	
<i>Test za fiksne dejavnike (SE)</i>				
Odsek na osi	1,27 (0,12)	< 0,0001	0,02 (0,04)	0,5844
Položaj pl. blizu promet. vs sesto	/	/	/	/
razlesnica	-0,23 (0,15)	0,1224	/	/
Posek na ploskvi (m ³)	-0,58 (0,14)	0,0001	/	/
			0,01 (0,004)	0,0058
<i>Informacijska merila za model</i>				
AIC	1247,9		328,2	
BIC	1267,8		344,1	
	Delež mortalitete mladja nad 50 cm višine			
	Delež mortalitete mladja nad 50 cm višine	p	Delež poškodovanega mladja nad 50 cm višine	p
<i>Število ploskev</i>	394		394	
<i>Naključni dejavnik</i>				
SD (odsek/preostanek)	0,00/0,91		0,00/0,51	
<i>Test za fiksne dejavnike (SE)</i>				
Odsek na osi	0,22 (0,09)	0,0118	0,05 (0,05)	0,2513
Posek na ploskvi (m ³)	0,02 (0,01)	0,0381	0,02 (0,006)	0,0141
<i>Informacijska merila za model</i>				
AIC	1059,1		607,7	
BIC	1075,0		623,6	

Kot edina značilna dejavnika pri mortaliteti mladja do višine 50 cm in ostalih testiranih odvisnih spremenljivkah sta se pokazala položaj ploskve glede na prometnice in posek na ploskvi. Mortalitet mladja do 50 cm višine se je večala od ploskev blizu razlesnice, preko ploskev v sestoju do ploskev blizu prometnic (slika 10 – levo). Relativna mortaliteta

mladja nad 50 cm višine in relativna poškodovanost obeh stopenj mladja se je večala s povečevanjem količine poseka na ploskvi (prim. slika 10 – desno).



Slika 10: Modelirane vrednosti za delež mortalitete mladja do 50 cm višine glede na položaj ploskve (levo) in modelirane vrednosti za delež poškodovanega mladja do 50 cm višine glede na količino poseka na ploskvi (desno). Oznaka v oklepaju za odvisno spremenljivko pomeni način transformacije.

Figure 10: Effect plot for the percentage of mortality of seedlings up to 50 cm height class depending on the position of the research plot (left) and the effect plot for the proportion of damaged seedlings up to 50 cm height depending on the intensity of logging on sample plots (on the right). Designation in brackets for the dependent variable represents the way of transformation.

4.2.3 Poškodovanost »čakalcev«

Delež poškodovanih »čakalcev« po ukrepu se je po delovnih poljih spreminjal, v povprečju je pri prilagojeni strojni sečnji znašal 21,5 %, pri klasični sečnji pa 42,5 %. V povprečju je šlo pri prilagojeni strojni sečnji za večji delež lažje poškodovanih osebkov, pri klasični sečnji pa za večji delež težje poškodovanih osebkov. K poškodovanosti je divjad pripomogla v povprečju 6,7 % pri prilagojeni strojni sečnji in 0,9 % pri klasični sečnji (preglednica 14).

Večja poškodovanost (preglednica 14) pri klasični sečnji je nastala zaradi velikega deleža požaganih osebkov med sečnjo, saj je bil delež težje poškodovanih osebkov pri klasični sečnji enak deležu požaganih osebkov, ki smo jih evidentirali pod tip poškodbe 1b. 11 osebkov je bilo požaganih tudi pri strojni sečnji, kar je doprineslo okoli 4 % pri poškodovanosti čakalcev. Če ti osebki ne bi bili posekani, predvidevamo, bi bila poškodovanost pri obeh tehnologijah podobna in bi znašala pod 20 %. Vzroka za posek teh

osebkov ne poznamo. Lahko, da so bili ti osebki pri sečnji težje poškodovani ali pa jih je sekač ocenil za predrastke.

Preglednica 14: Analiza poškodovanih »čakalcev« po delovnih poljih in skupaj

Table 14: Damage of small trees 5 to 10 cm DBH after treatment

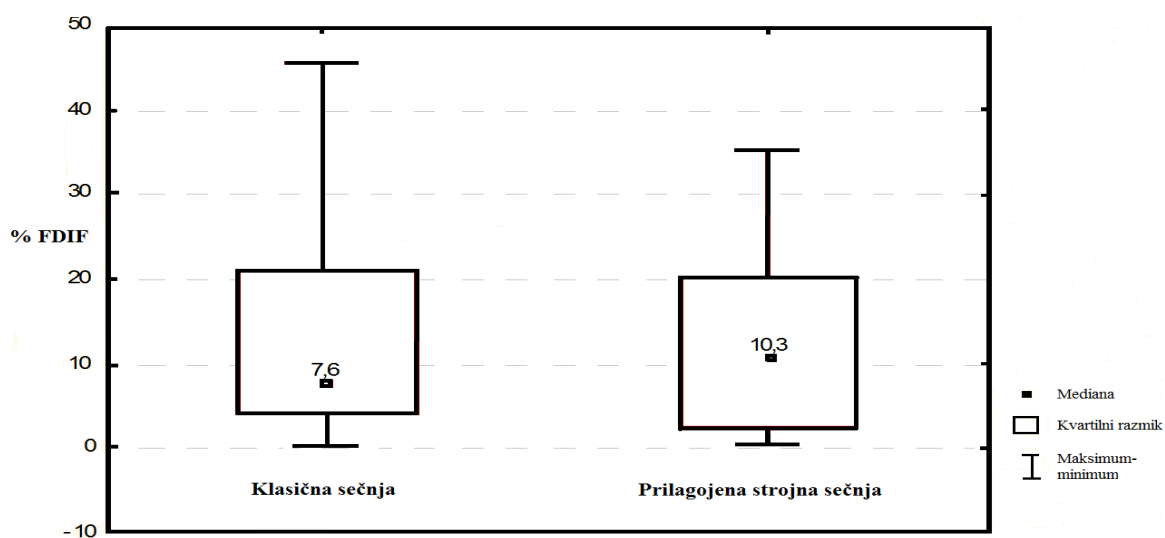
Delovno polje	Število poškodovanih	Poškodovani (%)	Lažje (%) poškodovani	Težje (%) poškodovani	Divjad (%)	Nepoškodovani (%)
A1	20	21,1	5,3	8,4	7,4	78,9
A2	15	14,6	7,8	3,9	2,9	85,4
A3	26	30,2	12,8	7,0	10,4	69,8
B1	10	27,0	10,8	16,2	0,0	73,0
B2	11	45,8	29,2	12,4	4,2	54,2
B3	27	51,9	9,6	42,3	0,0	48,1
A skupaj	61	21,5	8,5	6,3	6,7	78,5
B skupaj	48	42,5	14,2	27,4	0,9	57,5

A – prilagojena strojna sečnja, B – strojna sečnja

Pri testiranju razlik med obema tehnologijama v poškodovanosti »čakalcev« U test ni pokazal značilnih razlik ($U = 478$; $p = 0,1595$). Pri U testu smo primerjali deleže poškodovanih osebkov po ploskvah.

4.3 SVETLOBNE RAZMERE

Glede na vrednosti mediane FDIF (slika 11) sklepamo, da je bilo več svetlobe v sestojih pri prilagojeni strojni sečnji, čeprav so bile svetlobne razmere bolj pestre pri klasični sečnji, vendar pa razlike med tehnologijama na ploskvah v deležih difuzne svetlobe niso značilne ($U = 1492,00$; $p = 0,9267$).



Slika 11: Mediane, kvartilni razmiki in ekstremne vrednosti relativne difuzne (FDIF) svetlobe (%) po tehnologijah klasične sečnje in prilagojene strojne sečnje, kot rezultat Mann-Whitneyjevega U testa.

Figure 11: Median values, quartile (box) and total range (whisker) as a result of Mann - Whitney U test for relative (%) diffuse (FDIF) radiation between combined machine logging and moto-manual cutting

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

Ob uvajanju strojne sečnje je veljalo, da ta v sestojih v obnovi zaradi predvidevanja velike poškodovanosti pomladka ni primerna (Diaci in Magajna, 2002). Kljub temu se tovrstna sečnja izvaja na več območjih (Zabukovec, 2012; Jež, 2009; evidence ZGS, OE Novo mesto) v obliki prilagojene strojne sečnje, kjer sekač predhodno usmerjeno podre predebelo drevje ali drevje, ki ga stroj ne more doseči zaradi skalovitosti, prevelikega naklona ali pomladka. Zabukovec (2012) je v analizi primernosti delovišč navedel tudi dve delovišči, kjer je prilagojena strojna sečnja potekala v raznomernih sestojih.

Po vzoru predhodnih raziskav (Košir in Robek, 2002; Delavec, 2003; Judnič, 2006; Košir, 2008b) smo v GGE Poljane, v oddelku 43, zastavili poskus primerjave tehnologije sečnje z motorno žago in spravila s prilagojenim kmetijskim traktorjem ter tehnologije sečnje s strojem za sečnjo in spravila z zgibnim polprikolničarjem v kombinaciji z motorno žago v sestojih smreke s primesjo bukve, gorskega javorja in jelke v obnovi.

Objekt primerjave obeh tehnologij smo načrtno izbrali v Rogu v državnih gozdovih, kjer se je strojna sečnja v kombinaciji z motorno žago že izvajala. Iskali smo sestoje, kjer je pomladek prisoten na celotni površini in dobro razvit. Glede lesne zaloge matičnega sestoja in mešanosti nismo veliko izbirali, saj zaradi sajenja smreke v preteklosti po celotni enoti prevladujejo spremenjeni sestoji v obnovi z veliko lesno zalogo.

Da ne bi vplivali na tehnologiji, smo popis sestojev izvedli pred sečnjo in po končani sečnji in spravilu, čeprav so delavci in vodstvo vedeli za projekt, kar bi lahko vplivalo na kakovost njihovega dela. Delovna polja smo razmejili po razlesnici tako, da je bilo posamezno polje neodvisno od sosednjih, brez medsebojnega vpliva med tehnologijama. Tudi na izbor tehnologije v prvem delovnem polju in posledično vsakem drugem nismo vplivali, saj smo jo določili naključno.

5.1 PRIMERNOST OBJEKTA ZA STROJNO SEČNJO

Če upoštevamo kriterije, ki jih je postavil Krč (2002), naš objekt z vidika lastnosti terena ustreza uporabi strojne sečnje. Naklon v nobenem delovnem polju ni presegal 30 % (v

povprečju je znašal 20 %), skalovitost ni presegla 50 % površine, delež iglavcev je pred sečnjo znašal 68,5 %, kar zadošča milejši različici kriterijev (Krč in Košir, 2003). Kriterija izključitve vrtačastih terenov nismo upoštevali, saj so raziskave (Judnič, 2006; Zabukovec, 2012) in izkušnje pokazale, da je možno s primerno pripravo strojno sečnjo izvajati tudi v vrtačah. Skalovitost je pri popolni strojni sečnji pomemben kriterij, pri prilagojeni strojni sečnji pa manj, saj v nedostopnih skalovitih predelih sečnjo izvede sekač, stroj pa se premika po obstoječih vlakih in označenih sečnih poteh.

Trenutno je eden od ključnih omejevalnih dejavnikov strojne sečnje premer drevesa in posledično volumen drevesa. Stroj, ki trenutno delajo v slovenskih gozdovih, zmorejo podreti drevje prsnega premera do 50 cm, ki obsega pri korenovcu dobrih 70 cm. Košir (2002a) je postavil zgornjo mejo premera na 50 cm, znotraj katere bi strojno sečnjo lahko izvajali v vseh drogovnjakih in tanjših debeljakih; podobno sta razmišljala tudi Papac (2001, cit. po Krč in Košir, 2003) in Krč (2010), ki ugotavljata, da se v državnih gozdovih izvaja strojno sečnjo največ v debeljakih (več kot 75 %), kjer prevladuje drevje debeline 30–50 DBH, hkrati pa je iglavcev v teh debeljakih preko 70 %. V debelejših debeljakih in pomlajencih tehnično težavo s predebelim drevjem rešujemo s prilagojeno strojno sečnjo, tako da predebelo drevje predhodno poseka sekač. V našem poskusu je imelo povprečno drevo iglavca prostornino preko 3 m³ in povprečni premer 51 cm (največ 87 cm), pri listavcih pa 1,5 m³ in povprečni premer 35 cm (največ 67 cm), kar presega mejne vrednosti za strojno sečnjo (Košir, 2002a; Krč, 2010), saj les pri podiranju poka, zato je potrebno kakovostnejša drevesa posekati z motorno žago, da se prepreči razvrednotenje lesa.

Razlika med obema tehnologijama je zagotovo pri vplivu na tla. Pri klasični sečnji delež motenih tal znaša do 8 % (Rebula, 1993), medtem ko pri strojni sečnji Mihelič (2014) navaja interval od 14 do 21 % motenih tal in Košir (2010) od 15 do 25 %. Naš primer prilagojene strojne sečnje ustreza spodnji meji intervala, kar je razumljivo, saj stroj za sečnjo ni posekal vseh označenih dreves, zato ni potreboval tako goste mreže sečnih poti. Vseeno se moramo vprašati, kaj pomeni delež motenih tal, v našem primeru 14 %. Za vlake smo dejali, da je to prostor, ki se mu v smislu rastnega prostora trajno odpovemo, da bi trajno zagotavljali možnost pridobivanja lesa (Košir in Robek, 2000), pri strojni sečnji pa nas razmišljanja peljejo v dve smeri. Če želimo izbirati sestojem primerne stroje, kar

pomeni, da za mlajše razvojne faze uporabljamo manjše in lažje stroje z manjšim dosegom roke in v starejših fazah večje stroje z daljšo roko, bomo teoretično, ker danes še nimamo ponovitev strojne sečnje na istih objektih, v večini primerov sečne poti označevali na novo po novih trasah. Čeprav bo del sečnih poti trajnih, bo delež motene površine vedno večji; že po nekaj ponovitvah skoraj ne bo več površine, kjer ne bi vozil stroj. Zavedati se je potrebno tudi, da niso motena le tla neposredno pod kolesi, temveč je vpliv poškodb tal preko poškodb korenin in slabših talnih razmer za rast korenin obsežnejši (Železnik in sod., 2011). Druga plat razmišljanja nas pelje k uporabi tako imenovanih »univerzalnih« strojev, ki so bolj ali manj prilagojeni in primerni za večino razvojnih faz (od drogovnjakov do končnih posekov) ter potrebujejo pri vsaki sečnji enako širino in gostoto sečnih poti. Za tovrstno oznako univerzalnih strojev imamo v mislih večino dosedanjih strojev, ki delajo v slovenskih gozdovih in jih po osnovi uvrščamo med težke stroje za sečnjo (Timberjack 1270D, Königstiger, Eco Log 580 C, John Deere 1470 D). Ti stroji imajo doseg cca. 10 m in za nemoteno delovanje potrebujejo do 600 m/ha sečnih poti, kar pomeni do 24 % motene površine. Z vidika motnje rastnega prostora ožji oz. manjši stroji niso v prednosti, saj potrebujejo zaradi manjšega dosega dvigala gostejšo mrežo sečnih poti; prav tako prevozijo do 25 % tal (Cerjak, 2011). Delež motenih tal lahko v primeru uporabe manjših strojev v mlajših razvojnih fazah zmanjšamo s kombinirano strojno sečnjo, kjer na vmesnih pasovih drevje usmerjeno poseka sekač. V smislu zmanjšanja deleža motenih tal bi bilo smotno v vseh razvojnih fazah izvajati kombinirano strojno sečnjo, tudi zaradi pestrih terenskih in sestojnih razmer znotraj odseka.

Poleg terenskih in sestojnih razmer so pri uspešni izvedbi sečnje in spravila pomembne tudi vremenske razmere (Košir, 2010), saj so v deževnem obdobju tla bolj občutljiva na vožnjo s težkimi stroji (Košir, 2010; Cerjak, 2011), katerih masa znaša od 12 do 16 t, naloženih tudi preko 30 t. V severnih deželah imajo daljša obdobja zmrznjenih tal, zato so neugodni vplivi na tla manjši kot pri nas (Košir, 2010). V času sečnje v istem odseku praviloma vsaj enkrat dežuje, kar se je zgodilo tudi v času našega poskusa (Mihelič, 2014), saj se je sečnjo in spravilo izvajalo od konca avgusta do sredine oktobra.

Tudi v ostalih študijah na istem objektu (Mikec, 2011; Mihelič, 2014) ugotavljajo, da je strojna sečnja v sestojih v obnovi primerna. Predvsem se je za primernejše spravilo izkazal

izvoz lesa do gozdne ceste z zgibno polprikolico (Mikec, 2011). Vplivi strojev za strojno sečnjo na tla so na visokem krasu, kjer je matična podlaga apnenec, ki ga v večini prekrivajo plitka pokarbonatna tla, sprejemljivi (Mali, 2005; Mihelič, 2014).

5.2 METODE OCENJEVANJA POŠKODOVANOSTI SESTOJEV

Osnovni kazalec obsega poškodb, ki se v raziskavah poškodovanosti sestojev najpogosteje navaja, je delež poškodovanih dreves od vseh dreves v sestoku. Po Koširjevi metodi krožnih ploskev, ki smo jo v kombinaciji s popolnim popisom dreves uporabili pri naši nalogi šteje za poškodbo vsaka vidna poškodba velikosti nad 10 cm². Metoda popolnega popisa poškodovanosti sestojev je obsežna in natančna, vendar časovno zamudna in zahteva dva popisovalca hkrati, pri metodi krožnih ploskev s površino 1 a pa popis lahko izvaja tudi en popisovalec sam (Mihelič, 2014). Nosilec informacije pri popolnem popisu je vsako popisano drevo, ki mu določimo tudi položaj v sestoku, gojitveno vlogo in po želji zbiramo še ostale želene informacije. Za znanstvena raziskovanja bi metodo lahko poljubno dopolnjevali, tako da bi npr. beležili še število poškodb na posameznem drevesu in vzroke poškodb (divjad, sečnja, spravilo, biotski dejavniki), za operativno pa bi jo bilo potrebno poenostaviti, da bi popis opravil gozdar sam, saj bi bilo smotrno, da bi ob prevzemu sečišča ocenili tudi poškodovanost sestojev in jo primerjali z drugimi delovišči.

Ker Koširjeva metoda krožnih ploskev ne predvideva podrobnega popisa poškodovanega pomladka (Košir, 2008b), smo za popis poškodovanosti pomladka uporabili metodo po Sikström in Glöde (2000) ter jo za naše razmere priredili tako, da smo določili višinske razrede in zmanjšali stopnje poškodb s treh na dve stopnji, to sta lažja in težja poškodba. Pri popisu smo dodali vrsto poškodbe zaradi divjadi, saj ima divjad v Rogu pomembno vlogo pri pomlajevanju (Roženberger, 2007; Rugani in sod., 2008; Diaci in sod., 2012). Metoda je natančna, poleg poškodovanosti dobimo tudi deleže mladja po višinskih razredih in drevesnih vrstah, iz katerih lahko predvidimo nadaljnji razvoj sestojev. Za gozdarje na terenu je primernejša Koširjeva metoda, po kateri se oceni samo delež pomladka na ploskvi in delež poškodovanega pomladka na ploskvi.

5.3 PRIMERJAVA TEHNOLOGIJ Z VIDIKA POŠKODOVANOSTI SESTOJEV

Primerov pomladitvenih sečenj v primerljivih sestojnih in terenskih razmerah nismo našli, zato smo posebej primerjali rezultate analiz poškodb matičnega sestoja in posebej poškodovanost pomladka.

Najboljša referenca za primerjavo poškodovanosti pri strojni sečnji je po našem mnenju poškodovanost pri klasični sečnji in spravilu v Sloveniji, saj želimo, da nove tehnologije in načini pridobivanja z ekoloških vidikov ne bi bili manj primerni od dosedanjih uveljavljenih tehnologij, kot je sečnja z motorno žago in traktorsko spravilo, čeprav tudi rezultati pri klasični sečnji niso vedno zadovoljivi (Košir, 1998).

V našem poskusu je skupna poškodovanost po vseh do zdaj izpeljanih sečnjah znašala pri klasični sečnji 45 % in pri prilagojeni strojni sečnji 42 %, kar je manj kot napovedujejo modeli (Košir, 2000; Košir in Cedilnik, 1996; Košir, 2008a) pri sestojih v obnovi. Vzrok za manjšo poškodovanost je lahko tudi ta, da se pri vsakem ukrepu poseka tudi določen delež že poškodovanih dreves, česar pri našem poskusu nismo ugotavljali, glede na metode dela pa bi lahko. Znano je, da pri odkazilu revirni gozdarji za posek navadno prej označijo poškodovano drevo, če se odločajo med več drevesi, kar so počeli tudi pri našem poskusu, pri obeh tehnologijah enako. Poudariti moramo, da revirna gozdarja, ki sta odkazovala v našem poskusu, nista favorizirala nobene od uporabljenih tehnologij. Izkušnje s prilagojeno strojno sečnjo v pomlajencih sta že imela, tako da sta odkazilo in označitev sečnih poti izvedla strokovno.

Na poškodovanost drevja vpliva jakost sečnje (Košir, 2000; Košir, 2008a), kar ugotavljata tudi Fjeld in Granhus (1998). Po modelu za klasično sečnjo znaša delež novih poškodb pri jakosti sečnje $160 \text{ m}^3/\text{ha}$ preko 30 %, kar potrjuje naš poskus, saj je bilo pri klasični sečnji na novo poškodovanih dreves v povprečju 34 %, od vseh analiziranih dreves po ukrepu pa 16 %. Rezultati poškodovanosti pri prilagojeni strojni sečnji (33 % novih poškodb od vseh poškodb in 14 % od vseh dreves) bolj ustrezajo modelu za klasično sečnjo, modelu napovedovanja poškodb pri strojni sečnji (Košir, 2008a) pa manj, saj model obravnava popolno strojno sečnjo, mi pa smo uporabili prilagojeno strojno sečnjo. Po razredih, ki jih

navajata Košir in Mihelič (2011), sodi 16- oz. 14-% poškodovanost pri ukrepu v razred povprečne poškodovanosti.

Kljub temu, da v nalogi nismo upoštevali ekonomskih vidikov, je primeren temeljit premislek glede pogostosti ter jakosti posegov (redčenj in obnove) skozi celotno proizvodno dobo sestoja (120–130 let), saj pogosta redčenja z nizko jakostjo v sestoji puščajo velik delež poškodb (Košir, 1998; Košir 2008a). Glede na izkušnje bi bilo smiselno dobo vračanja v sestoj, neglede na izbiro tehnologije za poseg, z 10 let podaljšati na 15 let in jakost redčenj v drogovnjakih povečati na 25 %, v debeljakih do 50 cm DBH na 18–20 %. Pomladitvena doba naj traja 15 do 20 let, z največ tremi pomladitvenimi sečnjami: nasemenilna sečnja (če še ni pomladka), svetlitvena sečnja in končni posek, pri katerem naj lesna zaloga matičnega sestoja ne presega 200 m³/ha (Sikström in Glöde, 2000). Končni posek je potrebno izvesti, ko je pomladek na prehodu mladja v goščo s pokrovnostjo vsaj 70 % (Gozdnogospodarski načrt ..., 2014).

Z regresijsko analizo smo ugotovili, da je delež na novo poškodovanih dreves nakazoval negativno parabolično povezavo z jakostjo poseka tako, da se je delež poškodovanih dreves najprej povečeval, pri srednjih vrednostih deleža poseka pa se je pričel manjšati. Manj novih poškodb pri večjih jakostih pomeni, da je zaradi velikega deleža posekanih dreves na ploskvi ostalo manj dreves, zato je obstajala manjša verjetnost nastanka poškodb. Koširjev model (2000) kaže večanje deleža poškodovanih dreves z jakostjo poseka, meritve pa so pokazale, da je pri velikih jakostih in hkrati veliki gostoti prometnic poškodovanost manjša, kamor bi lahko uvrstili tudi naš poskus.

Glede položaja ploskev je bil največji delež poškodovanih dreves na ploskvah v sestoji, sledile so ploskve ob prometnicah in ploskve ob razlesnici. Vpliv gostote prometnic na poškodovanost dreves obstaja, vendar je manjši od vpliva jakosti sečnje (Košir, 2000). Model kaže, da je najmanj poškodb pri gostoti prometnic 200 m/ha. Gostota vlak pri klasični sečnji v našem poskusu v enem delovnem polju doseže to gostoto, v drugih dveh pa ne, saj po večji gostoti ni bilo potrebe.

Primerjava obeh tehnologij pri analizi velikosti novih poškodb ni potrdila razlik v velikosti poškodb. Največ je novih poškodb v razredu nad 200 cm^2 , petina poškodb pa se nahaja v razredu $10\text{--}30 \text{ cm}^2$. Podobno razporeditev je ugotovil tudi Delavec (2003), na Mirni gori (Judnič, 2006) pa je bilo pri strojni sečnji več manjših poškodb kot pri klasični sečnji, čeprav razlik statistično niso dokazali. Košir in Mihelič (2011) ugotavljata podobno kot Judnič glede poškodovanosti po strojni sečnji v drogovnjakih in debeljakih; prilagojeno strojno sečnjo v pomlajencih sta izpustila. Po velikostnih kategorijah poškodb (Košir in Mihelič, 2011), ki velikostne razrede združi v tri kategorije (podpovprečna do 49 cm^2 , povprečna $50\text{--}99 \text{ cm}^2$ in nadpovprečna nad 100 cm^2), naš poskus delno ustreza razvrstitvi poškodb pri klasičnih tehnologijah pri starosti 120 let, predvsem v deležu nadpovprečnih poškodb. Spodnja meja velikosti nadpovprečnih poškodb (100 cm^2) sovpada z ugotovitvami Kessela in Fanta (cit. po Žemva, 2007), ki sta ugotovila, da se poškodbe širine 10 cm navadno nikoli ne zarastejo. Avtorja navajata, da so poškodbe praviloma kvadratne ali elipsaste oblike, torej se po teh ugotovitvah ne zarastejo poškodbe velikosti nad 100 cm^2 . Delež poškodb velikosti nad 100 cm^2 je znašal v našem poskusu pri prilagojeni strojni sečnji 59,5 % in pri klasični sečnji 55,8 %, če zanemarimo podatek, da smo pri večkratni poškodovanosti drevesa površine poškodb sešteli, ker je bilo takšnih dreves malo.

Limbeck-Lilienau (2003) ugotavlja, da je pogostost največjih poškodb (nad 200 cm^2) pri sečnji v poletnem času trikrat večja kot pozimi, ko prevladujejo poškodbe velikosti do 50 cm^2 . Pri našem poskusu, ki je potekal konec poletja in v začetku jeseni, so pri obeh tehnologijah prevladovala največje poškodbe.

Glede mesta nastanka novih poškodb je naš primer prilagojene strojne sečnje še najbolj podoben popolni strojni sečnji, saj se največ poškodb nahaja na deblu, nato na korenovcu in koreninah, kar ugotavljajo tudi drugi (Košir in Robek, 2000; Judnič, 2006; Košir in Mihelič, 2011).

Če bi ZGS poškodovanost pri popisih stalnih vzorčnih ploskev popisovali po primerljivih velikostnih razredih, kot jih navajamo po Koširjevi metodi, bi potrebovali več časa, vendar

bi imeli za celotno Slovenijo ogromen zajem podatkov, iz katerih bi lahko računali zelene podatke.

Ugotavljamo, da je naš primer prilagojene strojne sečnje edinstven in na splošno lažje primerljiv z rezultati klasične sečnje (Košir, 2000; Košir, 2008a; Košir in Mihelič, 2011) kot z rezultati popolne strojne sečnje, kar smo ugotavljali ves čas analiz in diskusije.

5.4 POŠKODOVANOST POMLADKA

Rezultati poškodovanosti pomladka v Sloveniji pri strojni ali prilagojeni strojni sečnji so težko primerljivi z rezultati iz tujine (Sikström in Glöde, 2000; Stokes in sod., 2009; Sirén in Surakka, 2010; Surakka in sod., 2011), saj so neprimerljive že dimenzije dreves, lesna zaloga in količina poseka na 1 ha, gostota matičnega sestoja in gostota pomladka.

Ugotovili smo, da se relativna poškodovanost pomladka povečuje s količino poseka, zato lahko trdimo, da je poškodovanost pomladka v našem primeru primerljiva s poškodovanostjo, ki sta jo ugotovila Sikström in Glöde (2000). Pri njih je količina poseka pri končnih posekih znašala od 150 do 230 m³/ha in so po objektih poškodovali od 36 do 65 % mladja, v našem poskusu pa smo po delovnih poljih sekali od 140 do 185 m³/ha in poškodovali pri prilagojeni strojni sečnji 34 % in pri klasični sečnji 38 % pomladka. Delež težje poškodovanih osebkov je pri njih znašal 48–76 %, pri nas v povprečju pri prilagojeni strojni sečnji 91 % in pri klasični sečnji 94 % od poškodovanih osebkov. Pri njih so imeli osebki višine nad 1 m več poškodb na deblu in višje, s sečnimi ostanki prekritih in izruvanih osebkov je bilo več do višine 1 m. V našem primeru se je pokazala meja pri 50 cm. Predvidevamo, da so sekači in strojnik bolj pazili na višji pomladek, zato so padec dreves usmerjali v nižje mladje, torej je bilo največ poškodb do višine 50 cm. Po tipu poškodb so prevladovali prekriti in izruvani osebki, po stopnji pa so prevladovale težje poškodbe. V obeh primerih smo potrdili odvisnost med poškodovanostjo pomladka in bližino prometnice pri obeh načinih sečnje. V našem primeru je mortaliteta pomladka do 50 cm višine naraščala od razlesnice do vlake oz. sečne poti (Slika 10).

Vpliv bližine sečnih poti in količino poseka na poškodovanost mladja so ugotovili tudi Granhus in Fjeld (2001) na Norveškem, Sirén in Surakka (2010), Surakka in sod. (2011) na Finskem in Stokes in sod. (2009) v Veliki Britaniji.

Verjetno bi bile v primeru popolne strojne sečnje v našem primeru poškodbe razporejene enakomerneje po višinskih razredih pomladka, saj po izkušnjah stroj tako velika drevesa (premer nad 50 cm, dolžina 40 m, volumen preko 3 m³) težko usmerjeno podre, še posebej pri listavcih (Judnič, 2006), če je oblika krošnje asimetrična. Da ni statistično značilnih razlik v deležih poškodovanega pomladka med obema tehnologijama, lahko pojasnjujemo s tem, da smo na popisu ploskev po sečnji ugotovili, da so sekači predhodno posekali 71 % označenih dreves oz. 81 % bruto mase označenih dreves, kar pomeni, da so imeli sekači velik vpliv na poškodovanost pomladka pri prilagojeni strojni sečnji. Vendar lahko glede na manjšo poškodovanost pomladka pri prilagojeni strojni sečnji rečemo, da strojnika nista povzročala več poškodb kot sekači, saj je bila zaradi dodatnih sečnih poti pri prilagojeni sečnji večja gostota prometnic (343 m/ha) kot pri klasični sečnji (173 m/ha) in nekoliko večja količina poseka. Tudi Stokes in sod. (2009) niso potrdili razlik v poškodovanosti pomladka med klasično in strojno sečnjo. Velik delež poškodb nastane pri privlačevanju lesa (Papac, 1992), zato je strojna sečnja v prednosti, ker stroj deblo ne vleče po tleh, temveč prenese do sečne poti.

Glede na rezultate poškodovanosti pomladka lahko zaključimo, da je poškodovanost pomladka manjša ali primerljiva z raziskavami v tujini; korektno je primerjati obe uporabljeni tehnologiji v istih razmerah.

5.5 SVETLOBNE RAZMERE IN POMLAJEVANJE

Glede na meritve svetlobnih razmer lahko ugotovimo, da so bile po ukrepu primerljive z razmerami v velikih vrzelih Rajhenavskega roga (Roženberger, 2007; Perme, 2008), gostota pomladka pa je v našem poskusu znašala dobrih 60 % povprečne gostote v Rajhenavu, ki je znašala v povprečju 67.500 osebkov na 1 ha. Gostoto pomladka 43.100 osebkov na 1 ha v našem primeru lahko primerjamo tudi z navedbo Kotarja (2005), ki navaja gostoto bukove gošče s 50.000 osebki na 1 ha. Približno polovica pomladka na našem objektu je spadala v razvojno fazo mladja in polovica v razvojno fazo gošče, zato bi

morala biti gostota nekoliko večja, vendar pa zaradi kratke pomladitvene dobe 10 let, ki je pretekla do poskusa, rezultat ni slab, možnosti za dodatno nasemenitev pa še obstajajo, saj je nad pomladkom ostalo v povprečju še 130 dreves na 1 ha. Gostoto pomladka bi lahko primerjali z raziskavami v prebiralnih gozdovih Švice, kjer je na boljših rastiščih v sredogorju gostota pomladka znašala v povprečju 42.800 osebkov na 1 ha (Bachofen, 2009).

Če je bila gostota pomladka v našem primeru nekoliko manjša kot v pragozdnih ostankih, je bila pestrost drevesnih vrst boljša, saj Diaci in sod. (2010) ugotavljajo, da v Pečki in Rajhenavskem rogu jelke v višinskem razredu nad 50 cm skoraj ni, čeprav je število klic sorazmerno visoko, pri nas pa smo jo beležili v vseh višinskih razredih. Razlika med gospodarskim gozdom in pragozdnimi ostanki je bila vidna tudi v deležu smreke, ki je v pragozdu ni, saj na teh rastiščih ni avtohtona, zato v pragozdu ni semenjakov, na našem objektu pa je v matičnem sestoju prevladovala smreka, ki so jo pred 120 leti umetno zasadili. Mešanost pomladka pred ukrepom je bila po deležih: smreka 36 % in gorski javor 36 %, bukev 17 %, gorski brest 6 %, jelka 5 % in lipa ter jerebika skupaj manj kot 1 %. Analiza poškodovanosti pomladka po sečnji in spravilu je pokazala, da se pri pomlajevanju uveljavlja bukev, saj se je v pomladku enakomerno pojavljala v vseh višinskih razredih, medtem ko je delež ostalih vrst v višjih razredih mnogo manjši kot v višinskem razredu do 50 cm. Manj ugodno je stanje jelke in gorskega bresta, gorskega javorja pa nad 50 cm skoraj ni, čeprav kaže mešanost na ugodno stanje.

Če upoštevamo, da ima višji pomladek v borbi za prevlado prednost pred nižjim, lahko sklepamo, da bodo bodoče sestoje gradili: bukev s preko 65 %, smreka s 17 %, jelka z 8 %, gorski brest z 10 %, gorski javor pa bo v sledovih. Na mešanost bo moč vplivati pri negi mladovij, kjer bomo pospeševali jelko in plemenite listavce. Osebki do višine 50 cm bodo prevladali na površini, kjer trenutno ni višjega pomladka. Ko smo prešteli ploskve, kjer ni bilo pomladka nad 50 cm, smo v delovnih poljih A našli 46 ploskev, skupaj s praznimi 57 ploskvami, kar znaša 26 % površine, v delovnih poljih B pa 65 oz. 71 ploskev ali 38 % površine. Če k prej omenjenim ploskvam prištejemo še ploskve, kjer je bil samo en osebek višji od 50 cm, se površina pri prilagojeni strojni sečnji poveča na 40 %, pri klasični sečnji pa na 53 %. Ob tem dejstvu lahko pričakujemo drugačno mešanost bodoče generacije

sestojev, saj v višinskem razredu do 50 cm prevladuje gorski javor, za njim pa jelka. Z dodatnim pospeševanjem pri negi imata več možnosti, da se prebijeta med zmagovalce, če ju divjad z objedanjem ne bo zavrla. Iz rezultatov je razvidno, da bukke in smreke divjad ne objeda, verjetno zaradi izbire njej ljubših vrst (Perme, 2008).

Kljub relativno visokim deležem poškodovanosti in mortaliteti pomladka pri pomladitvenih sečnjah, ki je znašala 32–35 % vseh osebkov, poškodovanost pri pridobivanju lesa ni največja težava v Rogu. Pri popisu pomladka pred in po sečnji smo ugotovili, da se divjad očitno ne boji strojev in ropota, saj se je v času sečnje v povprečju povečal delež poškodovanih osebkov pomladka iz 1,9 na 4,6 %. Predvidevamo, da je divjad objedala ponoči, saj je podnevi nismo opazili. O težavah objedanja pomladka pišejo tudi Roženberger in sod. (2007) ter Perme (2008).

Za uspešno pomlajevanje so zelo pomembne svetlobne razmere (Diaci in sod., 2012; Čater in sod., 2014), tako za svetloljubne vrste (Marinšek in Diaci, 2004), kot sta gorski javor in gorski brest, kot tudi za sencoizdržne. Jelka se je dokaj uspešno nasemenila še v času debeljakov in v začetni fazi obnove, tako da je imela v času uvajanja v obnovo prednost in je uspela prerasti v višje razrede, pojavlja se tudi v vzniku pod pomladkom. Za bukev ugotavljamo, da zmaguje v vseh višinskih razredih, zato bo osnovna graditeljica bodočih sestojev.

5.6 SKLEPI

V Sloveniji se je preučevanje strojne sečnje pričelo postopoma, a načrtno (Krč, 2002; Krč in Košir, 2003). Najprej so strojno sečnjo spremljali pri redčenjih sestojev iglavcev v razvojni fazi drogovnjakov in tanjših debeljakov (Košir in Robek, 2000; Diaci in Magajna, 2002; Delavec, 2003; Košir in Mihelič, 2011), iz več različnih vidikov. Ko se je potrdilo, da je strojna sečnja za redčenja iglavcev primerna, smo izvedli poskus redčenja listavcev (Mali, 2005; Judnič, 2006; Vranešič, 2008) in znova ugotovili, da je s primerno pripravo in dobro izvedbo strojna sečnja primerna. Strojna sečnja je možna na vrtačastem terenu (Judnič, 2006; Zabukovec, 2012). Glede na raziskave v tujini (Sikström in Glöde, 2000) in potrebe v Sloveniji je sledil poskus prilagojene strojne sečnje v sestojih v obnovi, ki se je

izkazal za primernega. Naslednjo fazo lahko morda predstavlja primerjava prilagojene strojne sečnje in klasične sečnje v raznomernih sestojuh.

V primerljivih terenskih in sestojnih razmerah smo primerjali prilagojeno strojno sečnjo in uveljavljeno klasično sečnjo, pokazali razlike v poškodovanosti matičnega sestoja ter pomladka in glede na rezultate umestili prilagojeno strojno sečnjo v primerjavi s klasično sečnjo. Glede na predhodne raziskave smo postavili štiri raziskovalne hipoteze, ki smo jih v raziskavi preizkusili.

1. Število in velikost poškodb na drevesih matičnega sestoja sta večja pri prilagojeni strojni sečnji kot pri klasični sečnji.

Če bi razlike med obema preučevanima tehnologijama v poškodovanosti matičnega sestoja obstajale, bi z vzorčenjem, kot smo ga izvedli, razlike potrdili. Z Mann-Whitneyjevim neparametričnim U testom nismo potrdili razlik v deležih novih poškodb po ploskvah med obema tehnologijama ($U = 947,50$; $p = 0,4872$). Razlike v velikosti novih poškodb prav tako niso bile statistično značilne, niti z U testom ($U = 5603,0$; $p = 0,1611$) niti z Brandt-Snedecorjevim testom, ker je bil izračunani χ^2 (0,832) manjši od mejnega (18,467) pri $df = 4$ in $\alpha = 0,001$, zato smo prvo hipotezo v celoti ovrgli.

2. Glede mesta poškodb je pri prilagojeni strojni sečnji več poškodb na deblu in višje, pri klasični tehnologiji pa nižje na drevesu (korenovec in korenine).

Večina primerov kaže, da je pri klasični sečnji več poškodb nižje na drevesu, ki največkrat nastanejo v fazi zbiranja in vlačjenja lesa, pri strojni sečnji pa je več poškodb na deblu in višje. Da bi potrdili hipotezo, smo po ploskvah združili nove poškodbe debla in višje ter posebej poškodbe korenovca in korenin. Z Mann-Whitneyjevim U testom nismo potrdil značilnih razlik med tehnologijama pri primerjavi poškodb na deblu in višje ($U = 1145,00$; $p = 0,8656$), niti pri primerjavi poškodovanosti na korenovcu in koreninah skupaj ($U = 967,50$; $p = 0,1477$). Ker tudi z Brandt-Snedecorjevim testom nismo potrdili razlik, ker je bil izračunani χ^2 (0,251) manjši od mejnega (10,828) pri $df = 1$ in $\alpha = 0,001$, smo tudi drugo hipotezo v celoti ovrgli.

3. Poškodovanost pomladka je večja pri prilagojeni strojni sečnji kot pri klasični sečnji.

Analize aritmetičnih sredin glede na načina dela so nakazovale enako relativno mortaliteto nižjega mladja do višine 50 cm in večjo relativno mortaliteto višjega mladja (nad 50 cm) pri klasični sečnji ter večjo relativno poškodovanost višjega mladja pri prilagojeni strojni sečnji. Mešani linearni modeli, kjer smo upoštevali ugnezdenje ploskvic v delovnih poljih (naključni dejavnik) niso potrdili teh razlik, zato smo ovrgli tudi tretjo hipotezo.

4. Poškodovanost pomladka je večja ob sekundarnih prometnicah (vlakah, sečnih poteh) kot v sestoju in je najmanjša na razlesnici.

Glede na dobljene rezultate in regresijsko analizo lahko potrdimo le četrto hipotezo, da je poškodovanost pomladka večja ob prometnicah kot v sestoju in najmanjša na razlesnici pri obeh tehnologijah. Poleg bližine prometnic je na poškodovanost pomladka višine nad 50 cm vplivala količina poseka na ploskvi, ki je v linearni odvisnosti.

Čeprav so revirni gozdarji bolj naklonjeni popolni strojni sečnji kot prilagojeni (Zabukovec, 2012), se bo slednja glede na razmere v slovenskih gozdovih v bodoče uporabljala pogosteje. V primeru prilagojene strojne sečnje v sestojih v obnovi sta priprava dela in dobra izvedba še pomembnejši, saj bi poškodbe pomladka in tal neugodno vplivale na bodoči sestoj.

Če povzamemo mnoge študije in izkušnje s terena, je po našem mnenju uspešna izvedba sečnje in spravila manj odvisna od uporabljene tehnologije, ki mora biti smiselna. Zelo pomemben vplivni dejavnik je človek, v našem primeru revirni gozdar, sekač, traktorist in strojnik, v zasebnih gozdovih pa predvsem lastnik gozda. Brez ustreznega znanja, občutka za gozd in volje do dela bi lahko bili rezultati te študije povsem drugačni, saj smo pred poskusom predvidevali, da bodo rezultati pri prilagojeni strojni sečnji v primerjavi s klasično sečnjo mnogo slabši, česar poskus ni potrdil.

Dokazali smo, da je v danih sestojih v obnovi in terenskih razmerah prilagojena strojna sečnja z vidika poškodovanosti sestojev primeren način sečnje in spravila in povsem primerljiv s klasično tehnologijo sečnje in spravila. Prav tako je prilagojena strojna sečnja ugodna z vidika poškodb tal (Mihelič, 2014). Delno nepojasnen ostane le ekonomski vidik primerjave obeh tehnologij, saj rezultati časovnih študij sečnje z motorno žago in sečnje s strojem za sečnjo še niso objavljeni, pri spravilu pa je ugodnejši izvoz lesa z zgibnim polprikoličarjem (Mikec, 2011).

Rezultati popisov pomladka kažejo, da z nasemenitvijo nimamo težav, saj smo v slabih desetih letih uspeli pomladiti skoraj celotno površino, tudi z javorjem, brestom in jelko. Nadaljnje raziskave bodo pokazale, kako bodo te vrste preraščale v višje višinske razrede, kako bo nega mladja z uravnavanjem zmesi vpliva na mešanost mladja in kolikšen bo vpliv divjadi. Glede na kratko pomladitveno dobo lahko upravičeno računamo, da bo uničen pomladek nadomestil nov, saj znaša lesna zaloga preostalega odraslega drevja v povprečju 350 m³/ha. Naslednji izziv bo predstavljalo spravilo lesa s pomlajenih površin brez povzročanja dodatnih poškodb.

Tehnologije strojne sečnje se nenehno izboljšujejo in so dolgoročno cenejše od škode na sestojih in tleh. Ker izkušenj iz tujine o uporabi strojne sečnje ne moremo neposredno prenesti v naše razmere, potrebujemo sodelovanje in razvijanje domačega znanja.

6 POVZETEK (SUMMARY)

6.1 POVZETEK

Strojno sečnjo v Sloveniji omejujejo ekološki dejavniki, kot so sestojne in terenske razmere (Krč in Košir, 2003). Narava slovenskih gozdov strojni sečnji, kot jo poznamo iz skandinavskih in nekaterih srednjeevropskih dežel, ni naklonjena, ker imamo pri nas večji delež listavcev, dosegamo večje dimenzije dreves, imamo vertikalno in horizontalno pestre sestojne, naravno obnovo, razgiban relief z vrtačami in večjimi nakloni in ne nazadnje neugodno lastniško strukturo (Diaci in Magajna, 2002).

Vsaka sečnja in spravilo pustita za seboj poškodbe, tako na drevju, pomladku in tleh. V naši raziskavi smo predstavili poškodovanost sestojev pri sečnji in spravilu z dvema tehnologijama in povzeli nekatere študije o poškodbah tal in korenin ter posledicah nastalih poškodb na drevju.

Od julija do konca oktobra l. 2009 smo na novomeškem delu Roga, v GGE Poljane, oddelku 43, izvedli poskus prilagojene strojne sečnje v sestojih smreke s primesjo bukve, gorskega javorja in jelke v obnovi. Poskus smo izvedli v sodelovanju Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Zavoda za gozdove Slovenije, Gozdnega gospodarstva Novo mesto in Gozdarstva Grča v želji preučiti ekološke vidike uporabe strojne sečnje v sestojih v obnovi.

V enakih rastiščnih, sestojnih in terenskih razmerah smo primerjali tehnologijo sečnje z motorno žago in spravila s prilagojenim kmetijskim traktorjem in tehnologijo sečnje s strojem za sečnjo in spravila z zgibnim polprikoličarjem v kombinaciji z motorno žago (prilagojena strojna sečnja). Objekt površine 14 ha smo razdelili na šest neodvisnih delovnih polj in naključno določili tehnologijo izvedbe. Po označitvi drevja za posek in sečnih poti smo pred sečnjo z metodo krožnih ploskev popisali matični sestoj in pomladek, po sečnji pa na istih ploskvah ponovili meritve poškodovanosti matičnega sestoja in pomladka. V dveh delovnih poljih smo posneli tudi svetlobne razmere.

Lesna zaloga sestojev v obnovi je pred ukrepom v povprečju znašala 520 m³/ha. Jakost sečnje je pri prilagojeni strojni sečnji znašala v povprečju 33 %, pri klasični sečnji pa 29 %. Razlika je posledica označitve sečnih poti, katerih dolžina je v povprečju znašala 140 m/ha na 203 m/ha že obstoječih vlak. Povprečna dolžina vlak pri klasični sečnji je znašala 173 m/ha.

Z analizo dreves na 4 a ploskvah smo ugotovili, da je bila poškodovanost matičnega sestoja pri prilagojeni strojni sečnji 41,9 % (delovna polja A), pri klasični sečnji pa 45,0 % (B). Delež novih poškodb, ki so bile povzročene pri zadnjem ukrepu, je pri prilagojeni strojni sečnji znašal 13,9 % in pri klasični sečnji 15,5 %. Ostali dve tretjini poškodb sta nastali v predhodnih sečnjah. Statistična primerjava z U testom ni potrdila značilnih razlik med tehnologijama v poškodovanosti matičnega sestoja ($p = 0,9812$), niti pri primerjavi samo novih poškodb ($p = 0,4872$).

Deleži poškodovanih dreves po velikostnih razredih se v povprečju pri obeh tehnologijah razporedijo podobno. Pri obeh tehnologijah je bilo povzročenih največ poškodb velikosti nad 200 cm² in najmanj velikosti 30–49 cm². Poleg velikega deleža poškodb nad 100 cm² je bila tudi petina poškodb v najmanjšem velikostnem razredu. Z U testom ($p = 0,1611$) in Brandt-Snedecorjevim testom ($\chi^2 = 0,832$ je manjši od mejnega pri $df = 4$ in $\alpha = 0,001$) nismo pokazali značilnih razlik med obema tehnologijama.

Glede mesta novih poškodb med tehnologijama obstajajo razlike; pri prilagojeni strojni sečnji je bilo v povprečju največ poškodb na deblu (42,9 %), nato na koreninah (23,8 %) in korenovcu (21,4 %), pri klasični sečnji pa največ na korenovcu (52,9 %), nato na deblu 23,5 % in 11,8 % na koreninah, vendar niti z U testom niti z Brandt-Snedecorjevim testom nismo pokazali značilnih razlik med tehnologijama.

Pri prilagojeni strojni sečnji je bilo največ na novo poškodovanih dreves v sestoji (42,9 %), nato ob vlakah in sečnih poteh (38,1 %) ter najmanj na razlesnici 19,0 %, pri klasični sečnji pa je bilo največ poškodb ob vlakah (64,7 %), nato v sestoji (29,4 %) in le 5,9 % na razlesnici. Regresijska analiza je pokazala, da je bil delež na novo poškodovanih dreves v značilni povezavi s položajem na ploskvi in jakostjo poseka na ploskvi.

Povprečna gostota pomladka, ki je pokrival 96 % površine sestojev, je v delovnih poljih prilagojene strojne sečnje v povprečju znašala 43.150 osebkov na 1 ha, pri klasični sečnji pa 43.100 osebkov na 1 ha. Pomladek so sestavljali: smreka 36 %, gorski javor 36 %, bukev 17 %, gorski brest 6 %, jelka 5 %, lipa in jerebika skupaj manj kot 1 %. 80 % pomladka na ploskvah je merilo v višino do 50 cm, 11,5 % od 50 do 130 cm, 6,3 % od 130 do 300 cm, in ostali nad 300 cm.

Pred sečnjo je bilo poškodovanega 3,0 % pomladka, 1,9 % zaradi divjadi in 1,1 % pri predhodnih sečnjah. Pri popisu pomladka po končani sečnji in spravilu smo ugotovili, da se je poškodovanost zaradi divjadi povečala na 4,6 %. Divjad bolj objeda nižji pomladek, najbolj gorski brest, jelko in gorski javor, kar je z vidika preraščanja teh vrst v višje razrede neugodno, saj gorskega javorja nad višino 50 cm skoraj nismo našli. V preraščanju višinskih razredov je najuspešnejša bukev, ki prevladuje nad višino 50 cm, ostale vrste pa so v večini v višinskem razredu do 50 cm.

Poškodovanost pomladka po prilagojeni strojni sečnji (brez poškodb divjadi) je v povprečju znašala 33,5 %, po klasični sečnji pa 38,1 %. Pri obeh načinih je bil najbolj poškodovan pomladek do višine 50 cm, po stopnji poškodovanosti pa so prevladovale težje poškodbe, med njimi v večini poškodbe, ki so povzročile trajno uničenje osebkov. Z mešanimi linearnimi modeli pri regresijski analizi nismo pokazali razlik med tehnologijama, potrdili smo značilna dejavnika, ki vplivata na poškodovanost pomladka: bližino prometnic in količino poseka nad mladjem. Relativna poškodovanost pomladka se povečuje z bližino prometnic in z večanjem poseka na ploskvi.

Pomladek s prsnim premerom od 5 do 10 cm (poimenovan »čakalci«) je bil po sestoju razporejen neenakomerno, največ v skupinah, glede na lego v sestoju pa največ na razlesnici. Gostota »čakalcev« je pri prilagojeni strojni sečnji znašala 125 in pri klasični sečnji 67 osebkov na 1 ha, sestavljali pa so ga: bukev 71 %, smreka 28 %, jelka 1 % in ostale vrste skupaj manj kot 1 %.

Pred sečnjo so bili »čakalci« poškodovani v delovnih poljih prilagojene strojne sečnje 7 %, od tega skoraj 5 % od divjadi, v delovnih poljih klasične sečnje pa slabe 3 %, od tega 2 %

od divjadi. Po našem poskusu je poškodovanost »čakalcev« pri prilagojeni strojni sečnji v povprečju znašala 21,5 %, pri klasični sečnji pa 42,5 %. Delež lažje poškodovanih osebkov je pri prilagojeni strojni sečnji znašal 8,5 % in pri klasični sečnji 14,2 %, delež težje poškodovanih pa v istem zaporedju 6,3 % in 27,4 %. Kljub razlikam v deležih poškodovanosti U test ni pokazal značilnih razlik v deležu poškodovanih osebkov med obema tehnologijama ($p = 0,1595$).

Vrednost mediane difuzne svetlobe znaša pri prilagojeni strojni sečnji 10,3 % in pri klasični sečnji 7,6 %, kljub temu pa razlike niso bile statistično značilne ($p = 0,9267$).

V današnjih ekološko naravnanih časih je ocenjevanje in vrednotenje vplivov tehnologij pridobivanja lesa pomemben kriterij dobrega gospodarjenja (Košir in Mihelič, 2011). Med negativnimi vplivi so najvidnejše poškodbe sestoja, v sestojih v obnovi tudi pomladka, in tal. Strojna sečnja je v kombinaciji z motorno žago, na način in v razmerah, opisanih v poskusu, primeren način pridobivanja lesa.

6.2 SUMMARY

Machine logging is limited in Slovenia for ecological reasons such as the forest stand conditions and the terrain (Krč and Košir, 2003). The nature of Slovenian forests is not in favour of machine logging as is it used in Scandinavia, due to the fact that here the proportion of deciduous trees is higher, the trees are larger, the stands are vertically and horizontally very diverse, there's natural regeneration, there's undulating terrain with sinkholes and steeper slopes, and finally we have an unfavorable ownership structure (Diaci and Magajna, 2002). In all measures taken in the forest there is also an accompanying thought, that in Slovenia forest management is done in close to nature and sustainable way where all the ecological, social and economical functions of the forest are achieved simultaneously and interdependently.

Any logging and harvesting will cause some damage to the trees, the young forest and the forest soil. In this research main focus is on the damages to the stands during logging and harvesting using two different methods, to which we also added a summary of some research on soil and roots damages and the consequences of damage to the trees.

From July until the end of October in 2009 we performed an experimental combined machine logging in a spruce stand with admixture of beech, sycamore maple and fir located in the Novo mesto part of Rog in the forest management unit Poljane, compartment 43. The experiment was performed in collaboration with the Biotechnical Faculty's Department of Forestry and Renewable Forest Resources, Slovenia forest service, and the companies Gozdno gospodarstvo and Gozdarstvo Grča dealing with forestry, with the purpose of examining the ecological aspects of combined machine logging in recovering stands.

We compared the motor-manual method of logging using a chainsaw and skidding using an adapted agricultural tractor with the method of using a logging machine (harvester) and skidding with a flexible logging trailer combined with the use of a chainsaw (combined machine logging) in the same environment in terms of terrain, site and stand conditions. The total area of 14 ha was divided into six independent logging units and a toss of coin

determined the method to be applied to each. After having marked the trees for felling and the skid trails we used the circular plots method to record the trees above 10 cm DBH and the regeneration. The same plots were then used to record the observed damage done to the remaining trees and regeneration after the logging. In two of the logging units we also recorded the light conditions.

The growing stock of the stands in average amounted to 520 m³/ha before the logging operation. The intensity of logging was in average at 33% in combined machine logging and at 29% in motor-manual cutting. The difference appeared due to the marked skid trails, which in average measured 140 m/ha per 203 m/ha of already existing skid trails. In motor-manual cutting the average trail length was 173 m/ha.

The recordings of trees on 0.04 ha plots showed that damage to remaining trees in combined machine logging amounted to 41.9% (logging units A) and to 45.0% in motor-manual logging (logging units B). Proportion of the new damages caused in the action of logging was at 13.9% in combined machine logging and at 15.5% in motor-manual cutting. The remaining percentage of damage was due to previous loggings. Statistical comparison using a U test showed no significant difference of these two methods of logging in terms of damage to remaining trees ($p = 0.9812$); not even when comparing solely newly caused damage ($p = 0.4872$).

Percentages of damage to trees according to the sizes of wounds are similarly distributed in both methods. Both displayed most wounds to be of sizes above 200 cm² and least amounts of sizes of 30–49 cm². Apart from the considerable percentage of wounds of sizes above 100 cm², a fifth of all wounds was recorded as the smallest of the size classes. Nonetheless, even the sizes of the wounds do not differ in great significance in these two methods according to the U test ($p = 0.1611$) and Brandt-Snedecor test.

Differences occur between both methods in terms of place of damage, as combined machine logging in average caused most damage to the trunk (42.9%), then to the lowest part of the bole (23.8%) and to the roots (21.4%), whereas in motor-manual cutting most damage was caused to the lowest part of the bole (52.9%), then to the trunk (23.5%) and to

the roots (11.8%). No significant difference was shown in these two methods according to the U test and Brandt-Snedecor test.

In terms of location, in combined machine logging most newly damaged trees were found within stand (41.9%), then next to skid trails and logging paths (38.1%) and least amount was found on the border between skidding directions (19.0%). To compare, in motor-manual cutting most newly damaged trees were found on skid trails (64.7%), then within stand (29.4%) and only 5.9% of such trees were found on border between the predominant skidding directions. Regression analysis showed that the percentage of newly damaged trees was in close correlation with the position of the plots and the intensity of logging.

Average regeneration density amounted to 43,150 specimen/ha in the logging units where combined machine logging was used and to 43,100 specimen/ha in the logging units of the motor-manual cutting method. All together it covered 96% of the shelterwood surface. Young forest was composed of spruce (36%), sycamore maple (36%), beech (17%), mountain elm (6%), fir (5%), and linden and rowan, who together qualify as less than 1%. 80 % of regeneration on the plots measured up to 50 cm in height, 11.5% measured from 50 to 130 cm, 6.3% measured from 130 to 300 cm and the rest measured above 300 cm.

Before the logging 3.0% of the young forest was damaged, 1.9% due to ungulate browsing and 1.1% due to previous loggings. Recording young forest after the logging we discovered that damage due to ungulates rose to 4.6%. Game starts to feed on lower plants: mountain elm, fir tree and sycamore maple in particular. This negatively affects the possibility of these plants growing to higher levels, and we barely found a mountain elm higher than 50 cm. In growing through size classes it is the beech that is most successful, as it dominates with heights above 50 cm, while the remaining species mostly display sizes of up to 50 cm.

Damages to young forest (not considering browsing damages) in average amounted to 33.5% in combined machine logging, and 38.1% in motor-manual cutting. In both methods the most damage was done to regeneration of up to 50 cm of height. Severe wounds predominated and in most cases such wounds caused a permanent destruction of a

particular specimen. The mixed linear models of regression analysis showed no differences between the two methods, but have in turn pinpointed the two significant factors in young forest damaging: proximity to skid trails and amount of harvesting over seedlings. Relative damage to the young forest increases with proximity to skid trails and with increasing harvesting on a plot.

Small trees with a DBH of 5 to 10 cm (saplings) were distributed unevenly, often in groups, and according to location mostly on the predominant skidding directions. The density of such specimen was at 125 specimen/ha in units with combined machine logging and at 67 specimen/ha in units with motor-manual cutting. They were composed of beech (71%), spruce (28%), fir (1%) and the remaining species of less than 1%.

Before being harvested, such small trees had been damaged in 7% of specimen in logging units where combined machine logging was used and of this, 5% had been caused by ungulates. In logging units where motor-manual cutting was used, the small trees had been damaged in 3% of specimens, of which 2% had been due to wild game. After the experiment the damage in units with combined machine logging amounted to 21.5% and in units with motor-manual cutting to 42.5%. The percentage of specimens with minor injuries amounted to 8.5% in combined machine logging and to 14.2% in motor-manual cutting. Serious injuries were obtained in 6.3% and 27.4%, respectively. Despite the differences in proportions of damages, U test has shown no significant differences in both methods ($p = 0.1585$).

The median value of the diffused light amounts to 10,3% in combined machine logging and to 7,6% in motor-manual logging. Despite that, differences are statistically insignificant ($p = 0.9267$).

In times of such strong ecological orientations, evaluating and assesing the influences of different methods for wood harvesting is an important factor for sound management (Košir and Mihelič, 2011). Most prominent negative impact is caused by damaging the remaining stand, in regenerating stands also regeneration and the forest soil. Our experiment has

shown that combining machine logging with the use of a chainsaw is an appropriate method for wood harvesting in the conditions and in the manner described.

7 VIRI

- Avsenek A., Beguš J., Gartner A., Lesnik T., Papler-Lampe V., Bajželj B. 2009. Strojna sečnja v gozdovih na Pokljuki 2009: sporočilo za javnost 29. oktober 2009. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije: 10 str.
- Bachofen H. 2009. Nachhaltige Verjüngung in ungleichförmigen Beständen. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 160, 1: 2–10.
- Bolker, B.M., Brooks, M.E., Clark, C.J., Geange, S.W., Poulsen, J.R., Stevens, M.H.H., White, J.-S.S. 2009. Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. Trends in Ecology and Evolution, 24: 127–135.
- Cerjak B. 2011. Poškodbe tal po strojni sečnji in spravilu lesa v redčenjih: diplomsko delo (Univ. v Ljubljani, BF, Odd. za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire), Ljubljana, samozal.: 86 str.
- Clatterbuck W.K. 2006. Logging damage to residual trees following commercial harvesting to different overstory retention levels in a mature hardwood stand in Tennessee. V: Proceedings of the 13th biennial southern silvicultural research conference. Gen. Tech. Rep. SRS-92. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station: 591–594.
- Čater M., Diaci J., Roženberger D. 2014. Gap size and position influence variable response of *Fagus sylvatica* L. and *Abies alba* Mill. Forest Ecology and Management, 325: 128–135.
- Delavec J. 2003. Primerjava strojne in klasične tehnologije sečnje in spravila lesa: diplomsko delo, visokošolski strokovni študij (Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 67 str.
- Diaci J. 1999. Meritve sončnega sevanja v gozdu – I: presoja metod in instrumentov. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 58: 105–138.
- Diaci J., Adamič T., Rozman A. 2012. Gap recruitment and partitioning in an old-growth beech forest of the Dinaric Mountains: Influences of light regime, herb competition and browsing. Forest ecology and management, 285: 20–28.
- Diaci J., Magajna B. 2002. Nekateri predhodni gozdnogojitveni usmeritve pri uvajanju strojne sečnje v Sloveniji. V: Strojna sečnja v Sloveniji: zbornik ob posvetovanju. Krajčič D. (ur.). Ljubljana, Gospodarska zbornica Slovenije, Združenje za gozdarstvo: 33–47.
- Diaci J., Roženberger D., Nagel T.A. 2010. Sobivanje jelke in bukve v Dinaridih: usmeritve za ohranitveno gospodarjenje z jelko. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 91: 59–74.
- Eliasson L., Lageson H., Valinger E. 2003. Influence of sapling height and temperature on damage to advance regeneration. Forest Ecology and Management, 175: 217–222.
- Evidence poseka od leta 2004 do 2014, ZGS, OE Novo mesto (neobjavljeno).
- Fjeld D., Granhus A. 1998. Injuries after selection harvesting in multi-storied spruce stands- the influence of operating systems and harvest intensity. International Journal of forest engineering, 9, 2: 1913–2220.
- Fröding A. 1988. Thinning damage - a study of 403 stands in Sweden in 1988. V: Report no. 193. Garpenberg, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of operational efficiency: 45 str.

- Glöde D. 2002. Survival and growth of *Picea abies* regeneration after shelterwood removal with single- and double- grip harvester systems. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 17: 417–426.
- Glöde D, Sikström U. 2001. Two felling methods in final cutting of shelterwood, single-grip harvester productivity and damage to the regeneration. *Silva Fennica*, 35,1: 71–83.
- Gospodarske osnove 1953–1962 za Gozdni obrat Poljane. 1953. KGP Novo mesto.
- Gozdnogojitveni načrt za oddelek 43. 2000. Gozdnogospodarska enota Poljane, Krajevna enota Podturn.
- Gozdnogojitveni načrt za oddelek 43. 2009. Gozdnogospodarska enota Poljane, Krajevna enota Podturn.
- Gozdnogospodarski načrt Gozdnogospodarskega območja Novo mesto (2011–2020). 2012. Novo mesto, Zavod za gozdove Slovenije, Območna enota Novo mesto: 295 str.
- Gozdnogospodarski načrt za gospodarsko enoto Poljane za leto 1983–1992. 1983. Novo mesto, Zavod za gozdove Slovenije, Območna enota Novo mesto, Krajevna enota Podturn.
- Gozdnogospodarski načrt za gospodarsko enoto Poljane za leto 2004–2013. 2004. Novo mesto, Zavod za gozdove Slovenije, Območna enota Novo mesto, Krajevna enota Podturn.
- Gozdnogospodarski načrt gozdnogospodarske enote Poljane 2014–2023. 2014. Novo mesto, Zavod za gozdove Slovenije, Območna enota Novo mesto, Krajevna enota Podturn.
- Granhus A., Fjeld D. 2001. Spatial distribution of injuries to Norway spruce advance growth after selection harvesting. *Canadian Journal Forest Research*, 31: 1903–1913.
- Grebenc T., Kraigher H. 2009. Interakcije v mikorizosferi določajo dinamiko ogljika v ekosistemu bukovih gozdov. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 88: 11–19.
- Han H-S. 1997. Damage to young douglas-fir stands from commercial thinning with various timber harvesting systems and silvicultural prescriptions: characteristics, sampling strategy for assessment and future value loss. Oregon State University, dissertation thesis, 140 str.
- Jakše A. 2013. Primernost strojne sečnje v slovenskih gozdovih. *Revija za univerzalno odličnost*, 2, 1: 10–18.
- Jež P. 2009. Razvoj tehnologije pridobivanja lesa v snežniških gozdovih. *Gozdarski vestnik*, 67, 5–6: 292–295.
- Judnič M. 2006. Gojitveni vidiki uporabe strojne sečnje za redčenje sestojev s prevladujočimi listavci: diplomsko delo. (Univ. v Ljubljani, BF, Odd. za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire), Ljubljana, samozal.: 53 str.
- Judnič M. 2007. Primerjava svetlobnih razmer po redčenju sestojev s klasično in strojno sečnjo: strokovna naloga. Črnomelj, Zavod za gozdove Slovenije, OE Novo mesto (neobjavljeno): 21 str.
- Južnič B. 1984. Poškodbe pri sečnji in spravilu lesa v bukovih drogovnjakih: diplomsko delo (Univ. v Ljubljani, BF, Odd. za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 75 str.
- Južnič D. 2012. Poškodbe tal pri strojni sečnji in spravilu lesa na objektu Mozelski Šahen: diplomsko delo (Univ. v Ljubljani, BF, Odd. za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 35 str.

- Klun J., Poje A. 2000. Spravilo lesa z zgibnim traktorjem IWAFUJI-41 in poškodbe pri sečnji in spravilu: diplomsko delo (Univ. v Ljubljani, BF, Odd. za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 140 str.
- Košir B. 1998. Presoja koncepta zgodnjih redčenj z vidika porabe energije in poškodb sestojev. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 56: 55–71.
- Košir B. 2000. Primerjava rezultatov modela poškodb drevja v sestoju zaradi pridobivanja lesa in rezultatov terenskih opazovanj. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 62: 53–86.
- Košir B. 2002a. Tehnološke možnosti strojne sečnje. V: Strojna sečnja v Sloveniji: zbornik ob posvetovanju. Krajčič, D. (ur.). Ljubljana, Gospodarska zbornica Slovenije, Združenje za gozdarstvo: 7–20.
- Košir B. 2002b. Vpliv strojne sečnje na sestoj in gozdna tla. V: Strojna sečnja v Sloveniji: zbornik ob posvetovanju. Krajčič, D. (ur.). Ljubljana, Gospodarska zbornica Slovenije, Združenje za gozdarstvo: 66–82.
- 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.
- Košir B. 2010. Gozdna tla kot usmerjevalec tehnologij pridobivanja lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 80 str.
- Košir B., Cedilnik, A. 1996. Model naraščanja števila poškodb drevja pri redčenjih. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 48: 135–151.
- Košir B., Mihelič M. 2011. Primerjava poškodb drevja v pretežno iglastih sestojih po strojni sortimentni metodi s poškodbami drevja po klasičnih oblikah sečnje in spravila lesa. Gozdarski vestnik, 69, 10: 447–458.
- Košir, B., Robek, R. 2000. Značilnosti poškodb drevja in tal pri redčenju sestojev s tehnologijo strojne sečnje na primeru delovišča Žekanec. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 62: 87–115.
- Kotar M. 2003. Gozdarski priročnik. Kotar M. (ur.). Ljubljana: 414 str.
- Kotar M. 2005. Zgradba, rast in donos gozda na ekoloških in fizioloških osnovah. Zveza gozdarskih društev Slovenije in Zavod za gozdove Slovenije: 500 str.
- Kovač M, Simončič, P. 2015. Trideset let (1985–2015) spremljanja stanja gozdov v Sloveniji. V: 30 let spremljanja stanja gozdov v Sloveniji. Vihar U., Žlindra D. (ur.). Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, Založba Silva slovenica: 6–8.
- Kraigher H. 2013. Klimatske spremembe ter vplivi antropogenih motenj na primarno produkcijo v gozdnih tleh. Zaključno poročilo raziskovalnega projekta. Gozdarski inštitut Slovenije, 25 str.
- Krč J. 2002. Sestojne in terenske možnosti za strojno sečnjo v Sloveniji. V: Strojna sečnja v Sloveniji- Zbornik ob posvetovanju. Krajčič D. (ur.). Ljubljana, GZS: 21–32.
- Krč, J. 2010. Assessment of mechanized cutting operations in the Slovenian state forests. Forest Engineering: Meeting the Needs of the Society and the Environment, July 11 – 14, 2010, Padova – Italy, 11 str.
- Krč J., Košir, B. 2003. Presoja različic omejitev rabe strojne sečnje lesa z vidika terenskih in sestojnih razmer v Sloveniji. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 71: 5–18.
- Krč J., Mihelič M., Primožič J., Levstek J., Beguš J., Papler-Lampe V. 2013. Vodila dobrega ravnanja pri strojni sečnji in spravilu lesa z zgibnimi polprikoličarji: delovno gradivo. Mihelič M. (ur.). Ljubljana, BF, Odd. za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 50 str.

- Krivec A. 1975. Racionalizacija delovnih procesov v sečnji in izdelavi in spravilu lesa glede na delovne razmere in poškodbe. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 13, 2: 145-193.
- Limbeck-Lilienau, B. 2003. Residual stand damage caused by mechanized harvesting systems. V: Austro 2003, High tech forest operations for mountainous terrain, Oct. 5-9, Schlaegl – Austria, 11 str.
- Lipoglavšek M. 2001. Vpliv poškodb drevja na kakovost gozdnih lesnih sortimentov. Gozdarski vestnik, 59, 3: 155.
- Mali B. 2005. Poškodbe tal po sečnji s strojem za sečnjo in spravilu lesa z zgibnim polprikoličarjem: diplomsko delo. (Univ. v Ljubljani, BF, Odd. za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire), Ljubljana, samozal.: 62 str.
- Mali B., Košir B. 2007. Poškodbe tal po strojni sečnji in spravilu lesa z zgibnim polprikoličarjem. Gozdarski vestnik, 65, 3: 131-142.
- Marenče J, Pezdevšek Malovrh Š, Krč J. 2012. Organizacija in tehnologija izkoriščanja gozdov in njun prispevek v realizaciji možnega poseka v zasebnih gozdovih. Gozdarski vestnik, 70, 4: 183-188.
- Marinšek A., Diaci J. 2004. Razvoj inicialne faze na vetrolomni površini v pragozdnem ostanku Ravna gora. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 73: 31-50.
- McDonald T. P., Seixas F. 1997. Effect of Slash on Forwarder Soil Compaction. Journal of Forest Engineering, 8, 2: 15-26
- Mihelič M. 2014. Gospodarnost in okoljski vidiki tehnologij pridobivanja lesnih sekancev za energetske rabo: doktorska disertacija. (Univ. v Ljubljani, BF, Odd. za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire), Ljubljana, samozal.: 284 str.
- Mikec S. 2011. Spravilo lesa iz pomlajenih sestojev na območju novomeškega Roga: diplomsko delo, visokošolski strokovni študij (Univ. v Ljubljani, BF, Odd. za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire), Ljubljana, samozal.: 62 str.
- Modig E., Magnusson B., Valinger E., Cedergren J. & Lundqvist L. 2012. Damage to residual stand caused by mechanized selection harvest in uneven-aged *Picea abies* dominated stands. Silva Fennica, 46, 2: 267-274.
- Oven P. 2001. Odziv skorje jelke na mehanske poškodbe. Gozdarski vestnik, 59, 2: 78-84.
- Perme Z. 2008. Razvoj mladja v vrzelih pragozdnega rezervata Rajhenavski Rog: diplomsko delo (Univ. v Ljubljani, BF, Odd. za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire), Ljubljana, samozal.: 45 str.
- Petreš S. 2006. Oštečevanje ponika i pomladka pri privitlavanju i privlačenju oblovine traktorom LKT 81 T iz dovršne sječine hrasta lužnjaka. Šumarski list, 3-4: 87-100.
- Pinheiro J.C., Bates D.M. 2000. Mixed Effects Models in S and S-PLUS. Springer, New York, 528 str.
- Piškur M. 2001. Vpliv mehanskih poškodb drevja na vrednost in strukturo gozdnih lesnih sortimentov. Gozdarski vestnik, 59, 3: 128-138.
- Papac B. 1992. Prostorska in časovna predstavitev nastanka poškodb pri sečnji in spravilu lesa s traktorjem: diplomska naloga (Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 79 str.
- Rebula E. 1993. Vpliv vlak na priraščanje dinarskega jelovo-bukovega gozda. Gozdarski vestnik, 51, 3: 120-132.
- Robek R. 2001. Obseg in značilnosti mehanskih poškodb drevja v slovenskih gozdovih po popisu poškodovanosti gozdov in gozdnih ekosistemov leta 2000. Gozdarski vestnik, 59, 2: 68-77.

- Robek R., Kraigher H., Košir B. 2000. Tree root development in compacted soil due to logging operations. V: XXI. IUFRO World congress in Kuala Lumpur, Malaysia, 23-31.
- Robek R., Medved M. 1997. Poškodbe drevja zaradi izvajanja gozdarskih del po podatkih popisov propadanja gozdov v Sloveniji. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 52: 119-136.
- Robinson A.P., Hamann J.D., 2010. Forest Analytics with R: an Introduction. Springer, 339 str.
- Roženberger D. 2007. Vpliv svetlobe na razrast bukovega mladovja v gospodarskem gozdu in pragozdu na dinarskih jelovo-bukovih rastiščih kočevskega roga: magistrsko delo (Univ. v Ljubljani, BF, Odd. za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire), Ljubljana, samozal.: 107 str.
- Roženberger D., Mikac S., Anić I., Diaci J. 2007. Gap regeneration patterns in relationship to light heterogeneity in two old-growth beech – fir forest reserves in South East Europe. Forestry, 80, 4: 431–443.
- Rugani T., Nagel T.A., Roženberger D., Diaci J. 2008. Zgradba in razvoj pragozdov in ohranjenih bukovih gozdov v Evropi. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 87: 33–44.
- Shepperd W.D. 1993. The Effect of Harvesting Activities on Soil Compaction, Root Damage, and Sucker in Colorado Aspen. Western Journal of Forestry, 8, 2: 62-66.
- Sikström U., Glöde D. 2000. Damage to *Picea abies* regeneration after final cutting of shelterwood with single- and double-grip harvester systems. Scandinavian Journal of Forest Research, 15: 274–283.
- Simončič P., Kovač M., Čater M., Levanič T. in drugi. 2015. Poročilo o spremljanju stanja gozdov za leto 2014. Skudnik, M. in Simončič, P. (ur), Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 91 str.
- Sirén M., Surakka H. 2010. Sapling damage in mechanized selection cuttings. V: Forest Engineering: Meeting the needs of the society and the environment, 11-14. July, 2010, Padova-Italy: 8 str.
- Skudnik M. 2015. Stanje krošenj in poškodbe drevja. V: 30 let spremljanja stanja gozdov v Sloveniji. Vilhar U., Žlindra D. (ur.). Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, Založba Silva slovenica, str. 12–13.
- Spinelli R., Lombardini C., Magagnotti N. 2013. Salvaging windthrown trees with animal and machine systems in protected areas. Ecological Engineering, 53: 61–67.
- Stańczykiewicz A., M. Sowa J., Kulak D., Leszczyński K., Szewczyk G. 2012. Damage to trees and regeneration layer resulting from timber harvesting with the use of equipment aggregated with farm tractors in thinned pine stands. Acta Scientiarum polonorum. Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar, 11, 2: 37–51.
- Stokes V., Kerr G., Ireland D. 2009. Seedling height and the impact of harvesting operations on advance regeneration of conifer species in upland Britain. Forestry, 82: 185–198.
- Surakka H., Sirén M., Heikkinen J., Valkonen, S. 2011. Damage to saplings in mechanized selection cutting in uneven-aged Norway spruce stands. Scandinavian Journal of Forest Research, 26: 232–244.
- Šolar S. 1994. Nastanek poškodb v sestoju po miniranju ter sečnji in spravilu lesa: diplomsko delo (Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 75 str.
- Šušnjar M. 2005. Istraživanje međusobne ovisnosti značajki tla traktorske vlake i vučne značajke skidera: disertacija, 292 str.

- Šušnjar M., Horvat D., Šešelj J. 2006. Soil compaction in timber skidding in winter conditions. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 27, 1: 3–15.
- Torelli N. 2001. Odziv drevja na globoke in površinske poškodbe na primeru bukve (*Fagus sylvatica* L.) s poudarkom na nastanku in ekologiji ranitvenega lesa ("rdeče srce"). *Gozdarski vestnik*, 59, 2: 85–94.
- Torelli N. 2006. Vpliv razvoja, staranja in poškodovanj drevesa na lastnosti in kvaliteto lesa. *Gozdarski vestnik*, 64, 9: 428–441.
- Triplat M., Prislán P., Krajnc N. 2015. Decision-Making Tool for Cost-Efficient and Environmentally Friendly Wood Mobilisation. *South-east Eur for* 6, 2: 179–190.
- Vilhar U., Simončič P., Kajfež-Bogataj L., Katzensteiner K., Diaci J. 2006. Mikroklimatske razmere v vrzelih in sestojih dinarskega jelovo-bukovega gozda. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 81: 21–36.
- Vora R.S. 1988. Potencial soil compaction forty years after logging in northeastern California. *Great Basin Naturalist*, 48, 1: 117–120.
- Vranešič U. 2008. Primerjava stroškov in učinkov dveh tehnologij pridobivanja lesa v listnatih sestojih: diplomsko delo (Univerza v Ljubljani, BF, Odd. za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 81 str.
- Williamson J. R., Neilsen W. A. 2000. The influence of forest site on rate and extent of soil compaction and profile disturbance of skid trails during ground-based harvesting. *Canadian Journal of Forest Research*, 30: 1196–1205.
- Zabukovec E. 2012. Tereni, primerni za strojno pridobivanje lesa v gozdnogospodarskem območju Postojna: diplomsko delo (Univerza v Ljubljani, BF, Odd. za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 73 str.
- Zuur A.F., Ieno E.N., Walker N.J., Saveliev A.A., Smith G.M. 2009. *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*. Springer, New York, 574 str.
- Žagar Z. 1982. Poškodbe drevja ob vlakah pri spravilu različno dolgega lesa z IMT-558: diplomsko delo (Univerza v Ljubljani, BF, Odd. za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 50 str.
- Železnik P., Mali B., Robek R., Simončič P., Kraigher H. 2011. Vpliv težke mehanizacije za strojno sečnjo na tla in drobne korenine. V: *Odzivi gozdne tehnike in gozdarstva na spremenjene razmere gospodarjenja: zbornik razširjenih povzetkov: XXVIII. Gozdarski študijski dnevi*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 40–42.
- Žemva A. 2007. Problematika poškodb od jelenjadi zaradi obgrizenja in lupljenja drevja ter ukrepi za njihovo preprečevanje v OE Bled ZGS: diplomsko delo- visokošolski strokovni študij (Univerza v Ljubljani, BF, Odd. za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 50 str.

ZAHVALA

Prva zahvala gre revirnima gozdarjema v GGE Poljane; Avguštin Antonu in Fink Jošku, ki sta pomagala pri iskanju objekta, sprejela dodatno delo in upoštevala navodila v zvezi z metodami dela. Brez njunega znanja in izkušenj poskus ne bi tako dobro uspel.

Hvala Gozdnemu gospodarstvu Novo mesto in Gozdarstvu Grča za korektno sodelovanje pri poskusu. Z njihovim trdom smo dokazali, da je vse mogoče, če se hoče.

Hvala mentorju, prof. dr. Juriju Diaciju, in njegovim sodelavcem za ažurnost in prizadevanje, da nalogo pravočasno dokončam. Njihov trud je neprecenljiv.

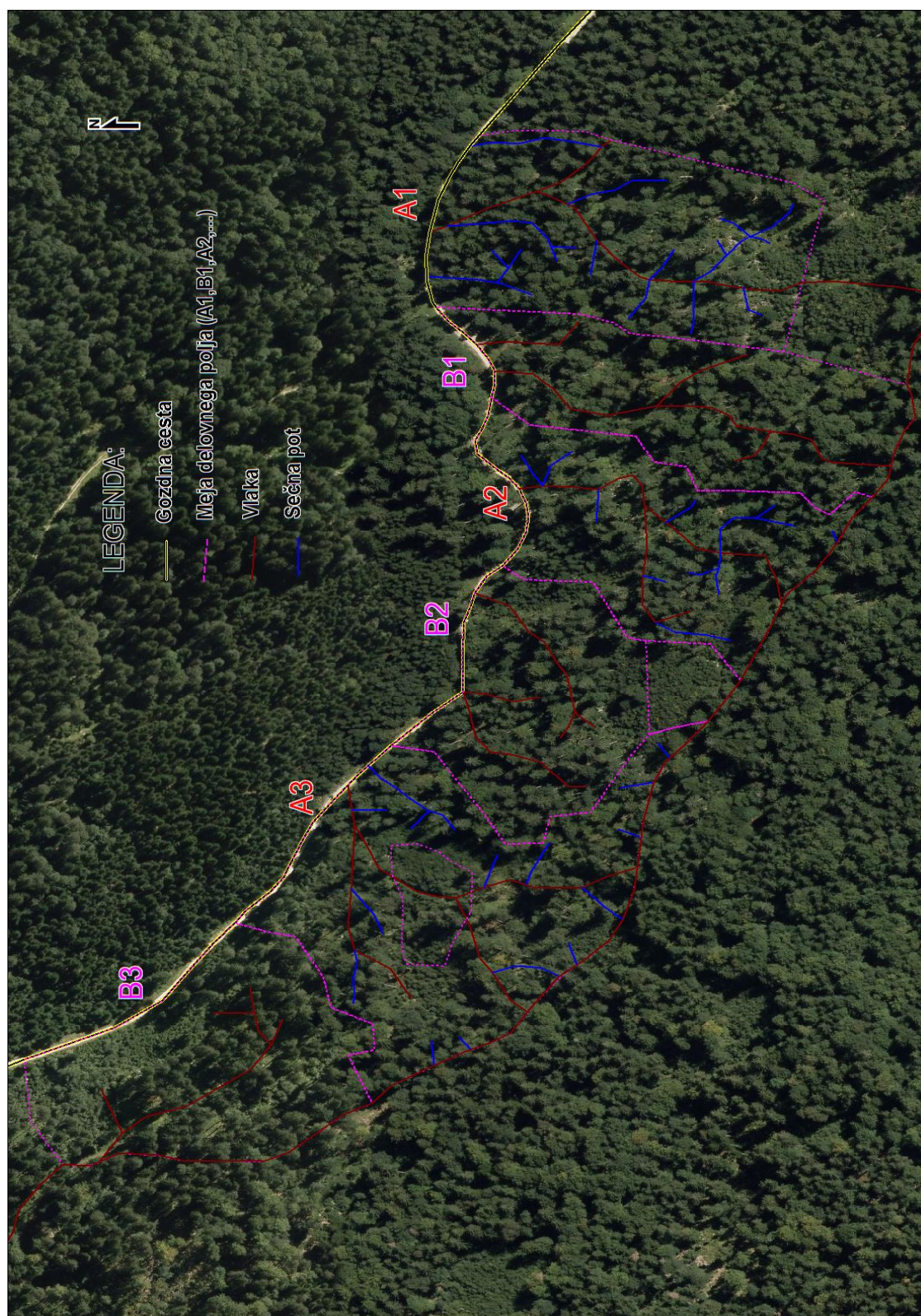
Hvala prof. dr. Boštjanu Koširju za sodelovanje in nasvete. Hvala tudi dr. Matevžu Miheliču, Boštjanu Gorišku, Brunu Kondi in Sebastjanu Mikcu, ker so s svojimi nalogami sodelovali v projektu.

Hvala tudi vsem ostalim kolegicam in kolegom gozdarjem, ki so mi kakorkoli pomagali pri nastajanju naloge, še posebej tistim na Oddelku za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire in Gozdarskem inštitutu Slovenije, ki so mi v času študija posredovali potrebne vire in informacije, do katerih od doma nisem imela dostopa.

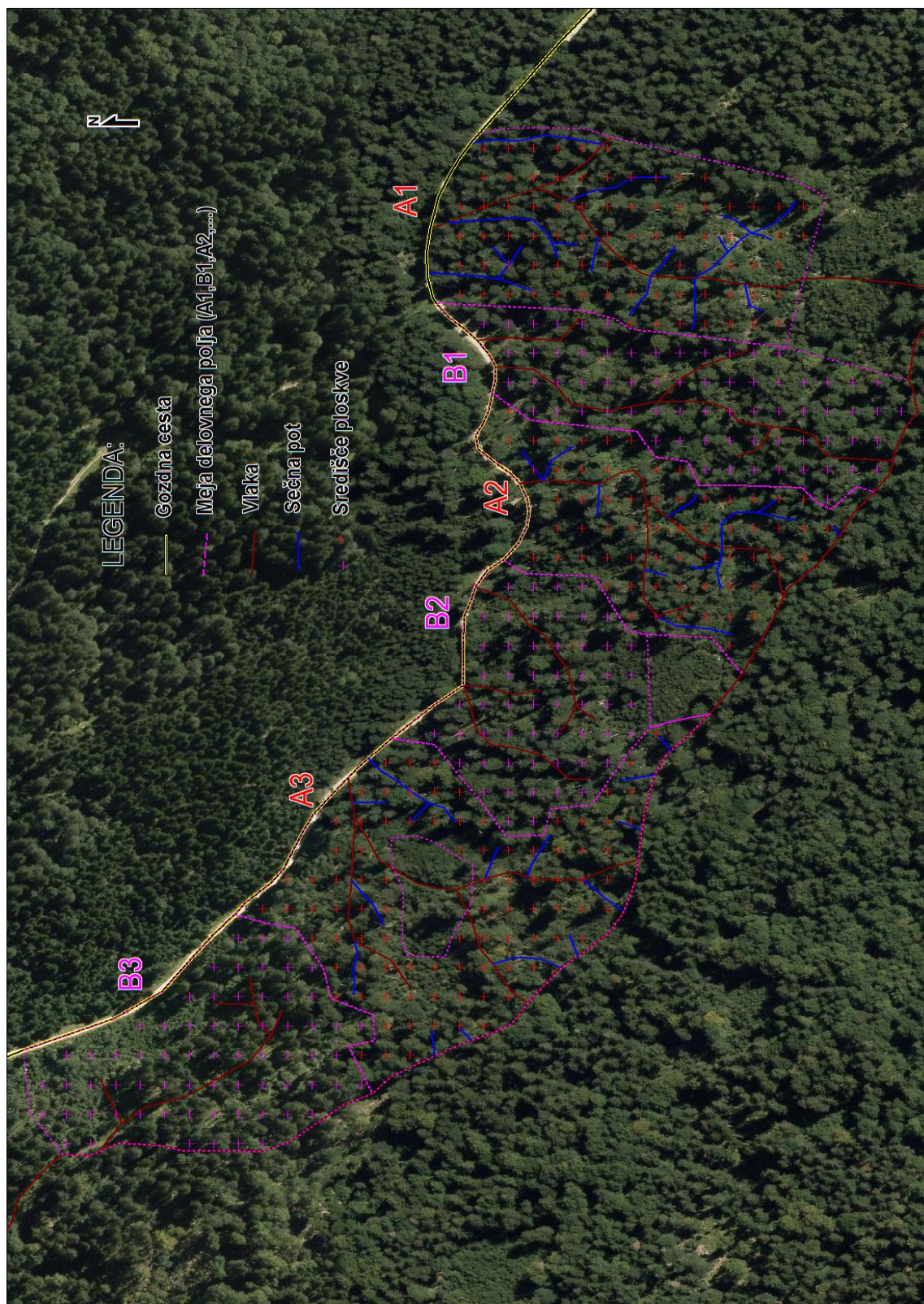
Hvala vsem, ki so verjeli vame in me spodbujali.

PRILOGE

PRILOGA A: Prikaz objekta z delovnimi polji in prometnicami



PRILOGA B: Mreža ploskev na objektu primerjave prilagojene strojne sečnje in klasične sečnje



PRILOGA C: Popis dreves na ploskvah velikosti 4 are pred in po sečnji in spravilu

Datum popisa pred sečnjo:

Delovno polje:

Snemalca:

Št. ploskve:

V

Koordinate mreže:

r =

Datum popisa po sečnji:

x =

Nagib= %

Snemalca:

y =

Ekspozicija=

							Popis po sečnji		
Zap. št.	Drev. vrsta	Azimut	Razdalja	Premer	Goj. vloga	Pol. v sest.	Vel. pošk.	Starost p.	Mesto p.
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									

Gojitvena vloga:

1 - izbranec

2 -indiferenten

3-odkazan

4- neposekan

5-dodatno posekan

Velikost poškodbe:

1- nepoškodovan

2- 10 do 29 cm²

3- 31 do 49 cm²

4- 51 do 99 cm²

5- 101 do 199 cm²

6- nad 200 cm²

Starost poškodbe:

0- ni poškodbe

1- nova

2- stara

3- nova + stara

Mesto poškodbe:

1- krošnja

2- veje deblo

3- deblo

4- korenovec

5- korenine

Položaj v sestoji (obkroži številko):

1- ob prometnici (pri strojni sečnji do 4 m od najbližje sečne poti, pri klasiki do 15 m od vlake)

2- v sestoji (pri strojni sečnji 4 do 8 m od sečne poti, pri klasiki 15 do 30 m od vlake)

3- na razlesnici (pri strojni sečnji nad 8 m od sečne poti, pri klasiki nad 30 m od vlake)

PRILOGA D: Popis »čakalcev« (5 do 10 cm DBH) na ploskvah velikosti 4 are pred in po ukrepu

Datum popisa pred sečnjo:

Delovno polje:

Datum popisa po sečnji:

Št. ploskve:

Zap št.	Dv	Popis pred sečnjo							Popis po sečnji				
		Azimut	Razdalja	Premer	Višina	Gojitv. vloga	Položaj v sestoji	Poškodba	1	2	3	4	5
1													
2													
3													
4													
5													

Šifrant

Gojitvena vloga:

- 1 - izbranec
- 2 -indiferenten

Položaj v sestoji:

- 1- ob prometnici
- 2- v sestoji
- 3- na razlesnici

Poškodovanost:

- 0- nepoškodovan
- 1- poškodovan pri sečnji
- 2- poškodovan od divjadi

Poškodovan je osebek, ki ima poškodovan terminalni poganjek ali odrgnjeno skorjo na stebelu, ki še ni zaceljena.

Popis poškodovanosti po sečnji in spravilu:

1) polomljen glavni poganjek ali steblo

- a) terminalni poganjek poškodovan, stranski vrhni poganjki delno ali nepoškodovani
- b) deblo polomljeno v spodnji polovici in ni nadomestnega poganjka

2) poškodovanost stranskih poganjkov, vej

- a) do 50 % stranskih vej polomljenih
- b) več kot 50 % vej polomljenih

3) poškodovanost debla, odrgnjena skorja

- a) do 50 % oboda debla poškodovanega
- b) nad 50 % oboda debla poškodovanega

4) izruvani, manjkajoči oz. uničeni osebki

- a) osebek delno izruvan ali nagnjen do 45° iz vertikale
- b) osebek izruvan ali nagnjen več kot 45°

5) prekriti osebki s sečnimi ostanki ali prstjo in opadom

- a) osebek delno prekrit in se bo še dvignil
- b) osebek prekrit in se ne bo več dvignil

PRILOGA E: Snemalni list za popis pomladka ($r = 1$ m) pred sečnjo

Datum snemanja:

Snemalca:

$r = 1$ m

Nagib: %

Ekspozicija:

Delovno polje:

Št. ploskve:

Skica:

Dv.v.	Do 50 cm		50 do 130 cm		130 do 300 cm		3 m do 5 cm DBH	
	Nepošk.	Poškod.	Nepošk.	Poškod.	Nepošk.	Poškod.	Nepošk.	Poškod.
Bukev								
		divjad		divjad		divjad		divjad
G. javor								
		divjad		divjad		divjad		divjad
Smreka								
		divjad		divjad		divjad		divjad
Jelka								
		divjad		divjad		divjad		divjad
G. brest								
		divjad		divjad		divjad		divjad

Razdalja in azimut od središča ploskve do sredine (__, __ m, ____°)

najbližje sekundarne prometnice (vlake ali sečne poti)

Razdalji in azimuta do dveh najbližjih dreves (__, __ m, ____°); (__, __ m, ____°)

Poškodovan je osebek, ki ima poškodovan terminalni poganjek ali odrgnjeno skorjo na steblu, ki še ni zaceljena.

Položaj ploskve glede na prometnico (obkroži številko):

- 1- ob prometnici (pri strojni sečnji do 4 m od najbližje sečne poti, pri klasiki do 15 m od vlake)
- 2- v sestoji (pri strojni sečnji 4 do 8 m od sečne poti, pri klasiki 15 do 30 m od vlake)
- 3- na razlesnici (pri strojni sečnji nad 8 m od sečne poti, pri klasiki nad 30 m od vlake)

PRILOGA F: Snemalni list za popis pomladka ($r = 1$ m) po sečnji in spravilu

Datum snemanja:

Delovno polje:

Snemalca:

Št. ploskve:

Do 50 cm												
	1		2		3		4		5		Pošk.od divjadi	Nepošk.
Dv	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b		
Bu												
G.jav												
Sm												
Je												
Brest												

50 do 130 cm												
	1		2		3		4		5		Pošk.od divjadi	Nepošk.
Dv	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b		
Bu												
G.jav												
Sm												
Je												
Brest												

130 do 300 cm												
	1		2		3		4		5		Pošk.od divjadi	Nepošk.
Dv	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b		
Bu												
G.jav												
Sm												
Je												
Brest												

300 cm do 5 cm DBH												
	1		2		3		4		5		Pošk.od divjadi	Nepošk.
Dv	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b		
Bu												
G.jav												
Sm												
Je												
Brest												

Opombe: