

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN OBNOVLJIVE GOZDNE
VIRE

Damjan JUŽNIČ

**POŠKODBE TAL PRI STROJNI SEČNJI IN
SPRAVILU LESA NA OBJEKTU MOZELJSKI
ŠAHEN**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij – 1. stopnja

Ljubljana, 2012

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN OBNOVLJIVE GOZDNE VIRE

Damjan JUŽNIČ

**POŠKODBE TAL PRI STROJNI SEČNJI IN SPRAVILU LESA NA
OBJEKTU MOZELJSKI ŠAHEN**

DIPLOMSKO DELO
(Univerzitetni študij – 1. stopnja)

**ASSESSING SOIL DISTURBANCE USING CTL TECHNOLOGIES
A CASE STUDY IN COMPARTMNT MOZELJSKI ŠAHEN**

B. Sc. Thesis
(Academic Study Programmes)

Ljubljana, 2012

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija gozdarstva in obnovljivih gozdnih virov. Opravljeno je bilo na Katedri za gozdno tehniko in ekonomiko Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Terenski del diplomske naloge je potekal v gozdnogospodarskem območju Kočevje.

Študijska komisija Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire je na seji dne 1.6.2012 za mentorja diplomskega dela imenovala doc. dr. Jurija Marenčeta, za somentorja diplomskega dela pa prof. dr. Boštjana Koširja.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Diplomska naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svoje naloge v celoti na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Damjan Južnič

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Du1
DK	GDK 371+461(497.4Mozeljški Šahn):(043.2)=163.6
KG	poškodbe tal/strojna sečnja/sečni ostanki
AV	JUŽNIČ, Damjan
SA	MARENČE, Jurij (mentor)/KOŠIR, Boštjan (somentor)
KZ	SI – 1000 Ljubljana, Večna pot 83
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire
LI	2012
IN	POŠKODBE TAL PRI STROJNI SEČNJI IN SPRAVILU LESA NA OBJEKTU MOZELJSKI ŠAHEN
TD	diplomsko delo (univerzitetni študij – 1. stopnja)
OP	VI, 33 str., 12 pregl., 13 sl., 1 pril., 15 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	

Avgusta 2011 so bile v Mozeljskem Šahnu na Kočevskem opravljene meritve poškodb tal pri strojni sečnji. Cilj je bil ugotoviti ključne dejavnike, ki največ vplivajo na velikost poškodb, poleg tega pa tudi odgovoriti na vprašanje, kako jih zmanjšati. Na raziskovalnem objektu je bilo predhodno postavljenih 31 prečnih profilov. Na vsakem profilu so bile poškodbe tal ugotovljene na osnovi globine kolesnic. Ob tem je bila določena tudi smer spravila, izmerjena je bila vlažnost in nosilnost tal ter širina in globina kolesnic - najprej po sečnji s strojem in nato še po spravilu z zgibnim polprikoličarjem. Površina objekta raziskave je znašala 3,98 ha, skupna dolžina sečnih poti pa 2256 m. Na objektu je bila povprečna širina sečne poti po spravilu lesa 390,63 cm. V primerjavi s širino sečne poti po sečnji je bila v povprečju širša za 14,5 cm. S statistično analizo je bilo potrjeno, da z zgibnim polprikoličarjem nastanejo širše poti in s tem večje poškodbe na tleh. Vzrok za večjo širino sečnih poti po spravilu je večje število prehodov. Po spravilu lesa je znašala povprečna globina kolesnic 9,1 cm. Na objektu je bilo 13,3 % naraslih, 50 % kolesnic je bilo globokih do 10 cm in 36,7 % kolesnic je bilo globljih od 10 cm. Le dve kolesnici sta bili globlji od 20 cm in na objektu ni bilo prisotnih nedovoljenih kolesnic (nad 30 cm). Ugotovljeno je bilo, da sta stroja primerna za redčenje drogovnjakov. Spravilo lesa povzroča večje globine kolesnic kot sečnja, saj imajo stroji pri spravilu maso tudi okoli 30 t. Z večanjem števila prehodov pa se povečujejo tudi globine kolesnic. Delež motene površine po spravilu je znašal 22 %, po sečnji pa je bil ta delež za 1 % nižji. Gostota sečnih poti na objektu je znašala 566,8 m/ha. Ugotovljen je bil ugoden vpliv sečnih ostankov na zmanjšanje poškodb tal.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Du1
DC GDK 371+461(497.4Mozeljški Šahn):(043.2)=163.6
CX soil damage/mechanized logging/logging residues/
AU JUŽNIČ, Damjan
AA MARENČE, Jurij (supervisor)/ KOŠIR, Boštjan (co-advisor)
PP SI – Ljubljana, Večna pot 83
PB University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Department of Forestry and Renewable Forest Resources
PY 2012
TI ASSESSING SOIL DISTURBANCE USING CTL TECHNOLOGIES.
A CASE STUDY IN COMPARTMNT MOZELJSKI ŠAHEN
DT B. Sc. Thesis (Academic Study Programmes)
NO VI, 33 p., 12 tab., 13 fig., 1 ann., 15 ref.
LA sl
AL sl/en
AB

In August 2011 there were performed measurements of soil disturbance using CTL technologies on the area of Mozeljški Šahen in the Kočevska region. The main aims were to find out the most important factors which have the strongest influence on soil disturbance expanding and also to find possibilities to reduce them. There had previously been made 31 transverse profiles on an object being researched. Soil disturbance was being determined on the bases of cart tracks depth. At the same time there was also defined the route for gathering wood, measurements of humidity and carrying capacity of soil were made. Width and depth of cart tracks were also measured - firstly after logging and secondly after timber exports. The surface area of study case was 3.98 ha with the total length of tracks of 2256 m. The average width of a track after forwarding was 390.63 cm. In comparison to harvesting track this one was on average 14.5 cm wider. A statistically made analysis confirmed that a forwarder makes wider tracks and causes more soil disturbance. The reason for bigger and wider tracks is a bigger number of crossings. After forwarding the average depth of a cart track was 9.1 cm. In the object there were 13.3 per cent increased cart tracks, 50 per cent in the range to 10 cm and 36.7 per cent that were deeper than 10 cm. Only two cart tracks were deeper than 20 cm. In the object there were discovered no cart tracks deeper than 30 cm which are not allowed. It was found out that both machines are suitable for thinning the pole stands. Forwarding is the cause of deeper cart tracks due to their weight that can sometimes reach as much as 30 tons. The increasing number of crossings results in bigger depths of cart tracks. The part of disturbance area after forwarding was 22 per cent, while it decreased by 1 per cent after harvesting. The density of tracks was 566.8 m/ha. It was found out that logging residues had a good influence on reduction of soil disturbance.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	III
KEY WORDS DOCUMENTATION.....	IV
KAZALO VSEBINE.....	V
KAZALO SLIK.....	VI
KAZALO PREGLEDNIC.....	VII
KAZALO PRILOG.....	VII
1. UVOD.....	1
2. NAMEN NALOGE	2
3. DOSEDANJE OBJAVE	3
4. METODE DELA.....	7
4.1 OPIS OBJEKTA	7
4.1.1 Raziskovalni objekt v GGE Mozelj	7
4.1.2 Matična podlaga.....	8
4.1.3 Preteklo gospodarjenje.....	8
4.1.4 Današnje stanje gozdov.....	9
4.2 OPIS STROJEV	9
4.3 OPIS PRIDOBIVANJA PODATKOV NA TERENU	11
4.3.1 Pridobivanje podatkov o poškodbah tal na profilih	11
4.3.2 Merjenje vlažnosti tal na prečnih profilih.....	12
4.3.3 Merjenje nosilnosti tal na prečnih profilih.....	12
4.3.4 Obdelava podatkov	12
5. REZULTATI.....	13
5.1 KONUSNI INDEKS	13
5.2 VLAŽNOST TAL.....	14
5.3 ŠIRINA SEČNIH POTI IN SVETLIH PROFILOV.....	15
5.4 GLOBINA KOLESNIC.....	17
5.4.1 Risanje prečnih profilov.....	17
5.4.2 Računanje globine kolesnic	17
5.5 VPLIV SEČNIH OSTANKOV NA GLOBINO.....	19
6. RAZPRAVA	26
7. SKLEPI.....	30
8. VIRI.....	32
ZAHVALA	
PRILOGE	

KAZALO SLIK

Slika 1: Stroj za sečnjo John Deere (Južnič, 2007)	10
Slika 2: Zgibni polprikoličar John Deere (Južnič, 2007).....	10
Slika 3: Povprečne vrednosti CI na določeni globini	13
Slika 4: Vrednosti CI glede na vlažnost in trendna črta	14
Slika 5: Delež globin kolesnic po posameznem procesu.....	18
Slika 6: Debelina sečnih ostankov na kolesnici po sečnji glede na tip kolesnic po sečnji..	20
Slika 7: Pokritost sečnih ostankov na kolesnici po sečnji glede na tip kolesnic po sečnji..	20
Slika 8: Debelina sečnih ostankov na kolesnici po spravilu glede na tip kolesnice po spravilu	21
Slika 9: Pokritost sečnih ostankov na kolesnici po spravilu glede na tip kolesnic po spravilu	22
Slika 10: Debelina sečnih ostankov na kolesnici po sečnji glede na tip kolesnice po spravilu	23
Slika 11: Pokritost sečnih ostankov na kolesnici po sečnji glede na tip kolesnic po spravilu	23
Slika 12: Delež debeline sečnih ostankov glede na proces in mesto na sečni poti.....	24
Slika 13: Delež pokritosti s sečnimi ostanki glede na proces in mesto na sečni poti.....	25

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Vrednosti CI v kPa	13
Preglednica 2: Vlažnost tal v %.....	14
Preglednica 3: Povprečne vrednosti CI glede na razred vlažnosti.....	15
Preglednica 4: Širine sečnih poti in svetlih profilov	15
Preglednica 5: Primerjava širine sečne poti med sečnjo in spraviu lesa z Wilcoxon testom.	15
Preglednica 6: Število in delež profilov s spremembo širine sečne poti po procesih.....	16
Preglednica 7: Koeficient širine sečne poti glede na širino stroja.....	16
Preglednica 8: Delež motene površine po procesih.....	16
Preglednica 9: Razpored kolesnic v tipe	18
Preglednica 10: Stisnjene in narasle kolesnice po procesih	19
Preglednica 11: Primerjava širine sečne poti med sečnjo in spraviu lesa z Wilcoxon testom.	19
Preglednica 12: Analiza povezav s Spearmanovim koeficientom koleracije med globino kolesnic ter debelino oz. pokritostjo s sečnimi ostanki	24

KAZALO PRILOG

Priloga A: Karta objekta in sečnih poti

1 UVOD

Sodobna tehnologija in novo znanje sta temeljna in edina pogoja za konkurenčnost in preživetje podjetja v današnjih časih. Zato je v slovenskih gozdovih zadnja leta vedno bolj pogostejša strojna sečnja in spravilo lesa, ki velja za eno izmed najbolj sodobnih tehnologij pridobivanja lesa.

V Sloveniji je bil stroj za sečnjo prvič uporabljen pri sanaciji žledoloma leta 1996 v GGO Ljubljana. Leta 2001 pa je prvi stroj za sečnjo kupil zasebnik v Lučah. Prvi med slovenskimi gozdarskimi podjetji je bil GG Bled, ki je leta 2004 uvedel strojno sečnjo in spravilo lesa. Od takrat se število takšnih strojev v Sloveniji stalno povečuje.

Strojna sečnja velja za zelo učinkovito, varno in ergonomsko primerno. Primerna pa je predvsem pri večjih sanacijah gozdov, ker strojnik ni izpostavljen nevarnosti kot pri klasični sečnji. Tudi pri tej tehnologiji pridobivanja lesa se pojavijo negativni učinki na okolje. Čeprav je od leta 2004 do danes minilo že 8 let, o vplivih strojne sečnje na okolje v slovenskih gozdovih vemo zelo malo. Narejeno je bilo nekaj raziskav v naših gozdovih, ampak večino informacij in izkušenj smo pridobili iz tujine.

Največja negativna lastnost strojne sečnje so poškodbe tal zaradi nastanka globokih kolesnic in zmanjšanje raste površine zaradi velike gostote sečnih poti. Pri tej tehnologiji se za razliko od traktorskega spravila stroji vozijo več po negrajenih poteh in ne po grajenih. Poleg tega pa se tla med vožnjo tlačijo, zmanjša se poroznost zgornjega horizonta, poškodujejo se korenine dreves, prihaja do premeščanja tal, itd...

Čeprav je bila strojna sečnja najprej mišljena predvsem za golosečno gospodarjenje v nasadih iglavcev, se danes zaradi razvoja tehnologije uporablja tudi v redčenjih ter v mešanih naravnih gozdovih.

V tej diplomski nalogi poskušamo odgovoriti na vprašanje ali je strojna sečnja primerna za redčenja v naših gozdovih in kateri so tisti ključni dejavniki, ki v največji meri vplivajo na velikost poškodb tal in kako jih zmanjšati, da bi bilo naše gospodarjenje čim bolj sonaravno, trajnostno in mnogonamensko.

2 NAMEN NALOGE

Zaradi majhnega števila raziskav na področju poškodb tal pri uporabi strojne sečnje v Sloveniji je potrebno pridobiti čim več znanja in izkušenj. Le tako bomo lahko v prihodnosti postavili takšne omejitve, predpise in zahteve, da pri uporabi te tehnologije ne bo prišlo do trajnih sprememb v gozdu.

Cilj diplomske naloge je raziskati poškodbe tal pri strojni sečnji in spravilu lesa, s pridobljenimi podatki pa analizirati primernost strojev. Poskušali bomo ugotoviti, kateri so tisti ključni dejavniki, ki v največji meri vplivajo na velikost poškodb. Poleg tega pa bomo odgovorili na vprašanje, kako jih zmanjšati, da bi bilo naše gospodarjenje okolju čim bolj prijazno.

Pri diplomski nalogi smo si postavili naslednje hipoteze:

- stroj za sečnjo in zgibni polprikoličar sta primerna tudi pri delu v redčenjih,
- poškodbe na tleh lahko zmanjšamo s polaganjem sečnih ostankov na sečne poti in
- pri tehnologiji strojne sečnje predpostavljamo, da večje poškodbe na tleh povzročamo z zgibnim polprikoličarjem.

3 DOSEDANJE OBJAVE

Cerjak (2011) je v svoji diplomski nalogi raziskoval poškodbe tal po strojni sečnji in spravilu lesa pri redčenju drogovnjakov. Avgusta 2010 so na Pohorju in na Goričkem ugotavljali primernost uporabljenih strojev na izbranih objektih. Ugotoviti so hoteli razlike v globinah kolesnic po sečnji in po spravilu lesa ter vpliv sečnih ostankov na zmanjšanje globin kolesnic. Na obeh objektih sta bila uporabljena stroj za sečnjo Eco Log 580 C in zgibni polprikoličar John Deere 1110 D. Ugotovili so, da so povprečne širine sečnih poti na Pohorju 366 cm po sečnji in 369 cm po izvozu lesa, na Goričkem pa 409 cm po sečnji in 417 cm po izvozu lesa. Za razvojno fazo drogovnjaka so bile sečne poti prevelike. Po obeh procesih je bila povprečna globina kolesnic enaka, na Pohorju 5 cm in na Goričkem 6 cm. Glede na globino kolesnic sta bila stroja primerna. Na obeh objektih je bilo 91 % kolesnic manjših od 10 cm. Ugotovili pa so ugoden vpliv sečnih ostankov na zmanjšanje globin kolesnic.

Mali (2006) je v svoji diplomski nalogi ugotavljal poškodbe tal po sečnji s strojem za sečnjo in spravilu lesa z zgibnim polprikoličarjem. Poškodbe tal so ugotavljali s prečnimi profili. Na vsakem prečnem profilu so izmerili horizontalne in vertikalne razdalje karakterističnih točk sečne poti. Septembra 2006 so v enem predelu JV dela roškega masiva v GE Mirna gora analizirali poškodbe tal pri uporabi strojne sečnje in spravila lesa pri redčenju drogovnjakov ter podati oceno o primernosti izbire teh strojev na izbranih lokacijah. Na objektu so uporabljali stroj za sečnjo Timberjack 1270D in zgibni polprikoličar Timberjack 1010D. V drugem predelu pa so les posekali z motornimi žagami in ga spravili s prilagojenim traktorjem John Deere 4045TL272. Na drugem objektu v oddelku 22 v GE Radeče pa so analizirali poškodbe tal pri končni sečnji s težkim strojem za sečnjo Königstiger in spravilo lesa z zgibnim polprikoličarjem Timberjack 1410D. Ugotovili so, da ima naklon terena vpliv na poškodbe tal in da so poškodbe večje na strmehjših terenih. Med tehnologijama niso dokazali razlik v poškodovanosti tal, medtem ko so obstajale razlike v nosilnosti tal med objekti. Na objektu v GE Radeče je znašala povprečna globina kolesnic na prvi sečni poti 22 cm, na drugi sečni poti 13 cm in na tretji sečni poti 23 cm. Sečni ostanki, ki so bili položeni na drugo sečno pot, so ugodno vplivali na zmanjšanje zbitosti tal. Na objektu v GE Mirna gora so bile poškodbe zmerne zaradi dobro nosilnih tal. Poškodbe na prvi in tretji sečni poti na objektu v GE Radeče pa so bile prevelike.

Košir in Robek (2000) sta številne sekundarne prometnice razvrstila v tri kategorije. Prvo kategorijo predstavljajo primarne vlake, ki so močno obremenjene, po njih poteka izvoz lesa v večjih količinah. Kolesnice so dobro vidne, nepoškodovanih gozdnih tal praktično ni več, saj je vsa površina tal na vlaki spremenjena. V raziskavi sta ugotovila povprečno globino kolesnic na primarni vlaki 12,3 cm. Sekundarne vlake, so srednje obremenjene, po njih poteka premik stroja za sečnjo in izvoz manjših količin lesa iz manjših delov

delovišča. So manj obremenjene kot primarne vlake. Povprečna globina kolesnic na sekundarni vlaki je bila 4,8 cm. Vlake za sečnjo so namenjene predvsem dostopu stroja za sečnjo do drevesa in izjemoma za transport manjših količin lesa. Praviloma so to krajši in manj obremenjeni odcepi sekundarnih vlak. Nastanejo predvsem zaradi premikanja stroja za sečnjo po sestoji. V raziskavi je bila povprečna globina kolesnic na vlaki za sečnjo 3,7 cm.

Največje poškodbe tal nastanejo na primarnih vlakah. Ključni dejavniki za zmanjševanje poškodb na drevju in tleh pri strojni sečnji so primeren izbor strojev, skrbno načrtovanje primarnih in sekundarnih vlak in kakovostno delo strojnika. Bistvenega pomena so tudi sečni ostanki, ki zmanjšujejo negativne vplive strojev na tla. Vendar morajo biti položeni na kolesnice in potlačena debelina mora znašati vsaj 10-15 cm. Tudi če bi vse sečne ostanke razmestili po kolesnicah, bi bilo še vedno več kot 50 % kolesnic nepokritih s sečnimi ostanki in tako bi ostale nezavarovane pred zbijanjem tal. Gostota prometnic in vidne motnje na gozdnih tleh pri analiziranem delovišču so bile precej višje kot pri traktorskem spravilu lesa. Izrazite poškodbe tal v obliki globokih kolesnic in progresivne površinske erozije so bile praviloma omejene na primarne vlake (Košir in Robek, 2000).

Žlogar (2007) je v svoji diplomski nalogi analiziral primernost traktorskih vlak za vožnjo z zgibnim polprikoličarjem. Namen naloge je bil pridobiti podatke posledic na pravilnih poteh in ob njih, pri vožnji in vlačanju, obe tehnologiji primerjati med seboj in ugotoviti, kolikšen del traktorskih vlak je primeren za delo z zgibnim polprikoličarjem. Ugotovili so, da ni bilo primernih le 3 % traktorskih vlak. Spravilo z zgibnim polprikoličarjem pa je potrebovalo 61 % več pravilnih poti kot traktorsko spravilo. Pri spravilu z zgibnim polprikoličarjem je vpliv na tla zmeren, pri traktorskem spravilu pa je vpliv na tla neškodljiv.

Opravljen je študija na osnovi računalniškega modela, pri katerem so za vplivne dejavnike uporabili razpoložljive digitalne podatke, od katerih je v največji meri odvisna možnost izvedbe strojne sečnje. Upoštevali so vse površine gozdov pri katerih je največji naklon terena 30 %, najmanj 70 % delež iglavcev v LZ sestoji, največ 50 % skalovitost in izločili so vrtačaste terene. Ugotovili so, da je za strojno sečnjo primernih 9 % oz. 7 % površin v državni lasti (Krč in Košir, 2003).

Poškodbe na gozdnih tleh zaradi vožnje lahko razlikujemo v tri različne razrede (cit. po Koširju, 2010):

1. Tip vlake 1: plitva kolesnica - je neizrazita in globoka ne več kot 10 cm (Luscher et al., 2009), včasih je kolesnica komaj zaznavna, prevladujejo elastične deformacije (Flehsig, et al., 2006). Tak tip poškodb nastane pri majhnem številu prehodov stroja, lažjih strojih oziroma bolj nosilnih tleh. Globlji horizonti so praktično

nepoškodovani, poroznost tal pa je zmanjšana v vrhnjem delu. V zgornjih horizontih so tla zbita, povečana je gostota tal, zmanjšan je volumen por v tleh.

2. Tip vlake 2: srednje globoka kolesnica - pri kateri je vrhnji (humusni) horizont zmešan oziroma premaknjen. Pri nas se v ta tip vlake štejejo kolesnice do največje globine 20 cm (po Luscher et al., 2009 je kolesnica izrazita, vendar globoka pretežno do 10 cm) vrhnji sloj tal je plastično deformiran (Flechsigt, et al., 2006), vendar je prevladujoča poškodba tal zbitost, morda na meji plastične deformacije, kar pomeni, da so globlji talni horizonti najbrž deformirani, a na svojem mestu. Poroznost tal v vrhnjih horizontih je močno zmanjšana.
3. Tip vlake 3: globoka kolesnica - pri kateri nastanejo plastične deformacije oziroma viskozno tečenje tal. Prihaja do preloma tal (Luscher et al., 2009). Tlak na tla in strižne sile so zmešale talne horizonte v viskozno (prašno) maso. Na območju prodiranja kolesa v podlago so tla porušena. Sem štejemo kolesnice z globino med 20 in 30 cm, globlje kolesnice so sicer mogoče ampak so ekološko in tehnično-ekonomsko neprimerne. Največja globina te vrste poškodb je odvisna od dimenzij kolesa, saj so v skrajnostnih lahko kolesnice globoke do globine, ko stroj nasede (belly deep).

Vaz (2003) je ugotovil, da z večanjem vlažnosti tal pada odpornost tal in tudi obratno, da s padanjem vlage v tleh narašča odpornost tal eksponentno.

Pri uporabi strojne sečnje lahko pride do erozije tal, premeščanja tal, stiskanja tal, izvoza biomase in manjše infiltracije, s tem pa vpliva na produktivnost tal (Poff, 1996).

Strojna sečnja vpliva na premeščanje zemeljskega materiala in biomase na površju ter do sprememb lastnosti tal v površinskih in podpovršinski talnih horizontih. Več faktorjev, kot so tip tal, parametri stroja in sečnji sistem vpliva na intenziteto in tip motnje. Motnje tal praviloma vplivajo na zbitost tal, manjšo infiltracijo in zračnost tal in na strmejših terenih večjo občutljivost na erozijo (Carter, Rummer in Stokes, 1997).

Pri redčenjih s težjimi stroji nastanejo motnje, kot so poškodbe na deblih in koreninah, zbitost tal, poglobljene vlake ter premeščanje biomase. Odpornost tal proti zbijanju se zmanjšuje z večanjem vlage v tleh. Odpornost se zmanjšuje dokler ne doseže spodnje meje plastičnosti tal kar pripelje do maksimalne zbitosti tal (Seixas in McDonald, 1997).

Zbitost tal je večinoma glavna poškodba povezana s strojno sečnjo. V povprečju je 62 % zbitosti tal v zgornjih 10 cm povzročil že en prehod z obremenjenim gozdnim strojem. Zbitost je povečala gostoto tal, zmanjšala gibanje vode in zraka v tleh, omejila rast korenin ter povečala površinsko odtekanje in erozijo. Ob sečnih poteh je bila velikokrat manjša produktivnost, ki se je kazala z manjšo gostoto dreves in zmanjšano rastjo. Z odstranitvijo

organskega materiala in delne poškodbe A horizonta je bila povezana slaba in počasna regeneracija na sečnih poteh (Williamson in Neilsen, 2000).

4 METODE DELA

4.1 OPIS OBJEKTA

Snemanje poškodb tal pri strojni sečnji in spravilu lesa je potekala v gozdnogospodarskem območju Kočevje v gozdnogospodarski enoti Mozelj, oddelek 39, odsek A. Krajevno ime območja raziskave je Mozeljski Šahen. Površina objekta raziskave je znašala 3,98 ha.

4.1.1 Raziskovalni objekt v GGE Mozelj

Gozdnogospodarska enota Mozelj se razprostira na področju jugozahodno od Kočevja. Gozdovi GGE Mozelj poraščajo ravninski, a terensko zelo razgiban južni del Kočevskega polja, ki ga na zahodu zapira do 1100 m visoko pogorje Stojne, na vzhodu pa dobrih 100 m nižja veriga vrhov kočevske Male gore. Nato se proti jugovzhodu svet postopoma dviguje v gričevnat svet šibja, za tem pa še v hribovje južnega dela Male gore. Enota se na jugu zaključi na robu Kočevske in skoraj 200 m nižje ležeče Poljanske doline. Severozahodni del enote je pretežno ravninski. Razpet je med hribovema Stojne in kočevske Male gore. Ravnica je sprva še del 18 km dolgega Kočevskega polja, ki je z 72 m² največje kraško polje v Sloveniji in leži na nadmorski višini od 460 do 480 m. Šahen je široka terasa, ki obdaja rob Kočevskega polja. Nahaja se na nadmorski višini od 510 do 550 m, razbrazdan je s številnimi manjšimi vrtačami, jamami in brezni. Vendar na površini nima izvirov vode. Šahen spada med najbolj zakrasela območja v Sloveniji, saj ima kar 210 vrtač/km² (Gozdno gospodarski načrt Mozelj, 2009 – 2018).

GGE Mozelj obsega 5798,84 ha gozda od tega je 461,87 ha zasebnih gozdov, 912,67 ha občinskih gozdov in 4424,01 ha državnih gozdov. Gozdnatost v tej GGE je 68 %. V GGE Mozelj prevladujejo bukova rastišča na karbonatnih kamninah. 1. stopnjo poudarjenosti lesnoproizvodne funkcije ima kar 88 % gozdnega prostora. Tukaj je mogoče dolgoročno sekati več kot 5m³/ha lesa. V GGE Mozelj je skupna lesna zaloga 309,1 m³/ha, od tega je 64,5 % LZ listavcev. Največ je bukve (45,5 % LZ) in smreke (32,1 % LZ). Letni prirastek je 8,52 m³/ha in je večji pri listavcih (53,8 %) (Gozdno gospodarski načrt Mozelj, 2009 – 2018).

V Šahnu je pogost pojav temperaturnih inverzij. Predvsem pozimi so tukaj nižje temperature kot v okolici. Najnižja srednja leta temperatura znaša 7,0⁰ C, najvišja pa 9,5⁰ C. Najhladnejši mesec je januar in najtoplejši julij. Letno prejme to območje od 1500 do 1600 mm padavin. Najbolj sušen je mesec marec, največ padavin pa je v mesecu oktobru. Število dni s snežno odejo močno niha, med 53 in 84 dnevi (Gozdno gospodarski načrt Mozelj, 2009 – 2018).

4.1.2 Matična podlaga

GGE je predvsem sestavljena iz karbonatne matične kamnine, torej iz apnenca in dolomita. Silikatne matične podlage je malo, predstavljajo jo klastični sedimenti. Na širšem območju Šahna prevladuje apnenčasta matična kamnina. Tukaj je zgornjekredni, svetli rudistični apnenec prevladujoča kamnina. Apnenec je prepusten za vodo, ki je na površini oblikovala številne vrtače, škrape, brezna in jame. Na apnencu so se razvila kvalitetna rjava pokarbonatna tla, ki so večinoma plitva do srednje globoka. Globlja so le v posameznih žepih (Gozdno gospodarski načrt Mozelj, 2009 – 2018).

4.1.3 Preteklo gospodarjenje

Do začetka 14. stoletja je bilo območje Kočevske nenaseljeno, poraslo z gozdom, skozi katerega so vodile le redke trgovske poti v dolini Kolpe. Kolonizacija se je začela okoli leta 1330. Priseljenci pa so najprej začeli krčiti gozdove v nižinskih legah, ki so bile primerne za kmetijstvo (Gozdno gospodarski načrt Mozelj, 2009 – 2018).

Kasneje so postopoma začeli izkoriščati tudi dostopnejše gozdove v višjih legah. Zaradi naraščajočih potreb po lesu so bili zemljiški gospodje prisiljeni k zakonski ureditvi izkoriščanja gozdov. Ortenburški gozdni red iz leta 1406 je najstarejši dokument, ki je urejal gospodarjenje z gozdom na takratnem Kranjskem. Zaradi še večjih potreb po lesu in drugih gozdnih dobrinah si je začel zemljiški gospod lastiti pravice tudi nad vaškimi gmajnami, ki so bile sicer v roka podložnikov (Gozdno gospodarski načrt Mozelj, 2009 – 2018).

Slab položaj kmetov se je po letu 1848 izboljšal z zemljiško obvezo. Poleg kmetijskih površin so dobili v last tudi nekaj gozda, s katerim je knez poplačal služnostne pravice nad svojim preostalim gozdom. Na Kočevskem so kmetje skupaj pridobili 21840 ha gozda, knezu Auerspergu pa je ostalo 18200 ha gozda. Razcvet industrije se je začel tudi v tem obdobju. Industrija je imela velike potrebe po lesni surovini, kot so oglje, pepelika in žagan les. Na Kočevskem je tedaj več kot dve tretjini ljudi delalo v gozdarstvu in predelavi lesa. V 21840 ha gozdov, ki so prešli v kmečko last, je bilo izkoriščanje še naprej nestrokovno vodeno. Knez Auersperg je v svojih gozdovih začel z načrtovanim gospodarjenjem in ustanovil gozdni obrat z revirji in logarnicami (Gozdno gospodarski načrt Mozelj, 2009 – 2018).

Po vojni se je gozdarstvo in stanje gozdov močno spremenilo. Gozd je delno začel zaraščati nacionalizirane kmečke posesti. Z kmečkimi gozdovi se v prvih povojnih letih v glavnem ni gospodarilo. Planske sečnje jih niso zajele. Prva inventarizacija gozdov je bila narejena leta 1948 in z rednimi sečnjami so pričeli po letu 1950. S prvim ureditvenim

načrtov leta 1958 je bila podana osnova za načrtno gospodarjenje v enoti. Leta 1941 je bil izdelan le ureditveni načrt za gozdove mestnega Šahna (Gozdno gospodarski načrt Mozelj, 2009 – 2018).

4.1.4 Današnje stanje gozdov

V GGE Mozelj je ohranjenih 44,6 % površine gozdov, spremenjenih 18,7 %, močno spremenjenih 14,5 % in izmenjenih 22,3 %. Zasmrečeni sestoji se pojavljajo večinoma v nižini. So posledica antropogenega vpliva. Kakovost drevja je večinoma dobra tako pri listavcih kot pri iglavcih. V splošnem so listavci slabše kakovosti. Rdeči bor je pri iglavcih najbolj neakovosten. Odsek ima površino 14,24 ha. Naklon v odseku je 5 %, skalovitost je 5 % in kamnitost je 5 % (Gozdno gospodarski načrt Mozelj, 2009 – 2018).

4.2 OPIS STROJEV

Na objektu je sečnjo in spravilo lesa izvajalo podjetje Gozdarstvo Grča d.d., ki je tudi koncesionar v državnih gozdovih na tem območju.

Sečnja se je izvajala s strojem za sečnjo John Deere, tip 1470 D. Stroj spada v kategorijo težkih strojev, ki se uporabljajo za redčenja v starejših razvojnih fazah in v končnih sečnjah. Stroj ima 6 - cilindrski dizelski motor moči 180 kW in navora 1250 Nm. Največja hitrost stroja je 22 km/h. Ima dve osi. Prva os je boggie in ima po dve kolesi na vsaki strani. Dimenzije pnevmatik na prvi osi so 650/60-26, proizvajalca Nokian in so opremljene z verigama v obliki gosenic. Pnevmatike na drugi osi so dimenzije 700/70-34, proizvajalca Nokian in so tudi opremljene z verigami. Stroj ima hidrostatski pogon. Masa stroja je 21 ton, od tega ima sečna glava 1,2 tone. Sečna glava je od proizvajalca Waratah, tip 480 H. Stroj lahko s to sečno glavo poseka drevo s premerom 71 cm na panju in oklesti drevesa do 48 cm v premeru. Roka stroja je dolga 11 metrov, ima dvižno moč 210 kNm in vrtljivi kot 220⁰. Dolžina stroja je 7,7 m, širina 3 m, višina 4 m, oddaljenost od tal 71 cm in medosna razdalja 4,1 m. Učinki stroja so od 60 do 150 m³ na dan. Stroj je bil izdelan leta 2007.



Slika 1: Stroj za sečnjo John Deere (Južnič, 2007)

Spravilo lesa se je izvajalo z zgibnim polprikoličarjem znamke John Deere, tip 1410 D. Stroj ima 6 - cilindrski dizelski motor moči 136 kW in navora 780 Nm. Največja hitrost je 22 km/h. Ima dve boggie osi, skupaj 8 koles. Opremljene so z verigama in imajo dimenzije 650/60-26, pnevmatike so od proizvajalca Nokian. Druga os ima verige v obliki gosenic. Stroj ima hidrostatski pogon. Masa praznega stroja je 16,5 ton, tovorni prostor ima kapaciteto 14 ton. Roka stroja je dolga 8,5 metra in ima dvižno moč 125 kNm. Dolžina stroja je 10,4 m, širina je 3 m, višina 3,7m , oddaljenost od tal je 60 cm. Učinki stroja so od 60 do 150 m³ na dan. Stroj je bil izdelan leta 2007.



Slika 2: Zgibni polprikoličar John Deere (Južnič, 2007)

4.3 OPIS PRIDOBIVANJA PODATKOV NA TERENU

Avgusta 2011 smo v Mozelskem Šahnu na Kočevskem opravili meritve poškodb tal pri strojni sečnji in spravilu. Objekt je bil oblikovan tako, da je predstavljal zaključeno enoto, v kateri se je dejansko izvajala redna sečnja in spravilo lesa, tako kot ga izvajajo izvajalska podjetja. Sečne poti so bile negrajene in jih je predhodno označil revirni gozdar. Objekt je imel skupno površino 3,98 ha, v njem se je izvajalo redčenje starejšega drogovnjaka in debeljaka smreke. Skupna dolžina sečnih poti je bila 2256 m, od tega je bilo glavnih sečnih poti 830,6 m in stranskih sečnih poti 1425,4 m. Na raziskovalnem objektu smo na sečnih poteh predhodno postavili 31 prečnih profilov. Razdalja med prečnimi profili je znašala 20 m. Prečni profili so bili označeni s količkom, na katerem je bila zapisana zaporedna številka profila in vsakemu prečnemu profilu smo izmerili GPS koordinate z napravo znamke Trimble. Na vsakem profilu smo izmerili vlažnost tal, nosilnost tal, določili smo smer spravila, nato pa izmerili horizontalne in vertikalne razdalje karakterističnih točk ter debelino in pokritost s sečnimi ostanki. Podatke smo najprej izmerili po končani sečnji in nato še po končanem spravilu lesa, tako smo lahko primerjali med seboj oba procesa in ugotovili, pri katerem procesu nastanejo večje poškodbe tal.

4.3.1 Pridobivanje podatkov o poškodbah tal na profilih

Podatke o razdaljah horizontalnih in vertikalnih karakterističnih točk smo zbirali s pomočjo dlančnika znamke Trimble, ki je imel naloženo programsko opremo Terrasync. Takšna metoda zahteva dva človeka. Prvi meri razdalje karakterističnih točk, drugi pa jih vpisuje v program. Takšna metoda je zelo učinkovita, saj prihrani veliko časa, izognemo pa se tudi napakam, ki se pojavijo pri prepisovanju podatkov, saj pri tej metodi podatke neposredno vnesemo v digitalno obliko. Najprej smo nad količek ob vsakem prečnem profilu pravokotno na sečno pot postavili križni linijski laser znamke Bosch s samodejnim niveliranjem, ki je bil pritrjen na trinožno stojalo. Laser je moral biti postavljen tako, da ni bilo nobenega predmeta med laserjem in koncem sečne poti, ki bi prekinil laserski žarek. Nato smo s sekaškim metrom, ki je bil postavljen pod laserskim žarkom, izmerili horizontalne dolžine karakterističnih točk na 1 centimeter natančno. Ti podatki predstavljajo posamezne razdalje med karakterističnimi točkami in količkom. S trasirko, na kateri je bila označena centimetrska skala, smo pobrali posamezne vertikalne dolžine karakterističnih točk na 1 centimeter natančno. Ti podatki so predstavljali višino od tal do laserskega žarka. Karakteristične točke so si sledile po vrstnem redu: višina ob količku, raščena tla levo, rob kolesnice levo, os leve kolesnice, os poti, os desne kolesnice, rob kolesnice desno in raščena tla desno. Na vsakem profilu smo še izmerili debelino in pokritost sečne poti s sečnimi ostanki.

4.3.2 Merjenje vlažnosti tal na prečnih profilih

Vlago v tleh smo merili z digitalnim vlagomerom Fieldscout, model TDR300. Podatke smo pobirali ob vsakem količku v času izvajanja sečnje in spravila. Mesto merjenja vlažnosti tal je bilo na vseh profilih na zunanji strani količka. Vlagomer ima na koncu dve kovinski palici. Dolžine palic so različne od 3,8 cm do 20 cm. Mi smo uporabili palice, s katerima smo merili vlažnost tal do globine 12 cm. Na mestu merjenja moramo najprej odstraniti zgornji horizont. Merilni palici nato potisnemo v tla in na zaslonu na vrhu vlagometra se nam prikaže vlažnost tal v %. Pri merjenju vlažnosti tal moramo kovinske palice v celoti potisniti v zemljo, s tem se izognemo napačnim meritvam, ki bi nastale z delnim merjenjem vlažnosti zraka in tal, če palice ne bi bile v celoti v zemlji. Vlagomer spremeni izmerjene električne signale v procente vlažnosti.

4.3.3 Merjenje nosilnosti tal na prečnih profilih

Nosilnost tal smo tako kot vlažnost tal merili ob vsakem količku v času izvajanja sečnje in spravila lesa. Mesto merjenja je bilo pri vseh profilih na zunanji strani količka. Nosilnost tal smo merili s penetrometrom znamke Fieldscout, model SC 900. Penetrometer ima na koncu merilno palico, s katero merimo nosilnost tal do globine 45 cm. Na tla smo postavili kovinsko ploščo z luknjo v sredini, v katero smo vstavili palico penetrometra. Na spodnji strani ohišja penetrometra je senzor, ki je usmerjen navpično v tla in s pomočjo kovinske plošče meri natančno globino potisnjene palice. Penetrometer smo nato enakomerno potiskali (5 cm v 2 sekundah) v tla. Če smo merilno palico prehitro potiskali v tla, se je merjenje prekinilo in meritev smo morali ponoviti. Penetrometer meri nosilnost tal na vsake 2,5 cm. Podatki o nosilnosti tal se nam prikazujejo na zaslonu na vrhu penetrometra v kPa in se shranjujejo v digitalni obliki na penetrometru. Penetrometer meri nosilnost tal na osnovi sile, ki je potrebna, da merilno palico potisnemo v tla.

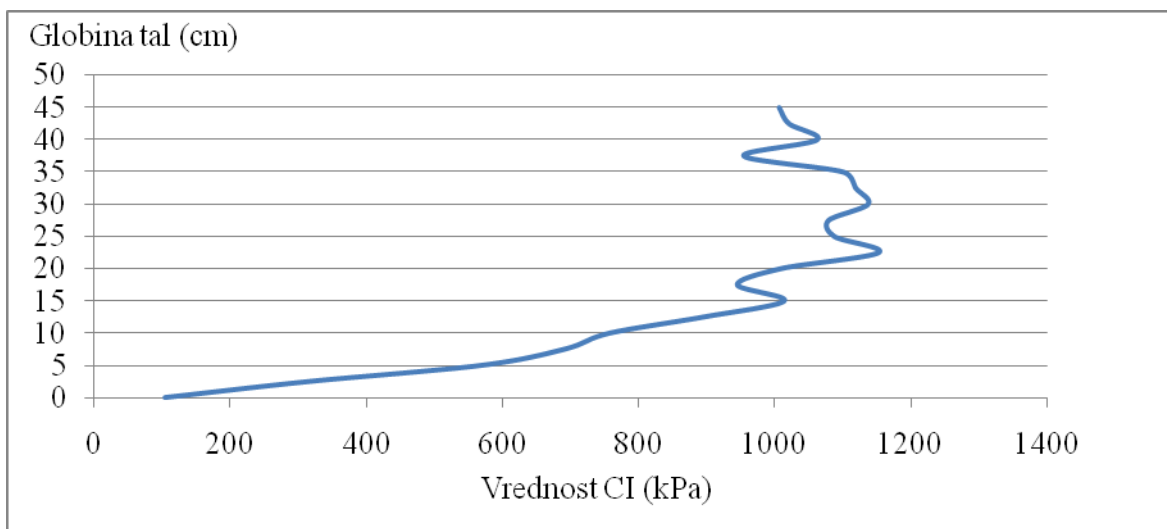
4.3.4 Obdelava podatkov

Podatke, ki smo pridobili na terenu smo obdelali s programom Microsoft Excel in IBM SPSS Statistics.

5 REZULTATI

5.1 KONUSNI INDEKS

Konusni indeks (CI) je odpor tal proti prodiranju konusa določenih dimenzij. S konusnim indeksom smo določili nosilnost gozdnih tal. Merili smo ga s penetrometrom.



Slika 3: Povprečne vrednosti CI glede na globino

Slika 3 prikazuje vrednosti konusnega indeksa na različnih globinah tal. Sprva z globino tal narašča tudi CI, največja povprečna vrednost 1150 kPa je med 20 in 25 cm, nato pa CI z globino rahlo pada. Povprečna vrednost CI je bila 913,78 kPa.

V nadaljnjih analizah smo povprečno vrednost CI izračunali iz globin 10 in 20 cm.

$$\text{Enačba: } CI = (CI_{10} * CI_{20})/2$$

Kjer je:

CI Konusni indeks (kPa)

CI₁₀ Konusni indeks v globini 10 cm (kPa)

CI₂₀ Konusni indeks v globini 20 cm (kPa)

Preglednica 1: Vrednosti CI v kPa

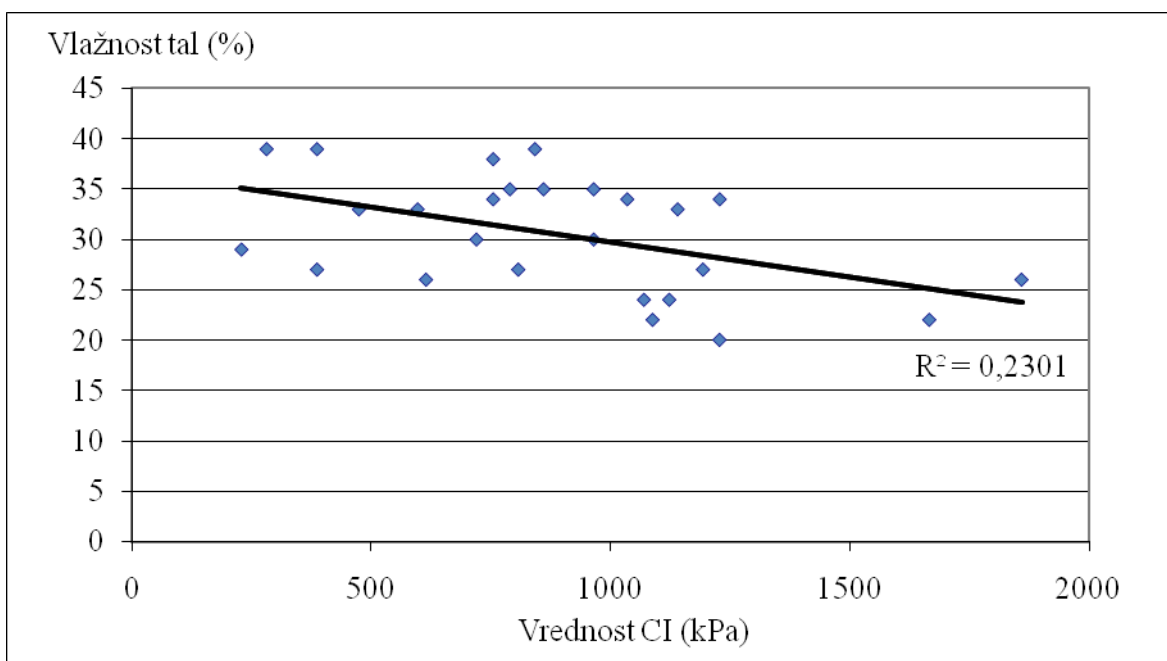
N	Aritmetična sredina	Mediana	Standardni odklon
29	913,78	851,25	369,86

5.2 VLAŽNOST TAL

Vlažnost tal smo merili z vlagomerom. Vlažnost je eden izmed glavnih dejavnikov, ki vpliva na nosilnost gozdnih tal s tem pa posredno na velikost poškodb na tleh. Povprečna vlažnost tal je znašala 30,79 %.

Preglednica 2: Vlažnost tal v %

N	aritmetična sredina	mediana	standardni odklon
28	30,79	31,50	5,66



Slika 4: Vlažnost tal glede na vrednost CI in trendna črta

Na osnovi trendne črte (slika 4) lahko opazimo, da vrednost CI pada z večanjem vlažnosti tal.

Preglednica 3: Povprečne vrednosti CI glede na razred vlažnosti

Vlažnost (%)	Povprečni CI (kPa)	Št. profilov
20-24,9	1235	5
25-29,9	742,8	3
30-34,9	877,3	10
35-39,9	734,7	8

V preglednici 3 so prikazane povprečne vrednosti CI v posameznem vlažnostnem razredu. Zaradi uvrščanja vlažnosti v razrede in širokega raztrosa CI je prišlo do nenatančnih vrednosti CI.

5.3 ŠIRINA SEČNIH POTI IN SVETLIH PROFILOV

Širino sečne poti in širino svetlega profila smo izračunali za vsak profil posebej. Širino sečne poti smo izračunali kot razliko med horizontalnimi razdaljami obeh karakterističnih točk robov sečne poti. Širina svetlega profila pa predstavlja razliko med raščenimi tlemi na levi in na desni strani sečne poti.

Preglednica 4: Širine sečnih poti in svetlih profilov

Proces	Širina	N	Aritmetična sredina (cm)	Mediana (cm)	Standardni odklon
Sečnja	Širina poti	31	376,13	355	81,01
	Širina svetlega profila	31	685,03	650	109,03
Spravilo	Širina poti	30	390,63	363,5	98,28
	Širina svetlega profila	30	672,5	650	115,27

Preglednica številka 4 nam predstavlja vrednosti širine poti in svetlih profilov za vsak proces posebej. V povprečju je bila širina poti pri sečnji manjša za 14,5 cm.

Širine sečnih poti smo med seboj po sečnji in po spravilu lesa primerjali z Wilcoxon testom v programu SPSS. Ugotovili smo, da razlike niso statistično značilne.

Preglednica 5: Primerjava širine sečne poti med sečnjo in spravilom lesa z Wilcoxon testom

Primerjava	N	Z	Značilnost
sečnja-spravilo	30	-1,105	0,269

Preglednica 6: Število in delež profilov s spremembo širine sečne poti po procesih

Širina		Večja	Enak	Manjša
Sečna pot	Število	15	2	13
	Delež	50,00	6,67	43,33
Svetli profil	Število	9	9	12
	Delež	30,00	30,00	40

Širina sečnih poti po procesu spravila lesa se je v večini primerov spremenila. Sečna pot se je povečala na 15 profilih, na 2 profilih je ostala enaka, na 13 profilih pa je bila manjša.

Tudi širina svetlih profilov se je po procesu spravila lesa v večini primerov spremenila. Pri 9 profilih je bila širina večja, pri 9 profilih je ostala enaka in pri 12 profilih se je zmanjšala.

Preglednica 7: Koeficient širine sečne poti glede na širino stroja

Proces	Povprečje	Min	Max
Sečnja	1,25	1,01	2,03
Spravilo	1,30	1,08	2,36

Koeficient širine sečne poti nam pove razmerje med širino sečne poti in širino stroja. Povprečno je bila sečna pot širša od stroja za 25 % pri sečnji in 30 % pri spravilu. V povprečju je med procesi razlika med širino poti majhna.

Preglednica 8: Delež motene površine po procesih

	Dolžina (m)	Širina (m)	Površina poti (m ²)	Površina poti %	Gostota poti (m/ha)
Sečnja	2256	3,76	8485,49	0,21	566,8342
Spravilo	2256	3,91	8812,61	0,22	566,8342

Na objektu je bilo po koncu spravila 22 % površine motene s sečnimi potmi. Skupaj je bilo na objektu, ki je meril 3,98 ha po spravilu 8812,61 m² sečnih poti. Razlika med sečnjo in spravilom je le 1 %.

5.4 GLOBINA KOLESNIC

5.4.1 Risanje prečnih profilov

Prečne profile smo narisali iz podatkov o horizontalnih in vertikalnih razdaljah karakterističnih točk. Najprej smo pri vseh profilih od vertikalne razdalje raščeni tal na levi strani odšteli vse vertikalne razdalje karakterističnih točk. S tem smo dobili enako izhodiščno točko za vse profile, kot na primer izhodišče pri koordinatnem sistemu. Vsaka karakteristična točka ima vertikalno in horizontalno razdaljo. Tako nam horizontalna razdalja karakterističnih točk predstavlja koordinate za os x, vertikalna razdalja pa za os y. Tako smo lahko narisali vsak profil. Ker smo podatke pobirali najprej po sečnji in nato še po spravilu, lahko primerjamo posamezne profile posebej po fazah dela.

5.4.2 Računanje globine kolesnic

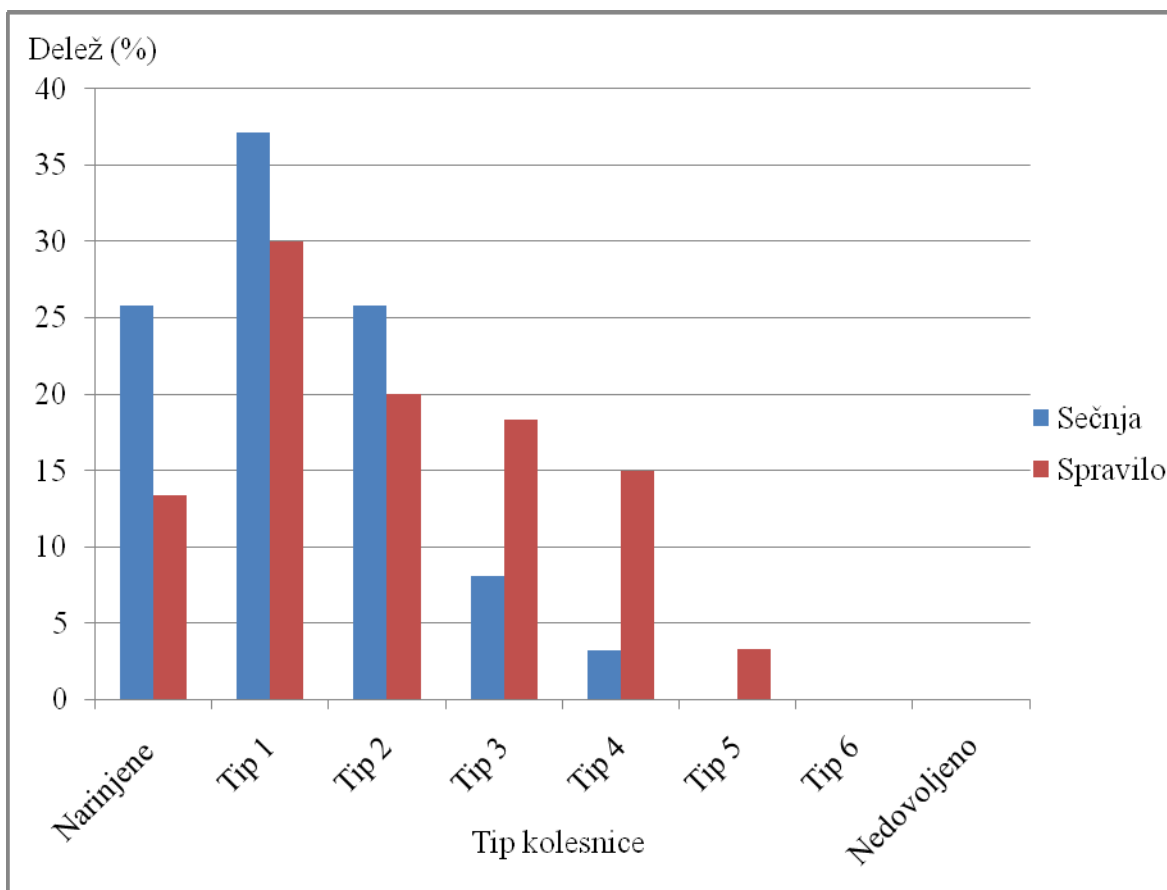
Globine kolesnic na terenu nismo neposredno merili, saj nismo merili stanja pred sečnjo. Zato smo jih morali najprej iz podatkov izračunati. Pri računanju globine kolesnic smo si pomagali z enačbo premice (1). Prva premica je povezovala rob na levi strani in os poti, druga premica pa je povezovala os in rob na desni strani. S premico smo ponazorili stanje, ki je bilo pred sečnjo. Najprej smo izračunali vrednost k in n za obe premici. Nato pa smo iz horizontalne razdalje kolesnice ter vrednosti k in n izračunali vertikalno razdaljo nepoškodovanih tal pri kolesnici. Nato smo odšteli vertikalno razdaljo kolesnice in vertikalno razdaljo nepoškodovanih tal pri kolesnici, tako smo dobili dejansko globino kolesnice. Najprej smo izračunali vse vrednosti za stanje po končani sečnji, nato pa še za stanje po končanem spravilu lesa. Pri obdelavi podatkov smo ugotovili, da pride do razlik pri globini leve in desne kolesnice na istem profilu. Zato smo vse kolesnice obravnavali posebej in ne kot povprečje leve in desne kolesnice. Vse globine kolesnic smo razporedili v tipe z razponom 5 cm. Kolesnice, ki so bile po sečnji oziroma spravilu višje kot pred sečnjo in spravilom smo razvrstili v narinjene kolesnice. Kolesnice, ki pa so presegle globino 30 cm, pa smo razvrstili v nedovoljene. Vse ostale kolesnice so bile po vrednosti vmes med obema.

$$y=k*x+n$$

...(1)

Preglednica 9: Razpored kolesnic v tipe

Tip	Globina kolesnic (cm)
Narinjeno	Pod vključno 0
Tip 1	Od 0 do vključno 5
Tip 2	Od 5 do vključno 10
Tip 3	Od 10 do vključno 15
Tip 4	Od 15 do vključno 20
Tip 5	Od 20 do vključno 25
Tip 6	Od 25 do vključno 30
Nedovoljeno	Nad 30



Slika 5: Delež globin kolesnic po posamezni fazi dela

Slika 5 nam prikazuje, kolikšen delež kolesnic je v posameznem tipu glede na fazo dela. S slike lahko opazimo, da je pri sečnji večji delež kolesnic v prvih treh tipih, pri spravilu pa se kolesnice razporejajo v večjem deležu v tipu 3, tipu 4 in tipu 5. Pri tem sklepamo, da so pri spravilu lesa nastale globlje kolesnice kot pri sečnji lesa. Takšne ugotovitve so enake

našimi pričakovanjem. Opazimo tudi, da na objektu ni bilo kolesnic tipa 6 in nedovoljenih kolesnic.

Preglednica 10: Stisnjene in narasle kolesnice po procesih

Proces	N	Aritmetična sredina (cm)	Mediana (cm)	Standardni odklon (cm)
		Narasle		
Sečnja	16	2,19563	1,28182	2,097446
Spravilo	8	3,03284	2,56939	2,408448
Stisnjene				
Sečnja	46	6,037123	5,312184	4,229096
Spravilo	52	9,145264	8,385242	6,060817

Kolesnice smo ločili glede na to ali so narasle ali pa so se stisnile. Kolesnicam smo izračunali aritmetično sredino, mediano in standardni odklon po obeh fazah dela.

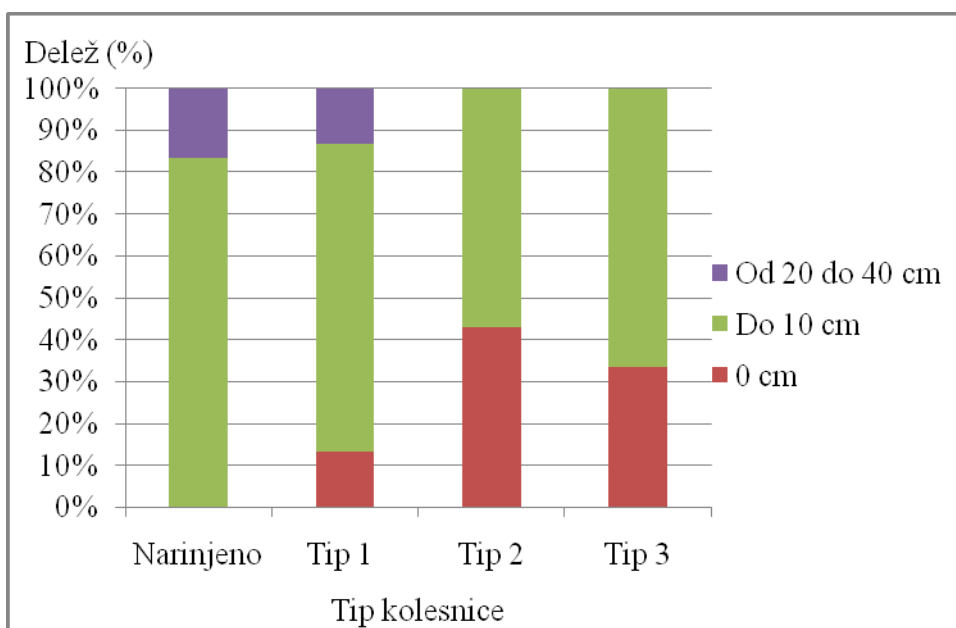
Z Wilcoxon testom smo primerjali globino kolesnic po sečnji in globino kolesnic po spravilu. Test je pokazal, da obstajajo statistično značilne razlike pri globini kolesnic med procesoma. S tem smo tudi potrdili naša pričakovanja, da spravilo lesa povzroča večje poškodbe tal.

Preglednica 11: Primerjava širine sečne poti med sečnjo in spravilom lesa z Wilcoxon testom

Primerjava	N	Z	Značilnost
Sečnja-spravilo	60	-3,431	0,001

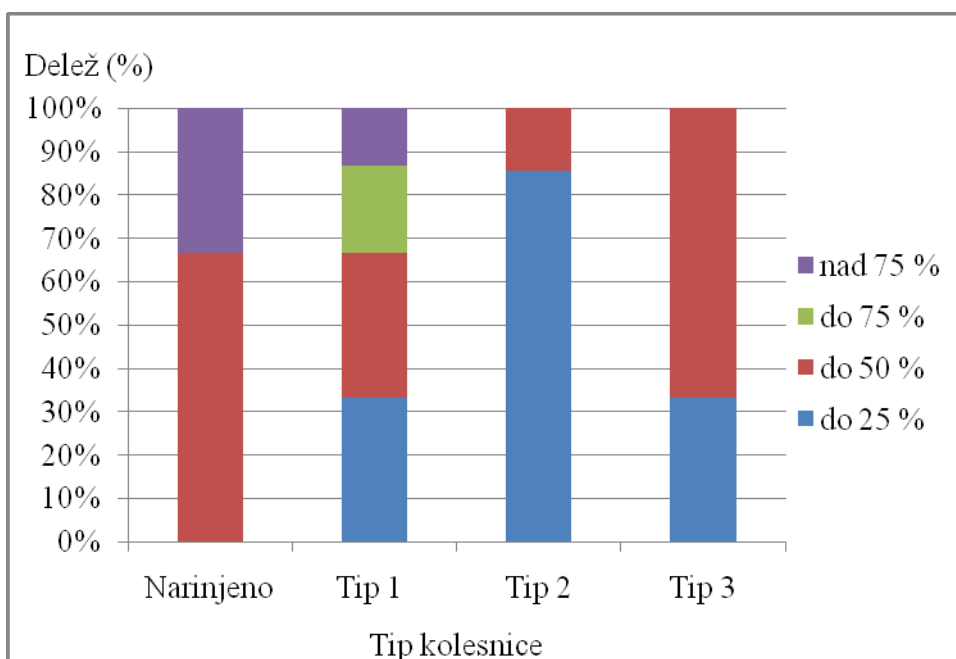
5.5 VPLIV SEČNIH OSTANKOV NA GLOBINO

Med merjenjem razdalj karakterističnih točk smo merili tudi debelino in pokritost s sečnimi ostanki na vsakem profilu. Debelino sečnih ostankov smo merili na kolesnicah in na osi. S pridobljenimi podatki smo poskušali ugotoviti ali debelina sečnih ostankov vpliva na globino kolesnic. Pri popisovanju smo debeline sečnih ostankov razporedili v pet razredov, in sicer: brez sečnih ostankov, do 10 cm, do 20 cm, od 20 do 40 cm in nad 40 cm debeline. Pokritost pa smo razporedili v štiri razrede in sicer do 25 %, do 50 %, do 75 % in nad 75 %.



Slika 6: Debelina sečnih ostankov na kolesnici po sečnji glede na tip kolesnic po sečnji

Na sliki 6 so predstavljeni deleži različnih debelin sečnih ostankov glede na tip kolesnice. Iz slike lahko ugotovimo, da so narinjene kolesnice nastale na profilih, kjer so bile prisotne največje debeline sečnih ostankov na kolesnicah. Tip 2 in tip 3 kolesnic pa sta nastala na profilih, kjer ni bilo prisotnih sečnih ostankov na kolesnicah oziroma je bila ta plast tanka.

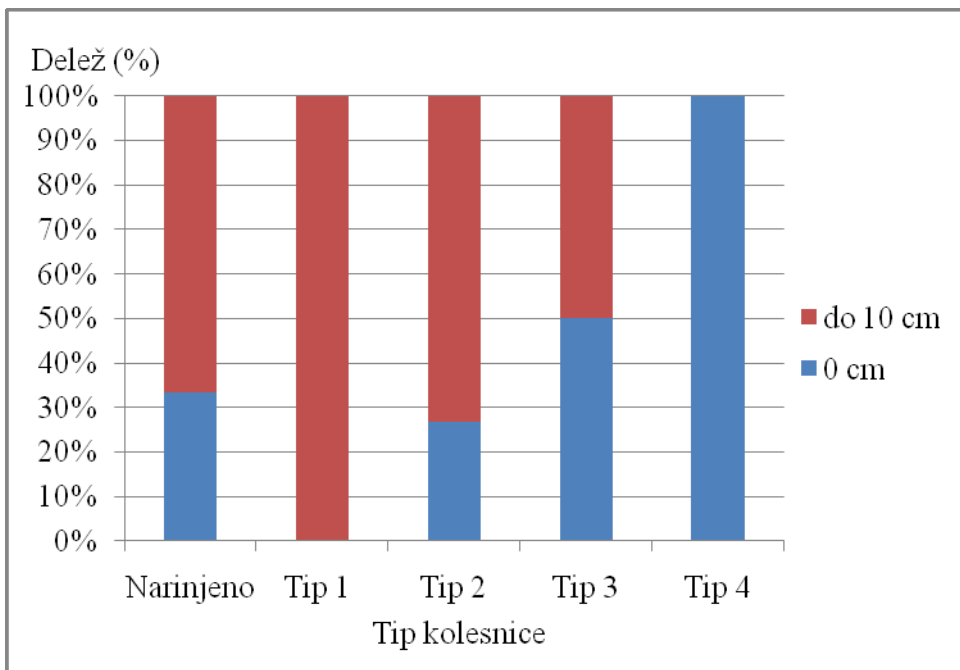


Slika 7: Pokritost sečnih ostankov na kolesnici po sečnji glede na tip kolesnic po sečnji

Na sliki 7 so predstavljeni deleži različne pokritosti kolesnic glede na tip kolesnic po sečnji. Iz slike je razvidno, da so narinjene kolesnice nastale na profilih, kjer je bila

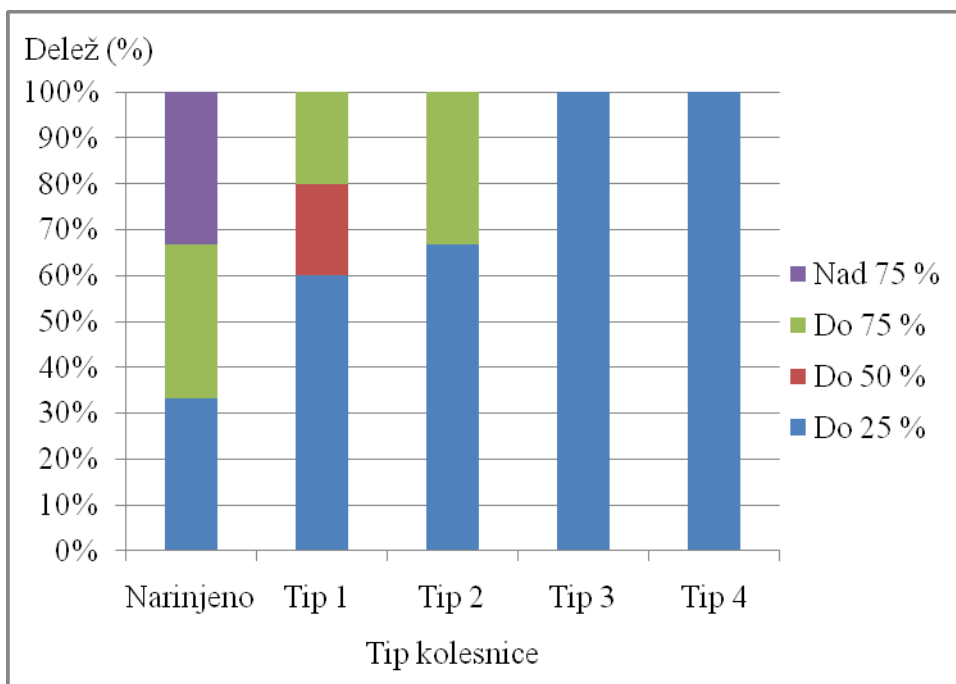
pokritost s sečnimi ostanki do 50 % in nad 75 %. Kolesnice tip 2 in tip 3 pa so nastale na profilih, kjer je bila v večini primerov pokritost do 25 % in maksimalno 50 %.

Enak postopek smo ponovili še pri spravilu lesa. Debelino sečnih ostankov in pokritost s sečnimi ostanki po spravilu smo primerjali z globino nastalih kolesnic po spravilu.



Slika 8: Debelina sečnih ostankov na kolesnici po spravilu glede na tip kolesnice po spravilu

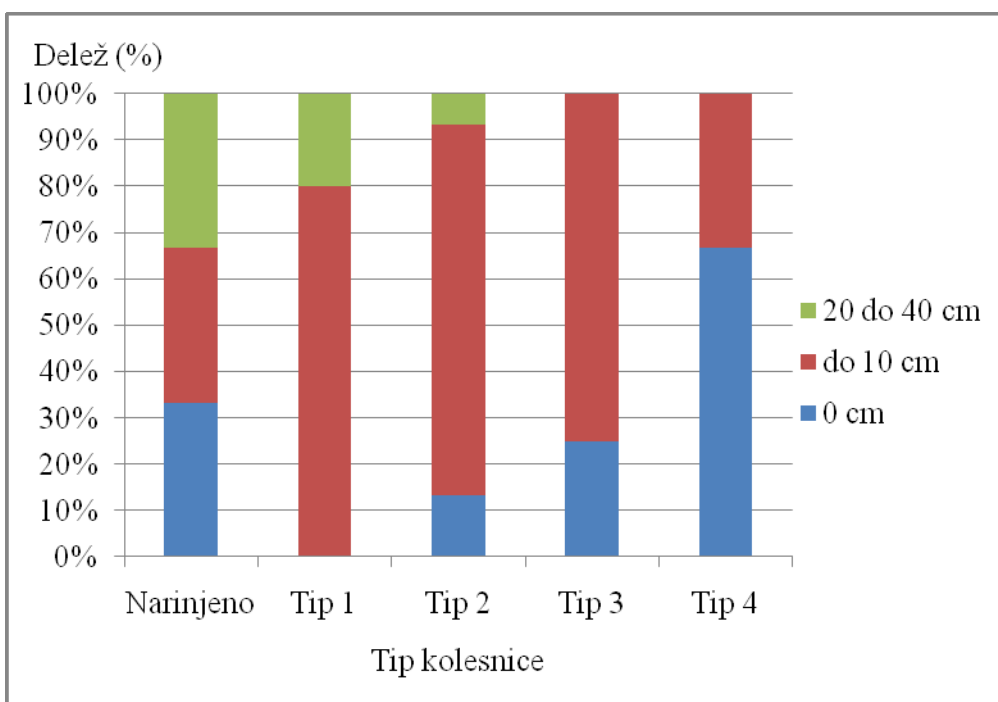
Čeprav je bila debelina sečnih ostankov po spravilu največ 10 cm, lahko iz slike 8 razberemo, da se globina kolesnic veča z manjšanjem deleža sečnih ostankov debeline 10 cm.



Slika 9: Pokritost sečnih ostankov na kolesnici po spravilu glede na tip kolesnic po spravilu

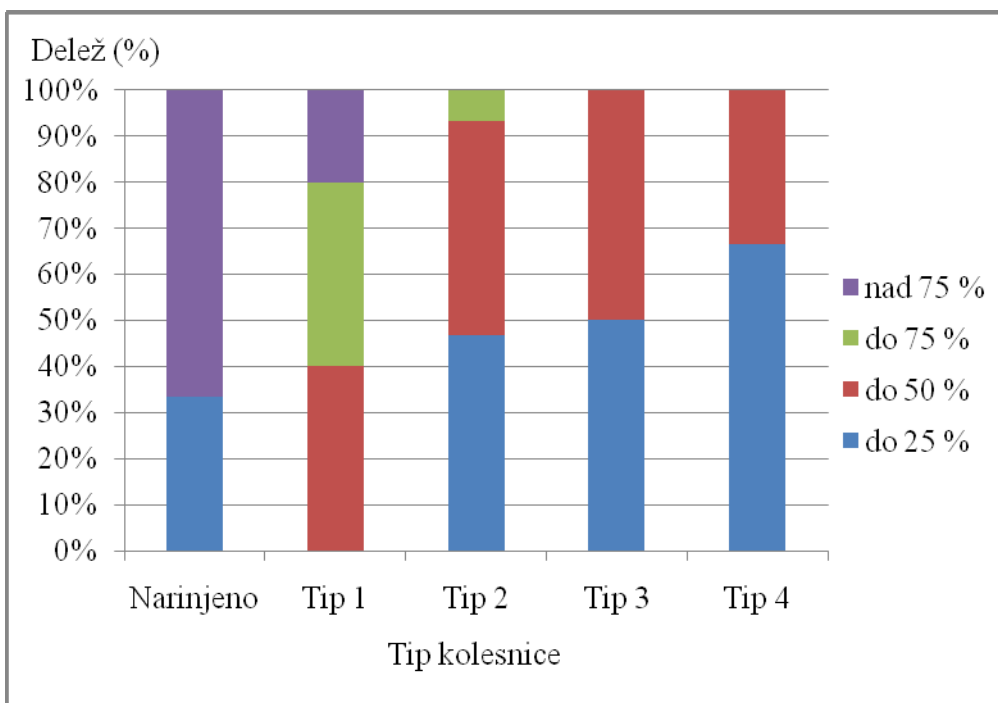
Tudi iz slike 9 lahko opazimo, da se globine kolesnic večajo z manjšanjem pokritosti kolesnic. Pri narinjenih kolesnicah imamo skoraj 70 % kolesnic, ki imajo pokritost večjo od 50 %. Pri tip 3 in tip 4 kolesnicah pa imamo v vseh primerih le 25 % pokritost.

Nato smo še primerjali poškodbe po spravilu z debelino in pokritostjo sečnih ostankov po sečnji. Pri tej primerjavi smo hoteli ugotoviti, na kakšno debelino in pokritost je zapeljal zgibni polprikoličar in kakšne poškodbe so za njim ostale.



Slika 10: Debelina sečnih ostankov na kolesnici po sečnji glede na tip kolesnice po spravi lu

Tudi iz slike 10 lahko opazimo, da se globina kolesnic povečuje z manjšanjem debeline sečnih ostankov.



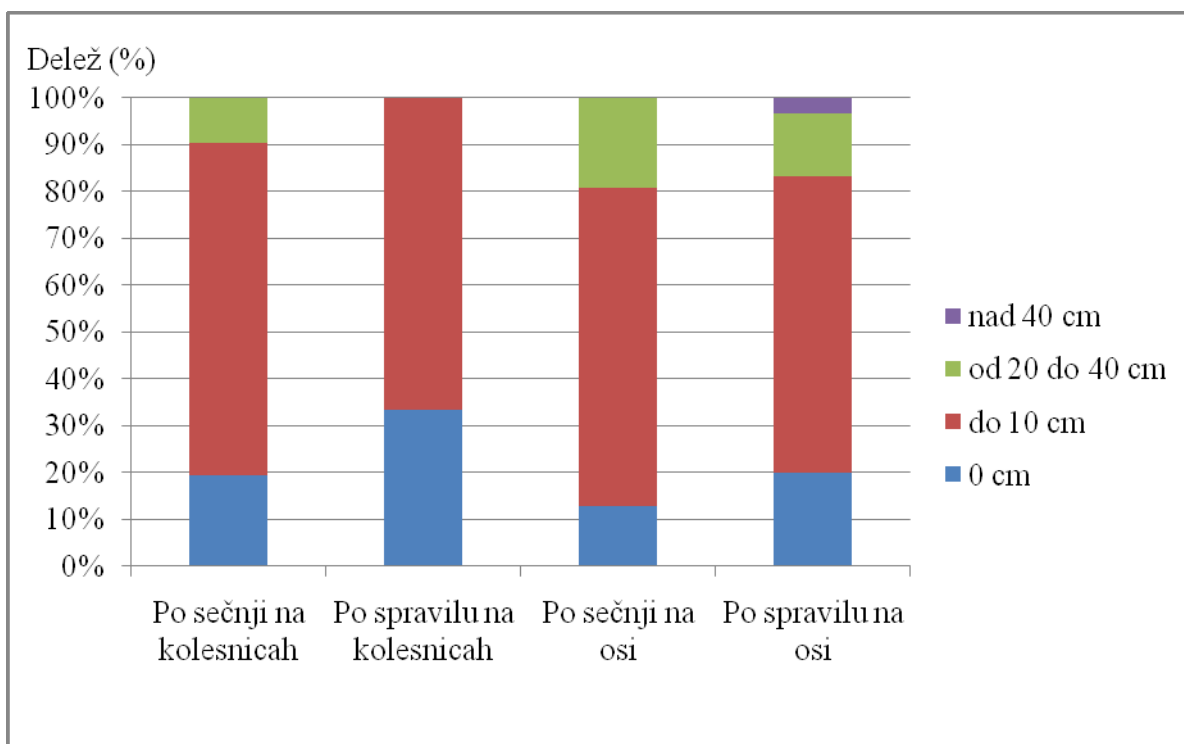
Slika 11: Pokritost sečnih ostankov na kolesnici po sečnji glede na tip kolesnic po spravi lu

Slika 11 pa potrjuje trend, da se globina kolesnic veča z manjšanjem pokritosti kolesnic.

Preglednica 12: Analiza povezav s Spearmanovim koeficientom koleracije med globino kolesnic ter debelino oz. pokritostjo s sečnimi ostanki

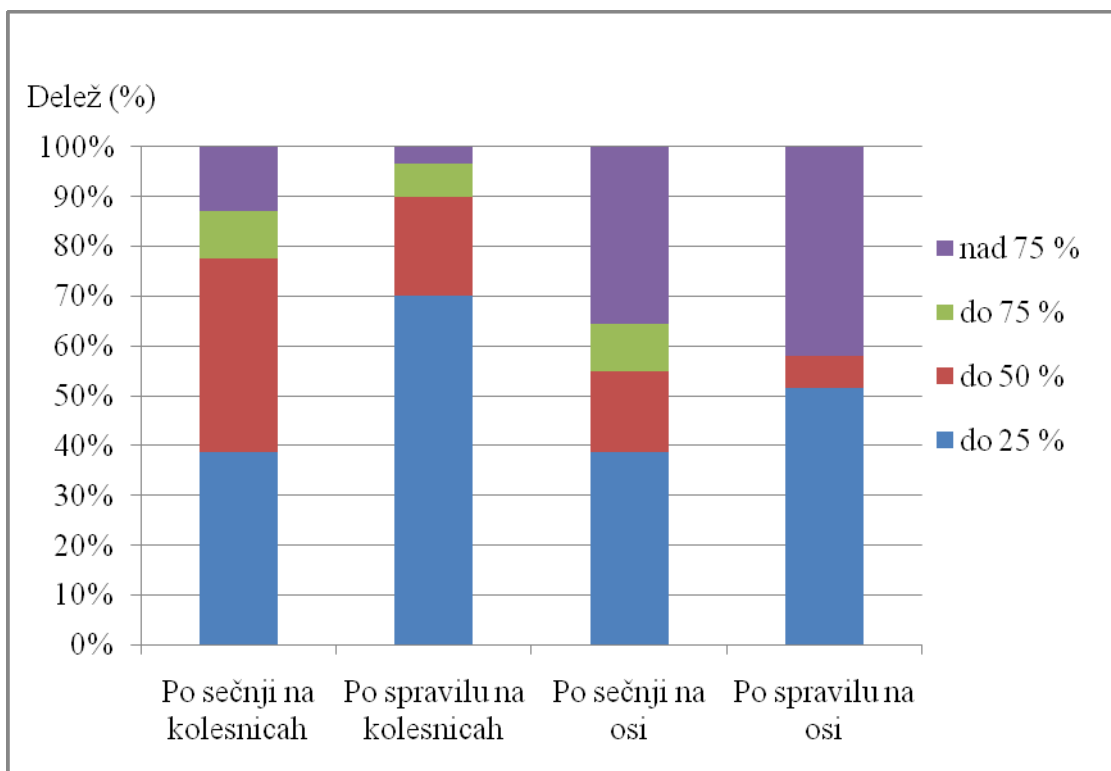
Sečni ostanki	N	Koeficient koleracije	Značilnosti	Raven povezanosti
Globina kolesnic po sečnji				
Debelina po sečnji	31	-0,411	0,021	0,05
Pokritost po sečnji	31	-0,453	0,01	0,05
Globina kolesnic po spravilu				
Debelina po sečnji	30	-0,498	0,005	0,01
Pokritost po sečnji	30	-0,429	0,018	0,05
Debelina po spravilu	30	-0,367	0,046	0,05
Pokritost po spravilu	30	-0,632	0	0,01

S Spearmanovim koeficientom korelacije smo potrdili povezave med globino kolesnic in debelino sečnih ostankov ter med globino kolesnic in pokritostjo s sečnimi ostanki (preglednica 12).



Slika 12: Delež debeline sečnih ostankov glede na proces in mesto na sečni poti

Z večanjem števila prehodov se spremeni tudi količina sečnih ostankov na sečni poti. Na osi sečne poti za razliko od kolesnic ne pride do velikih sprememb v debelini sečnih ostankov med fazama dela.



Slika 13: Delež pokritosti s sečnimi ostanki glede na proces in mesto na sečni poti

Pri spremembi pokritosti s sečnimi ostanki se na sliki 13 opazi sprememba med kolesnicami po sečnji in kolesnicami po spravilu. Z večanjem števila prehodov se zmanjša površina sečnih ostankov na kolesnicah. Na osi sečne poti se opazi manjša sprememba kot pri kolesnicah. Na osi se v nekaterih primerih pokritost zmanjša, v drugih pa poveča.

Če primerjamo, kje so nastale večje spremembe lahko iz primerjav slik 12 in 13 sklepamo, da se je pokritost kolesnic skozi proces močneje spremenila kot globina kolesnic.

6 RAZPRAVA

Objekt, ki smo ga analizirali pri tej diplomski nalogi je bil v sestoji, v katerem je gozdarska družba izvajala redno sečnjo. Sečne poti je predhodno trasiral revirni gozdar. Tako postavljen objekt prikazuje dejanske in bolj realne podatke o poškodbah tal, kot pa objekti, pri katerih imamo le ravne in slepe sečne poti. Takšne objekte so uporabljali v preteklih raziskavah o poškodbah tal pri strojni sečnji in spravilu lesa v Sloveniji.

Metodo, s katero smo analizirali poškodbe tal, so prvič uporabili leta 2006 v GGO Bled. Metodo so potrdili za zanesljivo in korektno pri ugotavljanju poškodb tal. Metoda ima več prednosti. Vse podatke lahko pobereta le dve osebi. Eden od njih meri razdalje karakterističnih točk, drugi pa zapisuje podatke. Metoda je hitra in hkrati lahko zbiramo več različnih podatkov. V veliko pomoč nam je prišel tudi dlančnik Trimble, in na njemu naložen program Terrasync, ki nam je omogočal hitro in pregledno zapisovanje izmerjenih razdalj in drugih podatkov. Poleg tega pa smo se izognili napakam pri prepisovanju, saj z dlančnikom podatke neposredno zapisujemo v digitalno obliko.

Slabša lastnost metode se pojavi pri postavljanju prečnih profilov na sečni poti. Pri postavljanju profilov na objektu moramo količek, ki označuje mesto profila postaviti dovolj stran od sečne poti, najbolje je poleg neodkazanega drevesa ali večje skale. V nasprotnem primeru ga lahko stroj povozi ali pa se nanj odloži že izdelan sortiment. Določen problem predstavljajo tudi sečni ostanki, ki se nahajajo na sečni poti, saj preko njih s sekaškim metrom ne moremo zelo natančno izmeriti horizontalnih razdalj, zato se lahko pojavijo tudi napake med primerjavo obeh faz dela. Pri merjenju vertikalnih razdalj s trasirko ob večji debelini sečnih ostankov tudi ne vemo, ali smo s trasirko dosegli tla ali pa smo zadeli kakšno ležečo vejo. Pri merjenju vertikalnih razdalj moramo tudi paziti, da pri slabše nosilnih tleh trasirke ne zapičimo globoko v zemljo. Najbolje je, da meritve vedno opravlja ista oseba, saj pri tem uporablja vedno enako silo pri potiskanju trasirke. Problem pa nam predstavlja tudi močno sonce, ker ne vidimo laserskega žarka, s katerim si pomagamo pri merjenju vertikalnih razdalj. Meritve smo naredili najprej po sečnji in nato še po spravilu, tako smo lahko ugotovili kakšne so razlike v poškodbah tal.

Povprečna vrednost konusnega indeksa je znašala 913,78 kPa. Največji CI smo izmerili na globini tal med 20 in 25 cm. Povprečna vlažnost tal je bila 30,8 %. Na osnovi slike 4 lahko sklepamo, da se nosilnost tal manjša z večanjem vlage v tleh, čeprav to ne moremo dokončno potrditi, ker je raztros vrednosti CI na sliki preširok, poleg tega pa smo v našem primeru imeli premajhno število vzorcev.

Povprečna širina sečnih poti po spravilu je znašala 390,63 cm. Razlika v širini poti med spravilom in sečnjo je 14,5 cm. S statistično analizo smo ugotovili, da razlike med širino poti po sečnji in po spravilu niso statistično značilne. Delež motene površine po spravilu je

znašal 22 %. Pri sečnji je bil ta delež za 1 % nižji. Gostota sečnih poti v objektu je znašala 566,8 m/ha. Dobljene vrednosti so običajne za strojno sečnjo in ne presegajo naših pričakovanj. Cerjak je v svoji diplomski nalogi prišel do podobnih rezultatov. Na Pohorju je bila širina poti 369 cm, na Goričkem pa 417 cm. Motene površine je bilo na Pohorju 19,4 % in na Goričkem 21,9 %. Gostota vlak pa je bila v obeh objektih 526 m/ha. Razlika v gostotah vlak je 40 m/ha, predvsem zaradi drugačne postavitve sečnih poti. Cerjak je imel v svojem primeru le ravne in vzporedne sečne poti, brez krivin in križišč, kot v našem objektu v Šahnu. Širine poti na našem objektu bi težko zmanjšali, saj pri večjem številu prehodov strojnik ne vozi točno po enakih kolesnicah, ampak gre malce levo oziroma desno. Tako lahko zelo hitro dobimo sečne poti s širino 4 m in več. Kritična so predvsem križišča sečnih poti – v primeru medsebojne pravokotnosti mora strojnik večkrat popravljati smer stroja, s tem pa povečuje poškodbe tal. Gostota sečnih poti je predvsem odvisna od lastnosti stroja in od revirnega gozdarja. Revirni gozdar mora predhodno pripraviti oddelek za strojno sečnjo, poleg tega pa mora tudi dobro poznati lastnosti posameznega stroja, ki se bo uporabljal. Napake pri pripravi oddelka bodo sčasoma z izkušnjami vedno manjše, saj je na kočevskem strojna sečnja prisotna komaj od leta 2007 in strojniki ter revirni gozdarji še vedno pridobivajo potrebne izkušnje. Gostote sečnih poti bi lahko zmanjšali tudi z dodatnim izobraževanjem strojnikov v primeru izvedbe redčenj. V tem primeru bi strojnik sam izvajal redčenja, ob tem pa bi naredil le tiste sečne poti, ki so potrebne in posekal le drevesa, ki ga res ovirajo. Pri tem bi moral strojnik predhodno pregledati oddelek, zaradi tega bi se zmanjšala učinkovitost stroja.

Pri obdelavi podatkov smo ugotovili kar velike razlike med levo in desno kolesnico na istem profilu, zato smo se odločili, da bomo vsako kolesnico obravnavali posebej in jih ne bomo združevali skupaj v povprečje. Po končani sečnji je bilo na objektu 25,8 % naraslih kolesnic, 62,9 % kolesnic je bilo globokih do 10 cm in 11,3 % je bilo kolesnic globljih od 10 cm. Po končani sečnji na objektu ni bilo prisotnih kolesnic tip 4, povprečna globina brez naraslih kolesnic pa je bila 6 cm. Po končanem spravi lu pa je bilo na objektu 13,3 % naraslih kolesnic, 50 % kolesnic je bilo globokih do 10 cm in 36,7 % kolesnic je bilo globljih od 10 cm. Po končanem spravi lu sta bili le 2 kolesnici globlji od 20 cm. Če ne štejemo v povprečje naraslih kolesnic, je bila povprečna globina kolesnic po spravi lu 9,1 cm. Globina kolesnic ni bila večja zaradi plitvih tal in trde matične podlage. Največje globine kolesnic se pojavijo v vrtačah, kjer so globlja in vlažnejša tla. Iz podatkov in slike 5 lahko sklepamo, da je spravi lu lesa povzročilo globlje kolesnice. Naša sklepanja smo potrdili tudi s statistično analizo. S tem lahko tudi potrdimo našo hipotezo, da večje poškodbe na tleh povzročamo z zgibnim polprikoličarjem. Cerjak je v svoji diplomski nalogi imel le 9 % kolesnic globljih od 10 cm. Ni pa potrdil statistično značilnih razlik v globini kolesnic med sečnjo in spravi lu. Pri zgibnem polprikoličarju nastanejo globlje kolesnice zaradi njegove velike teže, saj ima polno naložen lahko tudi do 30 ton. Globlje kolesnice se pojavijo tudi zaradi številnih prehodov, saj se z vsakim prehodom večja globina, poleg tega pa tudi uniči nekaj sečnih ostankov, ki sicer blažijo pritisk stroja na tla.

Po koncu sečnje in spravila so nastale vlake tipa 2 oziroma srednje globoke kolesnice. Pri njih je vrhnji horizont premaknjen oziroma zmešan. Vrhni sloj pri tem tipu vlake je deformiran, vendar je prevladujoča poškodba tal zbitost. Poroznost tal je v vrhnjih horizontih močno zmanjšana (Košir, 2010).

Ugotovili smo, da sta stroja primerna za redčenje drogovnjaka. Gostota sečnih poti ni bila prevelika glede na razvojno fazo. Globine kolesnic pa tudi niso bile pregloboke, 36,7 % kolesnic je bilo globljih od 10 cm in le 2 kolesnici sta bili globlji od 20 cm. V primeru uporabe manjšega stroja, kolesnice ne bi bile tako globoke, gostota sečnih poti pa bi bila še večja in v starejših razvojnih fazah bi imeli nekaj nepotrebne sečne poti, po katerih se večji stroj zaradi večjega dosega roke morda sploh ne bi vozili.

V raziskavi smo poskušali še ugotoviti, ali imajo sečnih ostanki vpliv na globino kolesnic. S statističnimi analizami smo potrdili hipotezo, da poškodbe na tleh lahko zmanjšamo s polaganjem sečnih ostankov na sečne poti, to je tudi jasno razvidno iz slik 6, 7, 8, 9, 10 in 11. Sečni ostanki na kolesnicah so bili močno stisnjeni, medtem ko je debelina sečnih ostankov na osi v večini primerov ostala nespremenjena. Stroji s svojo veliko težo postopoma uničujejo in zmanjšujejo debelino sečnih ostankov na kolesnicah. Po spravilu so imeli sečni ostanki največjo debelino 10 cm, v eni tretjini primerov pa niso bili več prisotni. Na osi sečne poti za razliko od kolesnic ne prihaja do velikih sprememb v debelini in pokritosti s sečnimi ostanki med fazama dela, saj stroji zaradi svoje velike oddaljenosti od tal nimajo kontakta s samo osjo sečne poti. Pokritost sečne poti s sečnimi ostanki se je na kolesnicah tudi močno zmanjšala, v 70 % primerov je bila pokritost pod 25 %. Medtem ko na osi sečne poti ni prišlo do tako velikih sprememb v pokritosti. Skozi proces se je pokritost kolesnic močneje spremenila kot debelina sečnih ostankov na kolesnici. Iz slike 12 opazimo, da se je debelina sečnih ostankov med procesi v razredu 0 cm spremenila za 14 %. Iz slike 13 pa opazimo, da se je razred pokritosti do 25 % povečal iz 39 % na 70 %. Globino kolesnic bi lahko zmanjšali s prerazporejanjem sečnih ostankov iz osi sečne poti na kolesnice. To bi lahko dosegli tako, da bi strojnik poskušal oklestiti drevo tako, da bi čim več sečnih ostankov padlo na kolesnice ali pa bi po končanem procesiranju z roko stroja premaknil sečne ostanke. To bi bilo gotovo koristno, vendar se pojavi dilema, ali se ekonomsko splača uporabljati tako drag stroj za prerazporejanje sečnih ostankov, saj moramo učinkovitost stroja imeti na zelo visoki ravni, saj le tako lahko pokrijemo visoke stroške proizvodnje.

Zavedamo se, da bo strojna sečnja vedno bolj prisotna v naših gozdovih, saj bo to potrebno, če hočemo konkurirati tujim podjetjem. Tako kot smo pred desetletji prešli s sekire na motorno žago in z živalskega spravila na traktorsko, danes postopoma prehajamo iz klasične sečnje in traktorskega spravila na strojno sečnjo in spravilo lesa. Res pa je, da zaradi terenskih razmer in našega načina gospodarjenja strojna sečnja nikoli ne bo popolnoma prevladala v našem prostoru. V prihodnosti se bodo stroji verjetno v taki meri

razvili, da bodo proizvajali največje možne učinke in med tem povzročali vedno manjše poškodbe v gozdovih. Poleg tega pa bomo z leti pridobili vedno več znanja in izkušenj pri uporabi te tehnologije, s tem pa bomo postopoma zmanjševali škodljiv vpliv na gozd.

V prihodnosti je nujno potrebno narediti raziskave o učinkovitosti stroja v naših gozdovih in analizirati različne kombinacije organizacije dela, s katerimi bi lahko zmanjšali poškodbe v gozdovih.

7 SKLEPI

Na objektu je bila povprečna širina sečne poti po spravilu lesa 390,63 cm. V primerjavi s širino sečne poti po sečnji je bila v povprečju širša za 14,5 cm. S statistično analizo smo potrdili, da z zgibno polprikolico povzročamo širše poti in s tem večje poškodbe na tleh. Vzroki za večjo širino sečne poti po spravilu so večje število prehodov. Po spravilu lesa je bila brez naraslih kolesnic povprečna globina kolesnic 9,1 cm. Na objektu je bilo 13,3 % naraslih, 50 % kolesnic je bilo globokih do 10 cm in 36,7 % kolesnic je bilo globljih od 10 cm. Le dve kolesnici sta bili globlji od 20 cm in na objektu ni bilo prisotnih nedovoljenih kolesnic (nad 30 cm). Ugotovili smo, da spravilo lesa povzroča večje globine kolesnic kot sečnja, saj imajo stroji pri spravilu včasih maso okoli 30 ton. Z večanjem števila prehodov pa se povečujejo tudi globine kolesnic. Delež motene površine po spravilu je znašal 22 %, pri sečnji je bil ta delež za 1 % nižji. Gostota sečnih poti na objektu je bila 566,8 m/ha. Dobljene vrednosti so običajne za strojno sečnjo in so podobne predhodnim raziskavam pri nas.

Ugotovili smo, da sta bila stroja primerna za redčenje drogovnjaka.

Sečni ostanki so ugodno vplivali na zmanjševanje poškodb tal. Z večanjem števila prehodov stroji s svojo veliko maso zmanjšujejo pokritost in debelino sečnih ostankov na kolesnicah. Sečni ostanki na osi sečne poti so ostali po obeh fazah dela skoraj nespremenjeni. Zato bi bilo smiselno, da bi prerazporedili sečne ostanke iz osi na kolesnice sečne poti.

Pri uporabi strojne sečnje in spravila lesa se moramo najprej vprašati ali imamo primerni stroj za naše razmere. Zaradi velike razgibanosti terena in različnih razvojnih faz v Sloveniji z enim tipom (velikostjo) stroja ne moremo pokriti vseh delovišč Problem pa se pojavi pri visoki ceni stroja. Večina podjetij ima zaradi cene samo en tip stroja (eno velikost), ker si ne morejo privoščiti več različnih strojev za različne razmere. Zato podjetja kupijo tisti stroj, katerega lahko najboljše izkoristijo. V večini primerov je to večji stroj, ki je namenjen za redčenja v večjih debelinah in končne sečnje. Takšen stroj pa je z vidika poškodb manj primeren v mlajših razvojnih fazah.

Trasiranje sečnih poti naj izvaja izkušen revirni gozdar, ki dobro sodeluje s strojnikom. V prihodnosti bi bilo smiselno preizkusiti tudi način, pri katerem bi strojnik sam redčil, torej brez predhodnega odkazila revirnega gozdarja.

V določenih razmerah bi lahko zmanjšali količino tovara na zgibni polprikolici, s tem bi zmanjšali pritisk stroja na tla. Povečalo pa bi se število prehodov, ki bi bilo potrebno za spravilo vsega lesa, s tem pa bi se povečale tudi poškodbe.

Gotovo bi bilo bolje, da se strojna sečnja ne uporabljajo na tleh, ki imajo veliko vlažnost (po večjih deževjih, taljenju snega), saj so takrat tla slabo nosilna in hitro nastanejo velike globine kolesnic. Če je možno naj se stroj premakne v kakšen drugi oddelek, kjer so razmere boljše. Če pa imamo v oddelku krajši odsek, kjer je stalno prisotna velika vlažnost tal ter slaba nosilnost in se ga ne moremo izogniti, pa lahko uporabimo posebej pripravljeno leseno konstrukcijo, ki jo stroj položi pred seboj in nato vozi po njej.

8 VIRI

- Carter E., Rummer B., Stokes B. 1997. Site Disturbances Associated with Alternative Prescriptions in a Upland Hardwood Forest of Northern Alabama. An ASAE meeting presentation, paper no. 975013: 19 str.
- Cerjak B. 2011. Poškodbe tal po strojni sečnji in spravilu lesa v redčenjih: diplomska naloga. (Univerza v Ljubljani, BF, oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana., samozal.: 86 str.
- Gozdnogospodarski načrt gozdnogospodarske enote Mozelj za leto 2009-2018. 2009. Kočevje, Zavod za gozdove, Območna enota Kočevje: 266 str.
- J. R. Williamson and W. A. Neilsen. 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
- Košir B. 2010. Gozdna tla kot usmerjevalec tehnologij pridobivanja lesa. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 80 str.
- Košir B., Krč J. 2003. Presoja različic omejitev rabe strojne sečnje lesa z vidika terenskih in sestojnih razmer v Sloveniji. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 71: 5-18
- Košir B., Robek R. 2000. Značilnosti poškodb drevja in tal pri redčenju sestojev s tehnologijo strojne sečnje na primeru delovišča Žekanc. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 62: 87-115
- Mali B. 2006. Poškodbe tal po sečnji s strojem za sečnjo in spravilu lesa z zgibnim polprikoličarjem: diplomska naloga. (Univerza v Ljubljani, BF, oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana., samozal.: 61 str.
- Poff. R. J. 1996. Effects of Silvicultural Practices and Wildfire on Productivity of Forest Soils. Sierra Nevada Ecosystem Project: 477-495
- Seixas F., McDonald T. 1997. Soil compaction effect of forwarding and its relationship with 6- and 8- wheeled drive machines. Forest Products Journal, 47, 11/12: 46-52
- Spectrum Technologies (vlagomer): spletna stran proizvajalca
<http://www.specmeters.com/soil-and-water/soil-moisture/fieldscout-tdr-meters/tdr300/>
(23. jul. 2012)

Spectrum Technologies (penetrometer): spletna stran proizvajalca

<http://www.specmeters.com/soil-and-water/soil-compaction/fieldscout-sc-900-meter/sc900/> (23. jul. 2012)

Tehnični podatki za John Deere 1470 D: spletna stran zastopnika Merimex s.r.o.

http://www.merimex.cz/underwood/download/files/1270D_1470D.pdf (23. jul. 2012)

Tehnični podatki za John Deere 1410 D: spletna stran zastopnika Merimex s.r.o.

http://www.merimex.cz/underwood/download/files/1410D_1710D.pdf (23. jul. 2012)

Vaz C. M. P. 2003. Use of a Combined Penetrometer-TDR Moisture Probe for Soil Compaction Studies. College on Soil Physics Trieste: 451-457

Žlogar J. 2007. Primernost traktorskih vlak za vožnjo z zgibnim polprikoličarjem: diplomsko delo (Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 57 str.

ZAHVALA

Zahvaljujem se Matevžu Miheliču za pomoč, nasvete in napotke pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Juriju Marenčetu za strokovno pomoč in vodstvo pri izdelavi diplomske naloge.

PRILOGE

Priloga A: Karta objekta in sečnih poti (na naslednji strani)