

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

Bojan CERJAK

**POŠKODBE TAL PO STROJNI SEČNJI IN
SPRAVILU LESA V REDČENJIH**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2011

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

Bojan CERJAK

**POŠKODBE TAL PO STROJNI SEČNJI IN SPRAVILU LESA V
REDČENJIH**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**SOIL DAMAGE AFTER HARVESTING AND FORWARDING IN
THINNINGS**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2011

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija gozdarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za gozdno tehniko in ekonomiko Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Meritve so bile opravljene v GE Osankarica in GE Goričko obrobje.

Komisija za študijska in študentska vprašanja Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire je dne 12. 4. 2011 sprejela obravnavano temo in za mentorja imenovala prof. dr. Boštjana Koširja, za recenzenta pa prof. dr. Janeza Krča.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

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

Bojan Cerjak

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Dn
- DK GDK 31:461:114(043.2)=163.6
- KG strojna sečnja/poškodbe tal/kolesnice/sečni ostanki
- AV CERJAK, Bojan
- SA KOŠIR, Boštjan (mentor)
- KZ SI - 1000 Ljubljana, Večna pot 83
- ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire
- LI 2011
- IN POŠKODBE TAL PO STROJNI SEČNJI IN SPRAVILU LESA V REDČENJIH
- TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)
- OP IX, 73 str., 21 pregl., 10 sl., 3 pril., 41 vir.
- IJ sl
- JI sl/an
- AI Gozdno gospodarstvo Maribor je avgusta 2010 na raziskovalnih ploskvah na Pohorju in na Goričkem izvedlo prvo redčenje drogovnjakov s tehnologijo strojne sečnje. Na obeh objektih je bil uporabljen stroj za sečnjo Eco Log 580 C in zgibni polprikoličar John Deere 1110. Namen diplomskega dela je bil preizkus metode snemanja sečnih poti, ugotoviti primernost uporabljenih strojev na izbranih objektih, ugotoviti razlike v globinah kolesnic po sečnji in po spravilu lesa ter vpliv sečnih ostankov na zmanjšanje globin kolesnic. Pred sečnjo je bilo na Pohorju postavljenih 42 profilov, na Goričkem pa 59. V času sečnje je ob profilih potekala meritev vlažnosti tal, po sečnji pa snemanje koordinat karakterističnih točk sečne poti. Enak postopek je sledil po spravilu lesa z zgibnim polprikoličarjem. Ob profilih se je merila tudi trdnost naravnih tal, naklon terena in število prehodov z gibnega polprikoličarja. Ugotovitve kažejo, da je bila uporabljena metoda primerna in dovolj natančna. Povprečne širine sečnih poti so na Pohorju 366 cm po sečnji in 369 cm izvozu lesa, na Goričkem pa 409 cm po sečnji in 417 cm po izvozu lesa. Širine sečnih poti so bile glede na razvojno fazo prevelike. Povprečna globina kolesnic je po obeh procesih enaka, na Pohorju 5 cm in na Goričkem 6 cm. Med procesoma ni značilnih razlik v globinah kolesnic. Z vidika globin kolesnic sta bila uporabljena stroja primerna, na vsakem objektu je bilo 91 % kolesnic manjših od 10 cm. Ugotovljen je bil ugoden vpliv sečnih ostankov na zmanjšanje globin kolesnic. Pri debelejši plasti sečnih ostankov so nastale manjše kolesnice in obratno.

KEY WORD DOCUMENTATION

- DN Dn
- DC FDC 31:461:114(043.2)=163.6
- CX mechanized logging/soil damage/ruts/logging residues
- AU CERJAK, Bojan
- AA KOŠIR, Boštjan (supervisor)
- PP SI - 1000 Ljubljana, Večna pot 83
- PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Forestry and
Renewable Forest Resources
- PY 2011
- TI SOIL DAMAGE AFTER HARVESTING AND FORWARDING IN THINNINGS
- DT Graduation thesis (University studies)
- NO IX, 73 p., 21 tab., 10 fig., 3 ann., 41 ref.
- LA sl
- AL sl/en
- AB The first thinning of pole stands took place on Pohorje and Goričko research plots in August 2010. It was carried out by Maribor Forest Management with mechanized logging operations. At both sites harvester Eco Log 580 C and forwarder John Deere 1110 were used. The purpose of this thesis was to test the track recording methods, to determine the suitability of the machinery used on selected sites, to determine differences in rut depths after logging and timber exports and the impact of logging residues to reduce the rut depths. Before thinning 42 profiles on Pohorje and 59 on Goričko were marked. Soil moisture content was measured during the logging and coordinates of track characteristic points after it. The same procedure was followed after forwarding of timber. Next to profiles the strength of undisturbed soil and the slope of tracks were also measured. The findings show that the method used is appropriate and precise enough. Average width of tracks on Pohorje was 366 cm after harvesting and 369 cm after forwarding. And in Goričko it was 409 cm and 417 cm. Tracks were too wide according to the forest age. Average rut depth after both processes is the same, 5 cm on Pohorje and 6 cm in Goričko. There was no significant difference in rut depths between both processes. 91% of the rut depths were under 10 cm on both sites, which means that both machines used were suitable. The effect of logging residues contributed to smaller rut depths. The thicker layer of logging residues is reflected in smaller rut depths and vice versa.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	III
KEY WORD DOCUMENTATION.....	IV
KAZALO VSEBINE.....	V
KAZALO PREGLEDNIC.....	VII
KAZALO SLIK.....	VIII
KAZALO PRILOG.....	VIII
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI.....	IX
1 UVOD.....	1
2 NAMEN.....	3
3 PREGLED OBJAV.....	4
3.1 ODPRTOST GOZDOV PRI TEHNOLOGIJI STROJNE SEČNJE.....	4
3.2 LASTNOSTI TAL.....	5
3.2.1 Nosilnost tal.....	5
3.2.2 Trdnost tal.....	8
3.3 VPLIVI VOŽNJE STROJEV NA GOZDNA TLA.....	10
3.3.1 Zbijanje tal.....	10
3.3.2 Nastanek kolesnic.....	13
3.3.3 Spremembe tal pri večkratnih prehodih.....	15
3.4 TEHNIČNE ZNAČILNOSTI MED KOLESOM IN TLEMI.....	16
3.5 ZMANJŠEVANJE NEGATIVNIH VPLIVOV NA TLA.....	21
3.5.1 Prilagoditev časa sečnje.....	21
3.5.2 Sečni ostanki.....	22
3.5.3 Podvozje in pnevmatike.....	23
4 HIPOTEZE.....	25
5 METODE.....	26
5.1 OPIS OBJEKTOV RAZISKAVE.....	27
5.1.1 Raziskovalni objekt v GE Osankarica.....	27
5.1.1.1 Matična podlaga in tla.....	27
5.1.1.2 Pregled preteklega gospodarjenja z gozdovi.....	28
5.1.1.3 Današnje stanje sestojev.....	29

5.1.2	Raziskovalni objekt v GE Goričko obrobje.....	30
5.1.2.1	Matična podlaga in tla	30
5.1.2.2	Pregled preteklega gospodarjenja z gozdovi	31
5.1.2.3	Današnje stanje sestojev	32
5.2	OPIS STROJEV V RAZISKAVI.....	32
5.3	METODA DELA.....	35
5.3.1	Snemanje poškodb tal na prečnih profilih po sečnji.....	36
5.3.2	Jemanje talnih vzorcev v času sečnje	37
5.3.3	Snemanje poškodb tal na prečnih profilih po izvozu lesa	39
5.3.4	Jemanje talnih vzorcev v času izvoza lesa.....	40
5.3.5	Merjenje nosilnosti tal	40
5.3.6	Merjenje vlage v tleh	41
5.3.7	Merjenje naklonov na sečnih poteh	42
5.4	OBDELAVA PRIDOBLJENIH PODATKOV	42
6	REZULTATI.....	43
6.1	PREGLED STANJA NA OBJEKTIH	43
6.1.1	Konusni indeks	43
6.1.2	Vlačnost tal	44
6.1.3	Naklon terena.....	46
6.2	PRIMERNOST STROJEV Z VIDIKA ŠIRINE SEČNE POTI.....	47
6.3	PRIMERNOST STROJEV Z VIDIKA GLOBIN KOLESNIC	49
6.3.1	Risanje prečnih profilov	49
6.3.2	Računanje kolesnic	50
6.4	VPLIV DEJAVNIKOV NA GLOBINO KOLESNIC	53
6.4.1	Sečni ostanki.....	53
6.4.2	Vpliv ostalih dejavnikov na globino kolesnic	59
7	RAZPRAVA IN SKLEPI.....	61
8	POVZETEK.....	65
9	VIRI	68

ZAHVALA

PRILOGE

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Predlog razvrščanja poškodb kolesnega spravila na tla (Košir, 2010).....	14
Preglednica 2: Konusni indeks tal v kPa	43
Preglednica 3: Vlažnosti tal v %.....	44
Preglednica 4: Wilcoxon test za primerjavo razlik med uporabljenima metodama	44
Preglednica 5: Povprečne vrednosti vlage v tleh v %	44
Preglednica 6: Povprečne vrednosti CI glede na razred vlažnosti.....	46
Preglednica 7: Povprečne vrednosti CI in vlažnosti tal na posamezni sečni poti.....	46
Preglednica 8: Nakloni sečnih poti v %	46
Preglednica 9: Širine sečnih poti in svetlih profilov v cm.....	47
Preglednica 10: Testiranje razlik v širini robov sečnih poti po sečnji in po spravilu z Wilcoxon testom.....	47
Preglednica 11: Deleži profilov s spremembo širine sečne poti po procesih	47
Preglednica 12: Koeficienti širine sečne poti glede na širino stroja.....	48
Preglednica 13: Delež motene površine na hektar.....	48
Preglednica 14: Delež motene površine pri različnih širinah sečne poti in pri majhnem stroju za sečnjo	49
Preglednica 15: Delitev kolesnic na tipe glede na njihovo globino	51
Preglednica 16: Narasle in stisnjene kolesnice v cm.....	52
Preglednica 17: Testiranje razlik v globini kolesnic po sečnji in po spravilu z Wilcoxon testom	52
Preglednica 18: Testiranje razlik v globini kolesnic med objektoma z Mann-Whitney testom	53
Preglednica 19: Testiranje povezav med globinami kolesnic in količino sečnih ostankov s Spearmanovim koeficientom korelacije (Pohorje).....	55
Preglednica 20: Testiranje povezav med globinami kolesnic in količino sečnih ostankov s Spearmanovim koeficientom korelacije (Goričko)	56
Preglednica 21: Testiranje povezav med globinami kolesnic in ostalimi dejavniki s Spearmanovim koeficientom korelacije	59

KAZALO SLIK

Slika 1: Povprečne vrednosti CI na različnih globinah tal	43
Slika 2: Rastros CI in trendnih črt glede na vlažnost tal	45
Slika 3: Primer risanja profilov (profil 13 in 36 na Pohorju)	50
Slika 4: Struktura globin kolesnic po posameznem procesu	51
Slika 5: Tipi kolesnic po sečnji glede na debelino sečnih ostankov na kolesnicah (Pohorje)	53
Slika 6: Tipi kolesnic po spravilu glede na pokritost s sečnimi ostanki po sečnji (Pohorje)	54
Slika 7: Tipi kolesnic po spravilu glede na debelino sečnih ostankov po sečnji (Goričko)	56
Slika 8: Deleži profilov različnih debelin sečnih ostankov glede na proces in mesto na sečni poti (Pohorje).....	57
Slika 9: Deleži profilov z različno pokritostjo sečnih ostankov glede na proces in mesto na sečni poti (Goričko).....	58
Slika 10: Vrednosti konusnega indeksa glede na tip kolesnic.....	60

KAZALO PRILOG

Priloga A: Prikaz poskusnih ploskev v GE Osankarica

Priloga B: Prikaz poskusnih ploskev in glavne vlake v GE Goričko obrobje

Priloga C: Podroben prikaz poskusnih ploskev v GE Goričko obrobje

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

CI	konusni indeks
CI ₁₀	konusni indeks v globini 10 cm
CI ₂₀	konusni indeks v globini 20 cm
GGE	gozdnogospodarska enota
N	število meritev
NGP	nominalni tlak na podlago
St. znač.	stopnja značilnosti

1 UVOD

V Sloveniji je uveljavljen sonaraven, trajnostni in večnamenski način gospodarjenja gozdov, ki na prvi pogled izključuje tehnologijo strojne sečnje. Razvoj strojev za sečnjo in način tehnologije dela pa sta omogočila, da je danes pri nas strojna sečnja nekaj povsem vsakdanjega. Krč (2002) je v raziskavi, kjer je na podlagi naklona terena, deleža iglavcev v lesni zalogi, deleža skalovitosti in izločitvijo vrtačastih terenov ugotovil, da imamo za strojno sečnjo primernih 9 % površin (7 % v državni lasti).

Stroji niso namenjeni le golosečnemu načinu gospodarjenja, ampak lahko z njimi izvajamo tudi redčenja iglavcev in listavcev. Tehnologija ima več prednosti, saj omogoča proizvodnjo visokih učinkov, ergonomsko je prijazna do delavca, učinkovita je tudi na strmejših terenih. Vendar jo je potrebno obravnavati celostno, vključno z vsemi negativnimi vplivi, ki ostanejo v sestoji po končani sečnji in spravilu lesa.

Kljub veliki prilagodljivosti strojev in načina dela, se še vedno pojavljajo negativni vplivi na okolje. Gostota grajenih vlak (za namen klasične sečnje) je pri tej tehnologiji prenizka, zato se stroj pri sečnji vozi po sestoji in pred sabo sproti podira označena drevesa, pri tem pa nastajajo tako imenovane sečne poti. Gre za vožnjo po brezpotju, v neposredni bližini dreves, ki imajo korenine pod vozno površino stroja. Po istih sečnih poteh po sečnji poteka spravilo lesa do kamionske ceste z zgibnim polprikoličarjem. Običajno se mora stroj večkrat vrniti po isti sečni poti in opraviti več polnih voženj, kar pomeni veliko obremenitev tal.

Motnje okolja se kažejo v zmanjšani rastni površini in zbijanju tal pod kolesi strojev. Manj ugodne talne razmere povzročijo zmanjšano rast korenin in posledično manjšo produkcijo dreves. Prav tako na korenine delujejo strižne sile koles, ki jih trgajo ali lupijo in jih s tem izpostavijo vdoru gliv.

Veliko tujih raziskovalcev je proučevalo odnos kolesa na tla po katerih vozi stroj. Z raziskavami želijo omogočiti napovedovanje obsega negativnih vplivov na tla in izbiro primernih strojev za določena tla.

Tudi v Sloveniji potrebujemo čim več študij o vplivu vožnje težkih strojev na gozdna tla. Potrebno je še tudi preizkušanje metode merjenja poškodb tal, ki še ni dokončno razvita in preverjena. Na podlagi svojih raziskav pa bomo glede na različne ekološke razmere lahko podajali primernost oziroma omejitve tej tehnologiji.

2 NAMEN

Za razumevanje medsebojnega vpliva kolesa na tla pri vožnji po brezpotju in posledic, ki pri tem nastanejo, je potrebno poznati nosilnost tal, ki je odvisna od fizikalnih lastnosti tal in vsebnosti vode. Prav tako je potrebno poznati lastnosti stroja in njegov specifični tlak na tla. Teža strojev je običajno večja od nosilnosti tal, zato se pod strojem ugreznejo pri tem pa nastanejo kolesnice. Globina kolesnic je priznan indikator, ki kaže usklajenost stroja in podlage oziroma prehodnost tal za mobilnost stroja (Košir, 2010). Vendar pa se ekološke razmere med državami razlikujejo, kot se razlikujejo tudi metode merjenj poškodb tal, zato ne moremo neposredno primerjati naših ugotovitev z ugotovitvami drugih držav. Pri nas je metoda za ocenjevanje poškodb tal po prehodu strojev na vlakah in brezpotju še v razvoju. Študije vplivov strojev na tla so potrebne za analiziranje motenj različnih vrst tal. Analize motenj različnih vrst tal pri danih pogojih bi pri uporabi znanih strojev omogočale napovedovanje obsega možnih motenj tal. Zato so študije o odnosu kolesa in tal pri danih pogojih v naših razmerah potrebne. S takšnimi študijami je tudi mogoče izpopolniti metodo za ocenjevanje poškodb tal, saj želimo da bi z njo zbrali čim več uporabnih podatkov v čim krajšem času.

Za redčenja sestojev s tehnologijo strojne sečnje je najbolj primerna uporaba manjših strojev za sečnjo. Takšni stroji so ožji, imajo manjšo moč motorja, maso in doseg dvigala. Za delo sicer potrebujejo večjo gostoto sečnih poti, a so zaradi njihove manjše mase in širine, motnje v okolju manjše. So tudi zelo okretni kar pripomore k ožjim sečnim potem s tem pa se zmanjša vpliv na rastno površino dreves. Na objektih, ki so bili analizirani v tej študiji pa je bilo prvo redčenje izvedeno z velikim strojem za sečnjo. Veliki stroji pa so manj okretni, težji in večjih širin, za sabo pa puščajo široke sečne poti. Poleg zmanjšanja ravnega prostora pa se pojavijo tudi motnje v tleh na sečnih poteh, ki se z izvozom lesa z zgibnim polprikoličarjem še povečajo. Namen diplomskega dela je analiza primernosti uporabljenih strojev v redčenju, z vidika ekoloških dejavnikov v smrekovem in bukovem drogovnjaku.

3 PREGLED OBJAV

3.1 ODPRTOST GOZDOV PRI TEHNOLOGIJI STROJNE SEČNJE

Sekundarne prometnice se glede na obremenitev razvrščajo na glavne vlake, stranske vlake in sečne poti. Glavne in stranske so največkrat vnaprej grajene na nosilni podlagi, običajno so glavne daljše, položnejše in bolj obremenjene od stranskih. Pri strojni sečnji se pojavijo še sečne poti, ki niso vnaprej grajene (vožnja po brezpotju) in so s transportom najmanj obremenjene (Košir, 2004b).

Moderna tehnologija kratkega lesa zahteva zelo veliko gostoto sekundarnih prometnic, ki je odvisna od dolžine dvigala. Zgibni polprikoličarji po teh trasah vozijo les do ceste, kar pa z vidika ohranjanja gozdnega okolja prinaša spremembo razmerja med poškodbami drevja in poškodbami tal. Na primeru delovišča Žekanc so sekundarne prometnice glede na obremenjenost razdelili na glavne vlake, stranske vlake in vlake za sečnjo (najmanj obremenjene). Skupna dolžina vseh kategorij je znašala 485,86 m/ha, po ocenah je ta gostota sekundarnih prometnic za takšno tehnologijo (stroj za sečnjo je imel doseg dvigala do 10 m) običajna. V primerjavi z uveljavljeno tehnologijo traktorskega spravila lesa v Sloveniji pa je znatno višja. Na delovišču je bila zaradi transporta spremenjena skoraj petina površine gozdnih tal (Košir in Robek, 2000).

Na istem objektu sta Diaci in Magajna (2002) proučevala usmeritve za načrtno uvajanje strojne sečnje in negativne vplive takšne tehnologije. Poudarila sta visoko gostoto sekundarnih prometnic, na katero poleg reliefa in sestojnih razmer močno vpliva tudi doseg dvigala. Gostota pomožnih prometnic pri dosegu dvigala 10 m znaša 500 m/ha pri dolžini 5 m pa 1000 m/ha. Ugotovitve so pokazale, da je zaradi visoke gostote vlak in teže strojev, sečnja z njimi dovoljena le v primernih vremenskih razmerah in izven vegetacijske dobe.

Za dejansko ugotavljanje obremenjenosti gozdne površine je potrebno poleg gostote sekundarnih prometnic poznati tudi širino vlake, širino stroja, specifični tlak na gozdna tla in vrsto gozdnih tal (Košir, 2002b).

Za popolno mehanizirano redčenje, kjer je razdalja med sečnimi potmi običajno 20 m, so primernejši stabilni sestoji starejših razvojnih faz. Dolžina sečnih poti pri takšni odprtosti je 500 m/ha, ob njihovi širini 3,5 m pa njihova površina znaša 1750 m² (Beguš, 2009).

Žlogar (2007) v svojem diplomskem delu primerja posledice na pravilnih poteh pri vlačanju in pri izvozu lesa ter ugotavlja primernost traktorovskih vlak za vožnjo lesa z zgibnim polprikoličarjem. Ugotovitve kažejo, da je potrebna gostota pravilnih poti pri traktorskem spravilu za več kot polovico manjša kot pri izvozu lesa z zgibnim polprikoličarjem. Za traktorsko spravilo je bilo potrebnih 39 % pravilnih poti od katerih 3 % niso bili primerni za izvoz lesa z zgibnim polprikoličarjem, sicer pa je za tehnologijo strojne sečnje bilo potrebnih dodatnih 61 % pravilnih poti.

Uporabnost in učinke strojne sečnje pri redčenju listavcev je v svojem diplomskem delu proučeval Vranešič (2008). Primerjava odprtosti gozdov s sekundarnimi prometnicami je pokazala, da je bila povprečna odprtost pri strojni sečnji 450 m/ha, pri klasični sečnji pa 209 m/ha.

3.2 LASTNOSTI TAL

3.2.1 Nosilnost tal

Nosilnost tal je mehanska lastnost, ki predstavlja zmožnost tal, da se uprejo zunanjim silam in je določena z ravnotežjem tal ter s težo bremena. S tehničnega in pravega vidika je strižna trdnost skupaj z nosilnostjo tal ena izmed najpomembnejših lastnosti za uporabnost tal, vpliva na produktivnost in na obseg poškodb zaradi spravila (Šušnjar in sod., 2006).

Froelich in McNabb (1983, cit. po Košir, 1997) navajata, da je navidezna gostota tal odvisna od vrste tal, zlasti od talne sestave in je pri isti vrsti tal odvisna od vlažnosti. Navidezna gostota tal z vlažnostjo narašča, pri veliki vlažnosti pa ponovno upade. Z višjo gostoto se veča tudi nosilnost tal, kar pomeni, da vožnjo najbolj prenašajo ravno prav vlažna in zbita gozdna tla. Peščena ilovica ima največjo navidezno gostoto pri 20 % vlažnosti takrat ima tudi največjo nosilnost okoli 55 kPa.

Na nosilnost tal vpliva trenutna talna vlažnost, ki je odvisna od letnih, sezonskih in trenutnih podnebnih vplivov, kot so padavine, temperature in višine vode v tleh (Šušnjar in sod., 2006; Poršinsky in sod., 2006).

Pomen talne vode na nosilnost tal

Vsebnost vode v tleh vpliva na agregatna stanja tal, ki so opredeljena s konsistenco. Konsistenca je posledica delovanja adhezijskih in kohezijskih sil znotraj tal pri različni vsebnosti vode. Kohezijo opredeljujejo privlačne sile med talnimi delci in agregati, z večanjem vlažnosti tal se sile zmanjšujejo. Adhezijo pa označuje privlačnost tekoče faze na površje trde faze tal (privlak med molekulami vode in talnimi delci). Druga oblika adhezije je lepljivost, ki se kaže v lepljenju talne snovi na druga telesa, če so mokra. Glede na vsebnost vode koherentnih tal, ločimo tri stanja konsistence: trdna, plastična in tekoča. Stanje tečenja se pojavi, ko je vlažnost tal tolikšna, da postane viskoznost adsorbirane vode enaka viskoznosti običajne vode, med koloidnimi delci pa ni več privlačnih sil (Mrhar, 1995)

Poleg strukture tal je vlažnost tal glavni dejavnik nosilnosti tal in zato tudi glavni dejavnik za izbiro tehnologije v gozdarstvu. Posledica višje vsebnosti vlage v tleh je zmanjšanje nosilnosti tal kar pomeni omejitve prehodnosti, zmanjšano produktivnost ter večje poškodbe tal v obliki zbijanja tal in nastajanju kolesnic (Pandur in sod., 2010).

Na mokrih rastiščih z globoko podlago (glej ali šota), je včasih nemogoče izvajanje izvoza lesa zaradi prenizke nosilnosti tal in povečanega pogrezanja stroja, ki ovira mobilnost, zato je produktivnost stroja zmanjšana (Horvat in Poršinsky, 2001; Tiernan in sod., 2003, cit. po Poršinsky in sod., 2006).

Pomen teksture na nosilnost tal

Poleg vsebnosti vlage je za nosilnost tal pomembna tekstura, ki ima enako kot vlaga različen vpliv na različnem tipu tal. Mehanske lastnosti tal so določene z razmerjem talnih delcev in vsebnostjo ter velikostjo talnih por (Šušnjar in sod., 2006).

Tekstura ali zrnavost tal je razmerje med velikostnimi skupinami mineralnih delcev. V agrikulturni mehaniki tal klasificiranje temelji na podlagi premera delcev, največ se uporablja ameriški klasifikaciji USDA in US Bureau of Soil Sistem (Mrhar, 1995).

Teksturni trikotnik ameriške klasifikacije (Košir, 2010):

pesek: 0.05-2 mm (grobi pesek: 0.2–2 mm, 20 cm²/g; fini pesek: 0.05–0.2 mm, 90 cm²/g),
melj: 0.002-0.05 mm (grobi melj: 0.02–0.05 mm, 200 cm²/g; fini melj: 0.002–0.02 mm,
500 cm²/g), glina: pod 0.002 mm (8.000.000 cm²/g).

V glinenih tleh prevladujejo drobni delci in imajo veliko zmožnost sprejemanja vode, v navlaženem stanju takšna tla nabreknejo. Zaradi ozkih kapilarnih poti imajo najmanjšo prepustnost. Glavni dejavnik nosilnosti v takšnih tleh je kohezija, zato se imenujejo koherentna tla. Tla z velikim deležem večjih delcev pa so frikcijska (torna) tla, kjer je glavni dejavnik nosilnosti notranje trenje (vlažnost ima malo vpliva). So skoraj brez kapilar in imajo največjo prepustnost za vodo (Mrhar, 1995).

Košir (2010) navaja, da na nosilnost tal močno vpliva prisotnost talnega skeleta, saj praviloma omogoči večje tlake na tla brez večjih sprememb. Glede na velikost delcev se jih razvršča na: zelo majhen skelet (med 2 in 6 mm), majhen skelet (med 6 in 20 mm), srednje velik skelet (med 20 in 60 mm), velik skelet (med 60 mm in 20 cm), zelo velik skelet (med 20 in 60 cm) ter skale (nad 60 cm). Glede na vsebnost skeleta pa se loči: malo skeletna tla z manj kot 10 % skeleta, srednje skeletna tla (od 10 do 50 % skeleta) ter močno skeletna tla (nad 50 % skeleta).

Pomen koreninskega prepleta na nosilnost tal

Raziskave gozdnih tal so pokazale, da preplet korenin poveča nosilnost tal in vpliva pa tudi na povečanje (20-50 %) strižne trdnosti tal (Wästerlund, 1989, cit. po Bygden in Wasterlund, 2007).

3.2.2 Trdnost tal

Metodo za določitev različnih stadijev konsistence je leta 1911 razvil Atterberg. Metoda temelji na določevanju vsebnosti vode v tleh glede na različna konsistenčna stanja. Ta so definirana kot tekoče, plastično in trdno stanje. Ocena trdnosti tal je določena z izpeljanimi indeksi plastičnosti in konsistence. Indeks plastičnosti je razlika med mejo tečenja in mejo plastičnosti. Visok indeks plastičnosti izraža nizko strižno trdnost. Indeks konsistence se največ uporablja za izražanje konsistence koherentnih tal in ima naslednje vrednosti: čvrsta do trdna ≥ 1 , toga do mehka 0-1, blatna do tekoča ≤ 0 . Rezultati študije so pokazali, da se meja plastičnosti in indeks plastičnosti povečujeta z naraščanjem delcev gline in mulja (Poršinsky in sod., 2006).

Saarilahti (2002) navaja, da je najpreprostejše merjenje odpornosti tal in obdelava podatkov z igličnim penetrometrom. Trdnost tal je v neposredni povezavi z odpornostjo tal na penetracijo, v kPa izražen konusni indeks pa je določen kot indikator nosilnosti tal. Ostali metodi Bekkerjeva in matematična zahtevata več sredstev za merjenje talnih parametrov in nista primerni za rabo na terenu.

Pogost način za oceno trdnosti tal je uporaba penetrometra, ki zaznamuje silo potrebno za potisk določeno velike konice v tla (Bradford, 1986, cit. po Vaz, 2003).

Meritev igličnega penetrometra je prikazana s krivuljo prodiranja igle v globino, potrebna je sila za potisk 30° konice v globino tal (ASAE S313) (Poršinsky in sod., 2006).

Prednost metode merjenja s penetrometrom je njegova preprostost in hitrost uporabe (Håkansson in Voorhees, 1998, cit. po Motavalli in sod., 2003) ter možnost povezave s talnimi razmerami za rast korenin (Håkansson in Voorhees, 1998; Clark, 1999, cit. po Motavalli in sod., 2003).

Konusni indeks je v povezavi z gostoto tal (Miller in sod., 2001, cit. po Bygden in sod., 2004), zato se s povečanjem odpornosti tal poveča zbitost tal, vendar se absolutne

vrednosti spreminjajo s spremembo vlage v tleh (Mulqueen in sod., 1977, cit. po Bygden in sod., 2004)

Obstaja več študij odpornosti tal proti penetraciji, večina od njih ima kot vhodno spremenljivko samo vsebnost vode v tleh. Več enovhodnih modelov je za različne vrste tal, neodvisna spremenljivka pa je talna vlaga. Nekaj modelov je dvovhodnih, vhodne spremenljivke so gostota tal ali vsebnost gline in vsebnost talne vlage, takšni modeli imajo širšo uporabnost. Redki pa so trovhodni modeli, njihovi vhodi so talna vlažnost, gostota tal in vsebnost gline ali globina tal (Saarilahti, 2002).

Medsebojna primerjava štirih različnih igličnih penetrometrov Profiler 3000 (Veris technologies1), Investigator soil compaction meter (Spectrum technologies inc.), Soil compaction tester (Dickey-john Corporation) in poskusno krožnega penetrometera z merilno številčnico (ELE international/soiltest Inc.) je pokazala, da so po zbujanju tal vsi penetrometri zaznali značilno razliko konusnega indeksa (Motavalli in sod., 2003).

S penetrometrom izmerjena odpornost tal je odvisna od večih talnih dejavnikov. Na meritev pomembno vpliva gostota tal, vsebnost vode v tleh, tekstura, agregacija, cementacija in mineralogija (Vaz, 2003). Ta odvisnost je tudi slabost uporabe igličnega penetrometra, saj negativno vpliva na izmerjeno odpornost tal ali konusni indeks (Gerard in sod., 1982; Bradford in sod., 1986; O'Sullivan in sod., 1987; Vaz in Hopmans, 2001, cit. po Motavalli in sod., 2003).

Za prehodnost tal je pomemben CI zgornjih plasti (običajno z globino narašča), pri večjih bremenih je ta plast debelejša, pri manjših pa tanjša. Povprečni CI (1) se izračuna iz globine na 10 in 20 cm (Košir, 2010):

$$CI = \frac{CI_{10} + CI_{20}}{2} \quad \dots (1)$$

CI.....konusni indeks (kPa)

CI₁₀.....konusni indeks v globini 10 cm (kPa)

CI₂₀.....konusni indeks v globini 10 cm (kPa)

3.3 VPLIVI VOŽNJE STROJEV NA GOZDNA TLA

Pri uporabi mehaniziranih postopkov v različnih tehnologijah se danes uporabljajo vedno večji in težji stroji z veliko storilnostjo. To je povzročilo povečanje osnih obremenitev, kar pa je glavni vzrok zbivanja tal na površini in v globljih plasteh (Abu-Hamdeh, 2003; Sweeney in sod., 2006, cit. po Godeša, 2010).

Dokazano je bilo, da napredni stroji za sečnjo povzročajo višjo gostoto tal in zmanjšujejo poroznost tal in kapaciteto tal za sprejem vode (Kamaruzaman, 1991, cit. po Sakai in sod., 2008).

Obsežnost vplivov na okolje povzročenih zaradi mehanizacije je močno odvisna od večih parametrov. To so: tehnologija dela, lastnosti stroja in pogoji delovanja. Lan (2001) kot najbolj pomembne dejavnike navaja naklon terena, razmere v tleh, tehnologijo sečnje in spravi, velikost stroja, tip stroja in metodo dela, tlak na tla in tip pnevmatik ter ergonomske lastnosti stroja in strojnika.

Neposredne poškodbe gozdnih tal zaradi vožnje, nastanejo z zbivanjem tal in pogrezanjem koles v tla. Zaradi manjše nosilnosti tal od teže stroja prihaja do premeščanja talnih horizontov in poškodb koreninskega sistema. Pri vožnji nastale poškodbe tal se delijo na tri skupine (Šušnjar in sod., 2006):

- zbivanje tal,
- nastajanje kolesnic,
- premeščanje tal.

3.3.1 Zbivanje tal

Zbivanje tal z gozdarsko mehanizacijo je eden glavnih povzročiteljev degradacije tal (Ares in sod., 2005, cit. po Akay in sod., 2007).

Arnup (1998, cit. po Šušnjar in sod., 2006) navaja naslednje dejavnike, ki vplivajo na zbivanje tal: kolesna obremenitev na tla, tekstura tal, delež talne vlažnosti v času vožnje, prvotna gostota tal in poroznost, debelina humusne plasti ter debelina plasti koreninskega sistema. Šušnjar in sod. (2006) navajajo, da je poleg lastnosti tal pomembna še masa vozila

in bremena, tip in dimenzije pnevmatik, tlak v pnevmatikah, hitrost vožnje ter število prehodov stroja.

Zbijanje tal povzroči spremembe osnovnih kazalnikov stanja tal, na podlagi katerih je možno izmeriti stopnjo zbitosti tal. Različni avtorji navajajo različne načine merjena zbitosti tal (cit. po Šušnjar in sod., 2006):

- Abebe in sod. (1989) na podlagi spremembe volumna tal, s tako imenovanim indeksom zbijanja,
- Carman (1994) ter Mathies in sod. (2003) s spremembo prvotne gostote tal,
- Hassan (1990) s spremembo suhe gostote tal,
- Bolling (1989) ter Hata in Tateyama (1991) s spremembo poroznosti.

Z zmanjšanjem volumna tal, v zaprtih porah naraste zračni tlak, odprte pore pa se zapolnijo s talnimi delci. Višja kot je prvotna poroznost, višja je kasneje zbitost tal zaradi vožnje. Višja gostota tal vpliva na koreninski sistem z zmanjšanjem por in talne vlage, kar povzroči nedostopnost hranil, ki je glavni vzrok počasne rasti rastlin (Šušnjar in sod., 2006).

Pri medsebojnem delovanju kolesa in tal je pomemben lok zemlje pred voznim kolesom. Ta lok najprej talne delce obrne naprej in nato še nazaj, to pa je pomemben pojav, ki vpliva na zmanjšanje in preusmerjanje talnih por (Bygden in Wasterlund, 2007).

Froelich (1989, cit. po Šušnjar in sod., 2006) navaja kvantifikacijo mejnih vrednosti poškodb tal na podlagi katerih se šteje, da je mejna vrednost zbitosti tal dosežena, če je celoten delež por zmanjšan za 10 %.

Suha tla so bolj odporna na spremembe porazdelitve velikosti por, z višanjem talne vlage se ta odpornost zmanjšuje. Če se talna vlaga dviguje, se zmanjšuje odpor proti zbijanju dokler ne doseže spodnje meje plastičnosti kar pripelje do maksimalne zbitosti (Seixas in McDonald, 1997).

Mali (2006) je ugotavljal poškodbe tal po strojni in po klasični sečnji. Ugotavljanje poškodb je potekalo s pomočjo prečnih profilov, na vsakem prečnem profilu so se izmerile horizontalne in vertikalne razdalje karakterističnih točk sečne poti. Metoda je bila glede na količino pridobljenih podatkov in vloženo delo pozitivno ocenjena. Nosilnost tal se je ugotavljala na globini 20 cm s penetrometrom znamke Dickey John. Na prvem objektu je bila sečnja izvedena s strojem za sečnjo Timberjack 1270D in spravil z zgibnim polprikoličarjem Timberjack 1010D. Po sečnji in spravilu se je nosilnost tal povečala za okoli 10 % na grebenu in vrtači, na ostalih tleh pa za 17 %. Značilne razlike v nosilnosti tal so odvisne od vrste tal, na grebenu je povprečna vrednost konusnega indeksa znašala 2024 kPa, na ostalih tleh 1974 kPa in v vrtači 1775 kPa. Dokazan je bil statistično značilen vpliv naklona na poškodbe tal, kar pomeni večje poškodbe na strmejših terenih. Ostale neodvisne spremenljivke kot so pokritost in količina sečnih ostankov na sečni vlaki, oddaljenost profila od gozdne ceste ter širina vlake niso imele značilnega vpliva na poškodbe in nosilnost tal. Na tem objektu so ocenili, da so bili stroji primerni, saj so bile poškodbe tal zmerne. Na drugem objektu pa je sečnja potekala z goseničnim strojem za sečnjo Konigstiger, spravilo lesa pa z zgibnim polprikoličarjem Timberjack 1410D. Povečanje konusnega indeksa po sečnji in spravilu je na treh vlakah v povprečju na vlako znašalo 46 %, 6 % (prisotnost sečnih ostankov) in 34 %. Na teh vlakah je bil ugotovljen ugoden vpliv sečnih ostankov, ki so še bolj pomembni na vlažnih in slabše nosilnih tleh. Sicer pa so bile poškodbe tal na dveh vlakah prevelike, saj so povprečne globine kolesnic znašale več kot 20 cm. Na teh vlakah bi morali uporabiti lažje stroje ali izvesti spravilo lesa z goseničarjem.

Vožnja traktorja po gozdnih tleh povzroča zbijanje tal, ki je največje v zgornji plasti, kjer prihaja dejansko tudi do drugih mehanskih deformacij (Froelich in Mcnabb, 1983, cit. po Košir, 1997).

Han in sod. (2005, cit. po Akay in sod., 2007) navajajo da se po vožnji stopnja trdnosti tal spreminja z globino. Največje povečanje trdnosti je na globini do 10 cm, nato do 20 cm in potem do 30 cm globine.

Povečana gostota tal je rezultat zbivanja tal in je največja v bližini površja malo zbitosti se pojavi nižje od 20 cm globine (Craul, 1975, cit. po King in Haines, 1979).

3.3.2 Nastanek kolesnic

Saarilahti (2002) navaja, da so zaradi svoje prepoznavnosti kolesnice postale ena izmed meril ekološko varnega dela v gozdarstvu. Na Finskem pomeni kolesnica preko 100 mm globoka in 0,5 m dolga depresija, ki ni elastična ampak je vrhnji sloj strižno prebit. Delo je ekološko sprejemljivo, če povprečna globina kolesnic ne presega 0,1 m na več kot 10 % celotne dolžine pravilne poti.

Zaradi kolesnic povzročene poškodbe se delijo v 3 razrede (povzeto po Košir, 2010):

1. Tip vlake 1: Plitva kolesnica je neizrazita in globoka do 10 cm (Luscher in sod., 2009), včasih komaj zaznavna, prevladujejo elastične deformacije (Flechig in sod., 2006). Tak tip je značilen za dobro nosilna tla, malo prehodov in lažje stroje. Zbitost, povečana gostota tal in zmanjšan volumen por v tleh se pojavi le v zgornjih horizontih.
2. Tip vlake 2: Srednje globoka kolesnica, pri taki poškodbi je zmešan ali premaknjen vrhnji (humusni) horizont. V naših razmerah se v ta tip uvršča globine do 20 cm, Luscher in sod. (2009) v ta tip uvrščajo izrazite kolesnice z globinami pretežno do 10 cm. Vrhnja plast je plastično deformirana (Flechig in sod., 2006), prevladujoča poškodba je zbitost, na meji plastične deformacije, velika je verjetnost deformacij globljih horizontov, vendar niso premaknjeni. V vrhnjih horizontih je poroznost tal močno zmanjšana.
3. Tip vlake 3: Globoka kolesnica, pri tem tipu se pojavijo plastične deformacije oziroma viskozno tečenje tal. Tla se lomijo (Luscher in sod. 2009). Tlak na tla in strižne sile so zmešale talne horizonte v viskozno (prašno) maso. Na območju pogrezanja so tla porušena, globine kolesnic so med 20 in 30 cm. Možne so globlje kolesnice (v skrajnih primerih stroj nasede), a so ekološko in tehnično-ekonomsko nesprejemljive.

Nugent in sod. (2003) so v študiji vplivov strojne sečnje in izvoza lesa na šotnih tleh na Irskem ugotovili, da je mejno vrednost 21,5 cm preseгло 5 % vseh kolesnic. Mejno vrednost globin kolesnic so definirali s potopitvijo 15 % premera kolesa stroja za sečnjo, ocenili so, da je nad to mejo je mobilnost stroja precej ovirana.

Kadar nosilnost tal popusti do mere, da se stroju pogreza za več kot 20 cm pod nivo terena na več kot 10 % dolžine vseh pravilnih poti se izvoz lesa ustavi, zaradi prevelikih poškodb tal (Beguš, 2009).

Košir (2010) za Slovenske razmere predlaga oceno poškodovanosti delovišča glede na tip vlake in delež poškodovane površine (preglednica 1).

Preglednica 1: Predlog razvrščanja poškodb kolesnega spravila na tla (Košir, 2010)

Globina kolesnice, cm	Kriterij glede na površino poškodbe	Do 10%	10-20%	Nad 20%
< 5	Tip vlake 1, stisnjena tla, sprejemljiva poškodba	Sprejemljiva poškodba	Sprejemljiva poškodba	Majhna poškodba
< 10		Sprejemljiva poškodba	Majhna poškodba	Velika poškodba
10 - 20	Tip vlake 2, Majhna poškodba	Majhna poškodba	Velika poškodba	Nesprejemljiva
20 - 30	Tip vlake 3, Velika poškodba	Velika poškodba	Nesprejemljiva	Nesprejemljiva
> 30	Nesprejemljiva poškodba	Nesprejemljiva	Nesprejemljiva	Nesprejemljiva

V diplomskem delu je bilo ugotovljeno, da se večje kolesnice pojavijo le v vrtačah, sicer pa visok delež skalovitosti preprečuje nastanek globokih kolesnic. Pri vožnji lesa so nastale večje poškodbe tal kot pri vlačanju. Povprečne vrednosti pri vožnji so znašale: globina kolesnic 6,3 cm, širina vozišča 3,48 m in širina svetlega profila 5,28 m. Povprečja pri vlačanju pa: globina kolesnic 4,7 cm, širina vozišča 2,85 m in širina svetlega profila 4,28 m. Vzdolžni naklon zgibnemu polprikoličarju ni povzročal težav, vendar so pri večjih naklonih poškodbe tal večje (Žlogar, 2007).

Z okoljskega vidika je proučevanje talnih motenj, zbitosti tal in globin kolesnic bistvenega pomena, ker se z njimi zmanjšuje volumen talnih por, tvorba korenin, globoke kolesnice pa pretrgajo korenine rastočih dreves. V kolesnicah se nabira voda, ki lahko s svojim odtokom poveča erozijo tal (Saarilahti, 2002).

3.3.3 Spremembe tal pri večkratnih prehodih

Najbolj ustrezna objektivna meritev vpliva strojev na tla so globine kolesnic po večih prehodih strojev. Ta meritev vključuje tako estetski vpliv kot tudi možen vpliv na naravno stanje tal. Prav tako izraža obsežnost možnih vplivov na rast dreves (Wronski in Humphreys, 1994).

Ko kolo prečka določeno točko, zbije tla in ustvari prvo globino kolesnice. Naslednje kolo potuje po isti liniji že zbitih tal, katerih nosilna kapaciteta je višja in zaporedna poglobitev kolesnice od prejšnjega dna je manjša (Saarilahti, 2002).

Pri prehodu stroja se s podlago vzpostavi ravnotežje pri tem pride do ugreza, tla se zbijejo, njihova gostota naraste in posledično tudi nosilnost. Hkrati pa se v zgornji plasti poveča vlažnost, ki običajno poveča občutljivost tal na zbijanje, zato se pri naslednjem prehodu stroja ugrez (kolesnica) še poveča. V slabših primerih lahko pride do plastične deformacije ali do viskoznega tečenja talne mase. Na to razmerje vplivajo še terenske značilnosti, predvsem naklon terena in dinamične obremenitve pri premagovanju ovir (Košir, 2010).

Običajno imajo gozdna tla manjšo nosilnost od tlaka strojev na tla, zato se ob prvem prehodu deformirajo do meje, ko postanejo zbita tla dovolj trdna, da prenesejo tlak stroja na tla. Pri večih prehodih se tla še bolj zbijajo, kmalu pa dosežejo okoli 2/3 največje možne zbitosti tal. Pri vožnji ne prihaja samo do zbijanja tal, temveč tudi do strižnih sil, ki trgajo in ranijo tla (Košir, 2002b).

Največ študij kaže da se največje zbijanje pojavi po prvih nekaj prehodih, po katerih gostota tal doseže določeno vrednost, ki se nato z naslednjimi prehodi počasi povečuje v smislu količine in globine. Z merjenjem zbitosti tal s penetrometrom po večih prehodih so Seixas in sod. (2003, cit. po Šušnjar in sod., 2006) ugotovili, da zbitost tal po petem prehodu doseže približno 75 % celotne zbitosti merjene po dvajsetih prehodih.

Zbijanje tal se hitro povečuje s številom prehodov. Froelich in McNabb (1983, cit. po Košir, 1997) sta po prvem prehodu ugotovila okoli 50 %, po petih prehodih pa že okoli 70 % sprememb v navidezni gostoti tal.

Jakobsen in Greacen (1985) v študiji poškodb tal ugotavljata, da se je na prvotno nemotenih tleh globina kolesnic povečevala linearno z logaritmom števila prehodov do 19 cm pri 27 prehodih. Na starih sečnih poteh, ki so že bile uporabljene za redčenje, so se oblikovale nove kolesnice do globine 5 cm. Gostota tal se je povečala na vseh poteh in dosegla skoraj enako končno vrednost na starih in novih poteh.

Začetni prehodi so znani po tem, da povzročijo največje povečanje zbitosti tal v primerjavi s kasnejšimi prehodi (Koger in sod., 1985, cit. po Nugent in sod., 2003). Po sečnji in spravilu se je odpornost na občutljivih tleh povečala do 40 cm globine. Večji delež povečanja odpornosti je bil po prehodu stroja za sečnjo kot pa po poznejših prehodih zgibnega polprikoličarja (Nugent in sod., 2003).

3.4 TEHNIČNE ZNAČILNOSTI MED KOLESOM IN TLEMI

Prehodnost tal je odvisna od njihove sposobnosti za upor proti silam vrtečega se kolesa ali premikajoče se gosenice. Teža kolesa obremeni tla in sproži delovanje sile nosilnosti tal. Kolo se pogrezne do globine, kjer se izenačijo sili teže kolesa in nosilnosti tal. Pogrezanje tal povzroči kotalni upor, to je sila, ki preprečuje nadaljnje gibanje kolesa. Obod kolesa ustvarja vrtilni moment, ki povzroča tlak na tla. Vodoravna sila v smeri gibanja in sila kotaljenja premagujeta zaviralne sile kotalnega upora in ustvarjata vlečno silo. Največja sila kotaljenja, neka vrsta površinska sila trenja je odvisna od strižne trdnosti tal. V najpreprostejših modelih se prehodnost tal oceni z opisom vertikalne povezave med silo bremena in nosilnostjo tal ter opisom horizontalne povezave med silo kotaljenja in upora proti gibanju (Saarilahti, 2002).

Isti avtor poudarja pomembnost razvoja modelov kolesnic, zbijanja tal, pnevmatik, strojev in števila prehodov, saj omogočajo pravilno izbiro kombinacije stroja na določenem območju.

Potrebno pa je tudi razumevanje osnovnih razmerij med najvažnejšimi dejavniki vplivov stroja na tla. Pri tem imajo zelo pomembno vlogo lastnosti tal in njene povezave z nosilnostjo, ki pa so že opisane v prejšnjem poglavju.

Tlak na podlago

Izraz (2) predstavlja odnos med nosilnostjo tal in tlakom stroja:

$$P_m = \frac{W}{A} < P_t \quad \dots (2)$$

P_mtlak stroja (kolesa ali gosenice) na podlago (kPa),

Wteža na kolesu (kN),

Adotikalna površina kolesa s podlago (m²)

P_tnosilnost tal (kPa).

Teža na kolesu (W) je odvisna od teže stroja, števila koles in razporeda teže na kolesa, spreminja se v odvisnosti od natovorjenosti stroja. Na dotikalno površino kolesa vplivajo dimenzije in tlaki v kolesih ter uporaba goseničnih verig (Košir, 2010).

Dotikalna površina kolesa in podlage

Velikost dotikalne površine je težko natančno določiti, odvisna je od dimenzij kolesa, značilnosti kolesnih in talnih deformacij. Deformacija kolesa je pod vplivom tlaka v kolesu in obremenjenosti kolesa (polmer se spreminja z obremenjenostjo), zato je težko določljiva. Pri konstantnem tlaku v pnevmatiki je velikost dotikalne površine odvisna od nosilnosti tal. Obstajajo različne metode za merjenje dotikalne površine, ki pa dajejo različne rezultate. Zato je potrebno površino kolesne sledi kot tudi dotikalno površino obravnavati samo kot priporočeno vrednost (Saarilahti, 2002).

Najprimernejši in najpreprostejši izraz za računanje dotikalne površine je po Mellgrenu (1980, cit. po Pandur in sod., 2010). Čeprav izraz teoretično omejuje široko uporabo modela ker daje približno dolžino dotikalne površine obremenjenega kolesa, so z njim med vsemi uporabljenimi izrazi izračunali srednjo vrednost dotikalne površine.

Izraz (3) izračun stične površine po Mellgrenu (1980, cit. po Pandur in sod., 2010), ki velja le pri kolesu ne velja pa pri polgosenicah.

$$A = r \cdot b \quad \dots (3)$$

A..... dotikalna površina

r..... premer neobremenjenega kolesa

b..... širina neobremenjenega kolesa

Nominalni tlak na podlago (NGP)

V EcoWood klasifikaciji talne trdnosti je ocena dovoljene nosilnosti tal (dotikalni tlak koles na podlago) določena na osnovi nominalnega tlaka na podlago (Poršinsky in sod., 2006).

Nominalni tlak na podlago je določen z razmerjem med težo kolesa in dotikalno površino izračunano po Mellgrenu (1980, cit. po Košir, 2010). Izračun je ločen za kolesne stroje (4) in stroje s polgosenicami (5):

Nominalni tlak za kolesa:

$$NGPk = \frac{W}{r * b} \quad \dots (4)$$

Nominalni tlak za polgosenice:

$$NGPg = \frac{W}{b * (1,25 * r + l)} \quad \dots (5)$$

NGP_knominalni tlak na podlago (NGP) za kolesne traktorje (kPa),

NGP_gnominalni tlak na podlago za gosenične verige (kPa),

Wobremenitev kolesa oz. bogie osi (kN),

robremenjeni polmer kolesa (m),

bširina pnevmatike (m),

lmedosna razdalja koles na polgosenicah (m).

Slabosti NGP (Saarilahti, 2002):

- predpostavlja veliko nižji tlak na podlago, kot pa je dejanski,
- predpostavlja skoraj 0,3 metra pogrezanja, kar je ekološko nesprejemljivo,
- deformacija pnevmatike ima pomembno vlogo pri kontaktu kolesa s podlago, vendar je izraz ne upošteva.

Nominalni tlak na podlago daje grobo idejo o minimalnem tlaku na podlago, ki ga lahko razvije kolo na zelo mehkih podlagah. Lahko se uporablja za primerjavo ekološko varnega dela različnih strojev s približno enakimi pnevmatikami in tlaki v njih (Saarilahti, 2002).

Košir (2010) navaja več različnih izrazov za izračun dotikalne površine in izračun tlaka na podlago, ki dajejo različne ocene, posledično pa dajejo tudi različne napovedi glede ekološko varnega dela.

Vožnja in strižna trdnost

Ko se začne kolo vrteti, ustvarja strižne sile proti tlam. Obstajata dva tipa določitve strižne trdnosti. V rahlo zbitih tleh se strižna trdnost razvija asimptotično do maksimuma. V večini tal se strižna trdnost razvije do določenega maksimuma nato pride do razpada kohezivnih sil in strižna trdnost se zruši na stopnjo preostale trdnosti. Na frikcijskih tleh z močnim trenjem je omejujoč dejavnik strižna trdnost, ne pa nosilnost tal. Kolo mora ustvariti dovolj veliko silo trenja med njim in podlago, da premaga kotalni upor in ostale zaviralne sile, ki hitro narastejo z globljim pogrezanjem v rahlih tleh. (Saarilahti, 2002).

Kotalni upor

Pri premikanju kolesa prihaja do kotalnega upora, to je vodoravna sila potrebna za zbijanje tal do globine, kjer se nosilnost tal in teža stroja izenačita. Kotalni upor je odvisen od pogreza kolesa, ki je povezan z obremenitvijo pnevmatike, deformacijo pnevmatike in nosilnostjo tal. Kotalni upor se povečuje v obratni odvisnosti nosilnosti tal, velik kotalni upor izraža slabo prehodnost terena in slabo mobilnost stroja (Saarilahti, 2002).

Kadar pri vožnji nastajajo kolesnice (deformacija tal) to pomeni, da se veliko energije porabi za premagovanje kotalnega upora (Muro, 1982; Yong in sod., 1984, cit. po Bygden in sod., 2004), pri plitvejših kolesnicah je kotalni upor manjši.

Zdrs

Celotna energija prenesena v tla se povečuje v odvisnosti od povečevanja zdrsa, ki povzroča večje poškodbe tal brez značilnega povečanja vlečne sile. Za zmanjšanje zdrsa na slabši in spolzki podlagi so priporočene verige ali gosenice (Saarilahti, 2002)

Pri velikem zdrs v povezavi z kotalnim uporom se zmanjšajo učinki, poveča se poraba goriva in posledično se povečajo stroški. Povzroča pa tudi velike deformacije tal, saj je moment kolesa večji od nosilnosti strižnih sil, pogosto zdrs povzroči globlje kolesnice (Košir, 2010).

Indeks kolesa

Indeks kolesa je poenostavljen model stika med kolesom in podlago, izražen je v brezdimenzionalni obliki (Saarilahti, 2002). Indeks kolesa je razmerje med izmerjenim tlakom pri prodiranju penetrometra in predvidenim tlakom stroja na tla ter neposredno vpliva na globino kolesnic (Poršinsky in Horvat, 2005, cit. po Košir, 2010).

Izraz (6) izračun indeksa kolesa (Košir, 2010):

$$Nk = \frac{CI}{P_m} = \frac{CI * A_m}{W_m} \quad \dots (6)$$

N_k indeks kolesa (-),

CI konusni indeks (kPa),

P_m tlak stroja na tla (kPa).

A_m površina vseh koles stroja na podlago (m^2),

W_m teža stroja (kN).

Indeks kolesa je parameter, ki opisuje delovanje med kolesom in tlemi. Na podlagi indeksa kolesa so oceno okoljske primernosti zgibnih polprikoličarjev opisali Šušnjar in sod. (2006, cit. po Pandur in sod., 2010). Problem pri izračunu indeksa kolesa je težavnost natančnega izračuna dotikalne površine koles na podlago. Glede na izračune dotikalne površine po različnih izrazih, je posledično več kot 5x razlika med najmanjšo in največjo vrednostjo indeksa kolesa (Pandur in sod., 2010).

Izračun globine kolesnic

Saarilahti (2002b) v prilogi, kjer podaja oceno prehodnosti terenov in mobilnosti gozdarskih traktorjev, navaja več kot 20 zbranih modelov za izračun globin kolesnic. Modeli temeljijo na indeksu kolesa in se razlikujejo glede na en prehod ali več prehodov.

Anttila (1998, cit. po Saarilahti, 2002) je ugotovil da ima odpornost tal izmerjena na 0,15 m globine največjo napovedovalno moč pri razvoju modela globin kolesnic. To sovпада s preходом iz A v B horizont na povprečnih morenskih tleh na Finskem (Westman, 1990, cit. po Saarilahti, 2002).

3.5 ZMANJŠEVANJE NEGATIVNIH VPLIVOV NA TLA

3.5.1 Prilagoditev časa sečnje

Izvedba sečnje je zelo odvisna od gozdnih tal, saj na manj nosilnih tleh lahko sečnja poteka le ko so tla zmrznjena ali suha (Beguš, 2009).

Mehanske lastnosti tal so odvisne od vsebnosti vode v njih. Ena strategija omejitve talnih motenj je mogoča z omejitvijo vožnje ko vsebnost vode v tleh doseže mejo tečenja ali jo celo prekorači (Heinimann, 2000, cit. po Poršinsky in sod., 2006).

Manjša zbitost tal se povzroči, če poteka spravilo v zimskem času pri nizkih temperaturah zraka in tal, kjer taljenje tal čez dan ni prisotno. Poleg tega talna voda v zbitih tleh zmrzne, s tem poveča svoj volumen in posledično poveča poroznost tal (Šušnjar in sod., 2006).

3.5.2 Sečni ostanki

Pri sodobni sortimentni metodi stroj za sečnjo obdela drevo pred sabo. Sečne poti so pokrite s sečnimi ostanki, ki preprečijo nastanek kolesnic, poroznost tal in nasičena hidravlična prevodnost so manj prizadeti (Eliason in Wasterlund, 2007; McMahon in Evanson, 1994; Jakobsen in Moore, 1981, cit. po Geramisov in Katarov, 2010).

Za zmanjšanje poškodb tal na občutljivih tleh mora stroj za sečnjo pred sabo polagati sečne ostanke, ki nastanejo pri kleščanju in polaganju ostale netržne hlodovine (McDonald in Seixas, 1997; Tiernan in sod., 2002, cit. po Nugent in sod., 2003).

McDonald in Seixas (1997) sta ugotavljala vpliv sečnih ostankov na zbitost tal. Rezultati so pokazali, da po enem prehodu zgibnega polprikoličarja na suhih ilovnatih peščenih tleh prisotnost sečnih ostankov ni zmanjšala zbitosti tal, ampak so zagotovili nekaj zaščite pred poznejšimi prehodi. Na istih tleh v vlažnejšem stanju pri največji gostoti (20 kg/m^2) sečnih ostankov je bila zbitost tal značilno manjša kot na golih tleh. V primerjavi golih tal in tal s srednjo gostoto (10 kg/m^2) sečnih ostankov je bila po petih prehodih zbitost tal večja na golih tleh, vendar je bila razlika manjša kot pri največji gostoti.

Za zmanjševanje negativnih vplivov strojev na gozdna tla so pomembni sečni ostanki, vendar morajo biti položeni na kolesnice njihova potlačena debelina pa mora biti visoka vsaj 10-15 cm (Košir in Robek, 2000).

3.5.3 Podvozje in pnevmatike

Stroji za sečnjo v primerjavi s prilagojenimi kmetijskimi traktorji zmanjšujejo tlak na podlago in strižne sile, saj so opremljeni s širokimi pnevmatikami z nizkim profilom (Košir, 2002b).

Za zmanjšanje zbitosti tal je potrebno omejiti dotikalni tlak koles ali gosenic na tla s pravilno izbiro velikosti in tipa vlečnega mehanizma (pnevmatik ali gosenic). Dotikalni tlak se lahko omeji z zmanjšanjem tovora naloženega na zgibnem polprikoličarju, ali z uporabo lažjih strojev. Zmanjšanje tovora in uporaba lažjih strojev lahko poveča strošek sečnje in spravila, saj se podaljša čas izvajanja del (Nugent in sod., 2003).

Rezultati študije so pokazali, da v primerjavi s precej širokimi in mehкими pnevmatikami, nameščene gosenične verige zmanjšujejo globino kolesnic do 40 % in konusni indeks za okoli 10 %, čeprav te verige povečajo skupno maso za 10 do 12 % (Bygden in sod., 2004).

Za povečanje dotikalne površine koles in podlage in s tem zmanjšanjem tlaka koles na tla v primeru višje talne vlažnosti, je potrebno uporabiti bogie podvozje namesto enojne osi (Pandur in sod., 2010).

Razporeditev koles ima velik vpliv na porazdelitev tlaka na tla. Povečanje števila koles zmanjša tlak in omogoči enakomerno porazdeljen tlak na tla (Gigler in Ward, 1993).

Wronski in Humphreys (1994) poudarjata pomembnost sečnih ostankov, še posebej na manj suhih tleh. Rezultati kažejo, da vožnja stroja za sečnjo po sečnih ostankih povzroča minimalni vpliv na tla ne glede na vremenske pogoje. Široke pnevmatike nameščene na stroju za sečnjo le malo pripomorejo k zmanjšanju talnih motenj, saj so poškodbe od zgibnega polprikoličarja veliko večje. Pomembnejše je polaganje sečnih ostankov na sečne poti, saj bi v nasprotnem primeru bile poškodbe tal zaradi zgibnega polprikoličarja tako velike, da bi onemogočile delo z običajnimi pnevmatikami na najmanj suhih tleh.

Sakai in sod. (2008) so proučevali razlike v zbitosti tal glede na nizekotlačne pnevmatike (120 kPa), visokotlačne pnevmatike (350 kPa) in pnevmatike obdane z goseničnimi verigami (500 kPa). Rezultati so pokazali močno zbijanje v nižjih plasteh tal po prehodu visokotlačnih pnevmatik. Globoke kolesnice (nad 8 cm) so se pojavile pri neobremenjenih in obremenjenih visokotlačnih pnevmatikah ter obremenjenih nizekotlačnih pnevmatikah. Plitve kolesnice (4,5 cm) so se pojavile pri neobremenjenih nizekotlačnih pnevmatikah in neobremenjenih obdanih z goseničnimi verigami. Pri prehodu z nameščenimi goseničnimi verigami se je ohranila prvotna poroznost tal z najmanjšim zbijanjem tal (samo vrhnje plasti). Konusni indeks pri visokotlačnih pnevmatikah je bil veliko večji tako na površju kot tudi v globljih tleh, kar kaže na nepraktičnost visokotlačnih pnevmatik. Ocenili so uporabnost goseničnih verig za preprečevanje zbijanja tal.

Pomembne so lastnosti stroja, kot so masa, transmisija-bogie, porazdelitev teže, vodljivost, itd. Prav tako je pomembna spretnost strojnika in polaganje sečnih ostankov na sečne poti. S kartiranjem območij je možno ugotoviti nosilnost različnih tal (Angelstam, 1997, cit. po Bygdén in Wästerlund, 2007). Tabela s klasifikacijo tal je uporabna, ker prikaže različne velikosti delcev v tleh in poda strukturo različnih tal in tudi njihovo reakcijo ko je v tleh višja vsebnost vode. Z dobrim planiranjem se lahko zmanjša število prehodov. Nepotrebni prehodi se lahko zmanjšajo z uporabo GPS in GIS sistemov (Bygdén in Wästerlund, 2007).

4 HIPOTEZE

Glede na opisano stanje smo z upoštevanjem dosedanjih dognanj postavili naslednje hipoteze:

1. Metoda prečnih profilov z meritvijo horizontalnih in vertikalnih razdalj na sečni poti in meritvijo vlažnosti ter trdnosti tal ob njej, je ustrezna za določevanje poškodb tal.
2. Uporaba velikega stroja za sečnjo ni primerna za izvajanje prvih redčenj.
3. Večje poškodbe tal povzroča izvoz lesa v primerjavi s sečnjo.
4. Debelejša plast sečnih ostankov ugodno vpliva na zmanjšanje poškodb tal.

5 METODE

V avgustu 2010 je na Pohorju in na Goričkem potekala strojna sečnja, ki jo je izvajalo podjetje Gozdno gospodarstvo Maribor. Raziskava je bila zelo obsežna, saj so poleg omenjenega podjetja v njej sodelovali še Gozdno in lesno gospodarstvo Murska Sobota, Zavod za gozdove Slovenije, Gozdarski inštitut Slovenije in Oddelek za gozdarstvo Biotehniške fakultete v Ljubljani. Projekt je bil namenjen raziskovanju večih vidikov strojne sečnje. Sečnja je bila namenjena predvsem raziskavi, zato so bili stroji na ta delovišča pripeljani izredno in tudi celoten delovni proces je potekal tako, da je bilo možno sprotno zbiranje podatkov. V rednih sečnjah je namreč nemogoče zbirati določene podatke, saj je zadrževanje v delovnem območju stroja nevarno moten pa je tudi sam potek sečnje.

Projekt je bil usmerjen v prva redčenja drogovnjakov s strojem za sečnjo, in sicer je bilo ločeno redčenje iglavcev na Pohorju in redčenje listavcev na Goričkem, kar je bila tudi osnova primerjav različnih vidikov.

V sklopu raziskave so bili obravnavani naslednji vidiki:

- a) razmerje med stroški in donosi redčenj,
- b) prvič v Sloveniji je bil na določenih ploskvah izpeljan poskus tako, da je strojnik stroja za sečnjo sproti sam izbiral drevesa za posek. Namen je bil ugotoviti, ali je možno prvo redčenje opraviti strojno brez predhodnega odkazila,
- c) potekala je časovna študija stroja za sečnjo in zgibnega polprikoličarja,
- d) analiza poškodb tal po sečnji in posebej po spravilu,
- e) ugotavljanje poškodb na sestoji.

Diplomsko delo obravnava samo vidik poškodb tal po sečnji in spravilu, zato so v nadaljevanju razložene samo metode, ki smo jih uporabljali za pridobivanje podatkov te problematike.

Stroji, metode dela in zbiranje podatkov je bilo enako na obeh objektih, zato jih v nadaljevanju pišemo skupaj. Kjer pa je prihajalo do razlik med objektoma, pa je to zapisano posebej pri posamezni metodi.

5.1 OPIS OBJEKTOV RAZISKAVE

5.1.1 Raziskovalni objekt v GE Osankarica

Snemanje strojne sečnje iglavcev je potekalo v gozdnogospodarskem območju Maribor v gospodarski enoti Osankarica, odsek 49B. GE Osankarica leži na južnem pobočju masiva Pohorja in obsega 2756 ha, od katerih je večina v državni lasti. Razteza se od najvišjih kopastih vrhov (Rogla 1517 m n. v.) do naselja Lukanja v oplotniškem jarku, kjer je tudi najnižja točka 840 m n.v.

Večino gozdnogospodarske enote tvori rahlo valovita pohorska planota v nadmorski višini 1200-1300 m, preostali del pa predstavljajo strma do srednje strma pobočja. Po grapah potekajo številni vodotoki, ki so v zgornjem delu umirjeni in imajo številne zavoje in meandre. V spodnjem toku pa se močneje zarežejo v podlago in oblikujejo globlja korita. Klima v GE enoti ima značilnosti predvsem srednjegorsko alpskega in nekaj tudi panonskega podnebja. Količina letnih padavin se giblje med 1200-1800 mm. Ta količina narašča od januarja do julija, takrat doseže prvi maksimum, sledi blaga depresija in drugi padavinski maksimum v oktobru. Temperatura ima pomembno vlogo v višjih izpostavljenih legah, saj je kot faktor v minimumu omejujoča za rast listavcev (Gozdnogospodarski načrt Osankarica, 2004 – 2013).

5.1.1.1 Matična podlaga in tla

Prevladujoča matična podlaga je tonalit (95 % v enoti), ki mehansko in kemično slabo razpada in ima značilno kislo reakcijo. Zanj je značilna tudi nepropustnost, kar je povzročilo gosto mrežo površinskih vodotokov. Na površinah z manj naklona pa voda zastaja in tvori močvirja, značilna pohorska barja in šotišča.

Na območju našega objekta s 60 % prevladujejo tipična distrična rjava tla na tonalitu, plitve oblike. 20 % je distričnega rankerja, prisotna pa so še distrična rjava tla na tonalitu, varietete koluvialna (20 %) (Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, 2007).

Tipična distrična rjava tla se pojavljajo v najvišjem pasu GE enote med 1200 – 1350 m. Gre za blago nagnjena pobočja vseh vrst leg, ki jih poraščajo obubožane oblike združbe *Savensi-Fagetum*. Tla so plitva z značilno prhninasto obliko humusa, ki se razvija v hladnejši klimi in je slabših lastnosti. V njih najdemo manj baz, kislost pa se proti površju povečuje. Ta tla so pogosto porasla s smrekovimi sestoji, smreka s svojim opadom še dodatno povečuje kislost. Pri gojenju gozdov je zato pomembno ohranjati primeren delež listavcev (Prus, 2000).

Za ranker so značilna humusno akumulativna tla s horizontom A, ki kontinuirano pokriva matično osnovo. Na objektu se pojavlja tako litični ranker (profil A-R) in ranker s plastjo regolita (profil A-C-R). Reakcija je precej kislja. Rankerji so pretežno gozdna rastišča, pogosto na strmem reliefu. So zelo ranljiva tla in potrebno je paziti, da ne sprožimo erozije ali celo plazanja pobočij. Pomemben je način gospodarjenja z gozdom, pri čemer goloseki ali steljarjenje ne pridejo v poštev (Prus, 2000).

5.1.1.2 Pregled preteklega gospodarjenja z gozdovi

Prve krčitve gozdov na Pohorju niso bile namenjene izkoriščanju lesa, temveč pridobivanju površin za kmetijske namene. Postavitev prvih žag na Pohorju in ob njegovem vznožju pa je povzročilo močnejše izkoriščanje gozdov in možnost delovanja številnih obrtnikov. Na gozdove je pomembno vplivalo glažutarstvo, ki na območju te enote ni delovalo dolgo. Kljub temu pa so bili v kratkem času izsekani čisti listnati in mešani gozdovi ter obnovljeni z iglavci. Na tem območju je bila znana Windischgrätzova glažuta v Oplotnici, ki je bila odprta leta 1871 in je bila najmanjša med vsemi pohorskimi glažutami.

Na Pohorju se je razvil način obnavljanja imenovan fratarjenje, ki pa je zelo ustrezal smreki. Fratarjenje je potekalo tako, da so določeno površino (frato) posekali na golo, sečne ostanke so zložili v kupe in jih naslednjo pomlad sežgali. Skrčeno površino so nato pripravili v namen kmetijskega izkoriščanja. S tem so zagotovili tudi hrano za ljudi in živali. V nekaj letih se je zemlja osiromašila, zato so zadnje leto med žito primešali še seme smreke in manjše količine borovega ter macesnovega semena. Tako so vzgojili zelo gosta smrekova mladja s posameznimi bori in macesni. Nege mladovij zaradi visokih

stroškov in slabe odprtosti gozdov niso izvajali, zato so bile gošče in letvenjaki zelo gosti. To je povzročilo preveliko gostoto in drevesca so začela odmirati ali zaostajati v razvoju. Poleg tega pa so veliko škodo naredile tudi naravne ujme. Kjer pomladitev ni uspela so izvajali izpopolnitve s sadikami napuljenimi iz gostih posevkov.

Sadnja smreke je potekala tudi v sestojih, kjer niso gospodarili s fratarjenjem. V teh sestojih so se razvile različno goste smrekove monokulture, ki so čiste ali mešane z različnim deležem listavcev in jelke. V teh sestojih je večina smrek slabe kakovosti, saj so porasle z vejami do tal. Velik problem na mladju je predstavljala tudi živina, ki se je prosto pasla po gozdu.

Tudi ko je propadla oplotniška glažuta, se način gospodarjenja ni spremenil. Takrat so potekale intenzivne gradnje mest, industrijskih objektov, železnic, rudnikov in drugih objektov, zato so bile potrebe po lesu še vedno visoke.

Šele gospodarska kriza v tridesetih letih je povzročila zmanjšanje obsega sečenj. Bolj načrtno gospodarjenje pa se začne po drugi svetovni vojni, ko postane večina enote v državni lasti. Od tedaj se nameni tudi več sredstev v gozdne investicije (Gozdnogospodarski načrt Osankarica, 2004 – 2013)

5.1.1.3 Današnje stanje sestojev

Odsek 49B leži na južnem pobočju z naklonom do 16° in ima valovit relief. Kamnitost je 5 %, skalovitosti ni, matična podlaga je tonalit. Odsek v celoti zavzema gozdna združba *Savensi-Fagetum pohoricum typicum*, sestoji so zaradi preteklega načina gospodarjenja spremenjeni (31 do 70%). Danes v odseku prevladujejo sestoji smreke in bukke z mestoma večjo primesjo jelke vseh razvojnih faz, na raziskovalnih ploskvah pa je bil smrekov drogovnjak. Odsek je uvrščen v gozdove vmesnih oblik, smreka in bukev sta v 7. tarifnem razredu. V začetku veljavnosti načrta (leta 2004) so močno prevladovali debeljaki, v katerih se na presvetljenih delih izvajajo pomladitvene sečnje. Pri negi pomladka in mladovja se izvaja pomoč listavcem (Gozdnogospodarski načrt Osankarica, 2004 – 2013).

5.1.2 Raziskovalni objekt v GE Goričko obrobje

Sečnja listavcev je potekala v murskosoboški območni enoti v gozdnogospodarski enoti Goričko obrobje, oddelek 47. Celotna površina v gozdnogospodarski enoti znaša 6781,05 ha od tega zavzema gozdni prostor 2455,11 ha. Enota leži na skrajnem severovzhodnem delu Slovenije, severovzhodna meja enote je tudi meja z Republiko Madžarsko. Enota zavzema gričevnat svet Lendavskih gor, ravninski del od Mostja do Dobrovnika in potem preide spet v gričevje, in sicer gozdni kompleks, ki se razteza po občini Kobilje.

To področje spada v subpanonsko podnebno območje, značilna so suha vroča poletja in ostre zime. Gre za neizravnani padavinski režim z najmanj padavinami v Sloveniji, saj je dolgoletna povprečna količina padavin 815 mm na leto, z maksimumom v juniju (150 mm). Največ padavin pade v obliki nalivov, ki so poleg geološke podlage in neustreznega preteklega načina gospodarjenja pripomogli k oblikovanju erozijskega reliefa. Voda se steka v številnih površinskih vodotokih, od katerih imajo samo največji vodo skozi vse leto (Gozdnogospodarski načrt Goričko obrobje, 2003 – 2012).

5.1.2.1 Matična podlaga in tla

Po geoloških podatkih Ministrstva za okolje in prostor (2007) so na območju raziskovalnih ploskev prevladujoča matična podlaga terciarni sedimenti, mestoma prekriti s pliocenskimi peščenjaki in terasastimi prodi. Južno od raziskovalnega objekta najdemo tudi sklade morskega proda, peska in gline. Globoke vrtine za nafto v vzhodnem in jugovzhodnem delu Goričkega so pokazale, da ležijo terciarni sedimenti na metamorfnih skrilavcih. Terciranih plasti je 2500 do 3000 m (Pleničar, 1970).

Pedološka karta (Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, 2007) prikazuje, da na območju raziskovalnih ploskev v 80 % prevladuje pobočni, distrični psevdoglej. Je srednje globok, srednje izražene oblike s profilom A-Eg-Bg-C. Ostalih 20 % so distrična rjava tla na pliocenskih nanosih, varietete izprana tla. Oblika profila je A-(B)-C.

Za psevdoglej je značilno, da se pojavlja na blagih vznožjih pobočij ali terasah z meljasto glinasto teksturo pliocenskih ali pleistocenskih nanosov. Zanj značilno klimatsko okolje ima vsaj eno izrazito vlažno in eno suho obdobje, ki je običajno poleti. Težja tekstura ter večja prisotnost melja je vzrok za nastanek zbitega horizonta na katerem zastaja padavinska voda. Ta voda le zelo počasi zapušča talni profil. Zaradi tega se pojavljajo v času nasičenosti z vodo redukcijski procesi, v suhem obdobju pa oksidacija. Bg horizont označuje sivo rjava lisavost ali marmoracija. Površina strukturnih agregatov je sive barve, notranjost pa rjave. V suhem stanju je izredno trd in zbit, moker pa je mehek in mazav. Prisoten je za psevdoglej redek oglejen eluvialni horizont (Eg). Mokra tla so zelo ranljiva za teptanje in gaženje (paša, stroji). Zaradi zbitosti in trdote v suhem, poletnem obdobju, v katerem so pogosta tudi neurja, je infiltracijska sposobnost zelo zmanjšana in tako nastajajo znatne erozijske poškodbe (Prus, 2000).

Za distrična rjava tla je značilna nizka stopnja nasičenosti z bazičnimi kationi in nizek pH, merjen v vodi, ki je manjši kot 5,5. Kislost je tudi razlog za nastanek humusa slabših lastnosti (prhnina, surovi humus). Gojenje gozdov na takih tleh v večini primerov temelji na ohranjanju primerne deleža listavcev (Prus, 2000).

5.1.2.2 Pregled preteklega gospodarjenja z gozdovi

Prekmurje je spadalo pod Ogrsko polovico habsburške monarhije in tu so se fevdalni odnosi obdržali vse do priključitve k Jugoslaviji. Gozdovi Prekmurja, vključno z GE Goričko obrobje, so pred prvo svetovno vojno pripadali dvema veleposestvom, grofu Esterhazy-ju in grofici Zichy-jevi. Po prvi svetovni vojni, ko je bila ustanovljena kraljevina SHS pa se je za gozd začelo obdobje najmočnejšega izkoriščanja. Gozdove je začela leta 1919 izkoriščati firma Našička, ki je imela sedež v Bjelovarju. Gospodarski cilj te firme je bil čim večji finančni učinek. Vpeljali so velikopovršinski golosečni sistem gospodarjenja. V namen transportu lesa je bila zgrajena tudi gozdna železnica, ki sta jo grof Eszterhazy in Našička zgradila vse do Lendave. Od leta 1919 pa do leta 1934 je bilo na golo posekanih 342 ha gozdov. Obnova je bila izvajana z naravnim pomlajevanjem, setvijo želoda, s sadnjo sadik hrasta in rdečega bora ter setvijo borovega semena.

Leta 1930 je prevzela gozdove Križevačka imovna občina, vendar je imela Našička tudi po prodaji gozdov še vedno pravico posekati nekatere gozdove (do leta 1934). Križevačka imovna občina je zaradi svetovne gospodarske krize sestavila načrt tako, da je iz gozda dobila čim več. Še vedno se je gospodarilo na velikopovršinski golosečni sistem, poleg tega pa so dajali v najem lovišča in košnjo trave na še nepogozdenih površinah. Takšen način gospodarjenja je veljal do druge svetovne vojne. Za tem so se do leta 1994 menjavala številna gospodarstva.

Od leta 1994 opravlja delo na področju javne gozdarske službe Zavod za gozdove Slovenije OE Murska Sobota, ki zajema upravljanje z zasebnimi in tudi državnimi gozdovi v GE (Gozdnogospodarski načrt Goričko obrobje, 2003 – 2012).

5.1.2.3 Današnje stanje sestojev

V večjem delu enote je gozdna vegetacija močno spremenjena, saj se je večina sedanjih gozdov razvila na nekdanjih kmetijskih površinah. V oddelku 47, kjer so bile postavljene raziskovalne ploskve, je prisotna gozdna združba *Quercus – Carpinetum fagetosum* (100%). Dejansko je na ploskvah močno prevladovala bukev v fazi drogovnjaka. Oddelek je uvrščen v obliko enodobnih gozdov, bukev in hrast sta v 6. tarifnem razredu (Gozdnogospodarski načrt Goričko obrobje, 2003 – 2012).

5.2 OPIS STROJEV V RAZISKAVI

Na obeh objektih je sečnjo in spravilo lesa opravilo gozdno gospodarstvo Maribor d.d. Sečnja se je izvajala s strojem za sečnjo Eco Log 580 C, spravilo pa z zgibnim polprikoličarjem John Deere 1110. Na raziskovalnih linijah sta na obeh objektih stroja delala brez nameščenih kolesnih verig ali verig v obliki gosenic.

Tehnične značilnosti stroja za sečnjo Eco Log 580 C

Eco Log 580 C spada v kategorijo težkih strojev za sečnjo (6 kolesnik), namenjen je opravljanju končnih sečenj in redčenj v starejših razvojnih fazah.

Dimenzije:

- dolžina: 7190 mm
- širina: 2910 mm
- višina stroja (min/max): 3420/4700 mm
- prehodnost: 220-1250 mm
- masa: 18500 kg

Motor: Mercedes-benz OM 906 LA

- moč motorja pri 2200 obr/min: 205 kW (275KM)
- max navor (1200-1600 obr/min): 1100 Nm
- max vlečna sila: 170 kN

Hidravlična roka:

- največji doseg hidravlične roke: 11,3 m
- bruto dvižni navor: 246 kNm
- bruto vrtljivi navor: 33 kNm
- vrtljivi kot: 280°

Hidravlični sistem:

- pretok: 252 l/min
- delovni tlak: 25 Mpa

Glava za sečnjo: Log Max 6000

- masa: 1330 kg
- interval dosegljivih drevesnih premerov: 3–69 cm (najbolj produktivno med: 12–44 cm)
- prostornina rezervoarja za olje: 34 l
- hitrost verige: 0 – 4,2 m/s

Tehnične značilnosti zgibnega polprikoličarja John Deere 1110

Dimenzije:

- dolžina: 9425 – 9700 mm
- širina: 2700 mm (pri širini koles tipa 600)
- minimalna transportna višina: 3770 mm
- prehodnost: 605 mm
- masa: 14600 kg
- nosilnost: 12 000 kg

Dimenzije nakladalnega prostora:

- širina: 2566 mm
- dolžina: 4581 – 4856 mm
- tovorna površina: 4,0 m²

Motor: John Deere 6068 HTJ

- vodno hlajen 6-valjni-turbo-dizelski
- moč motorja pri 2000 obr/min: 120 kW
- navor pri 1400 obr/min: 719 Nm
- max vlečna sila: 150 kN

Prenos moči:

- hidrostatični-mehanski
- dvostopenjski menjalnik
- vozna hitrost: 0 – 23 km/h

Hidravlična naprava: CF 572, s teleskopom

- pretok črpalke: 288 l/min
- doseg nakladalne naprave: 7,2-10 m
- bruto dvižni navor: 102 kNm
- bruto vrtljivi navor: 24 kNm
- vrtljivi kot: 380°

- prostornina rezervoarja za olje: 140 l

Ostali podatki:

- 8 kolesnik
- prostornina rezervoarja za gorivo: 150 l
- hidravlične disk zavore
- gume: 600/55-26,5

5.3 METODA DELA

Za izvedeno strojno sečnjo in kvalitetno pobiranje podatkov je bila potrebna predhodna priprava dela. Izbrani so bili objekti s homogenimi razmerami in homogeno sestojno zgradbo. Na obeh objektih smo označili 6 sečnih linij, dolgih 100 metrov in širokih 19 metrov. Linije so bile med seboj vzporedne kar pomeni, da je bil enak razmak med sečnimi potmi. Ob vsaki predvideni sečni poti smo pred sečnjo na razdalji 10 m postavili količke, ki so določali mesto merjenja prečnih profilov. Vsak količek je bil oštevilčen, prva številka je pomenila številko linije druga pa številko profila v liniji. Meritve profilov smo opravili po sečnji in posebej po spravilu. Znotraj vsake linije smo označili še ploskve v dolžini 20 metrov, širina je bila enaka sečnim linijam - 19 m. Znotraj ploskev so raziskovalci GIS-a v času sečnje in v času izvoza lesa pobirali talne vzorce. Vse robne točke ploskev in vsa mesta količkov smo posneli z GPS instrumentom znamke Trimble, model GeoXT.

Sečne linije na Pohorju so bile slepe, postavljene neposredno ob gozdni cesti in na njo usmerjene pravokotno. Kadar je linija slepa se mora stroj za sečnjo peljati vzratno po sečni poti, ki jo je pravkar posekal, enako velja za zgibni polprikoličar. Vse linije so se med seboj stikale, večji razmik je bil le med linijama 4 in 5.

Na Goričkem so vse linije ležale druga ob drugi, prav tako pa so bile slepe. Spravilna razdalja od sečnih linij do gozdne ceste je bila dolga približno 750 m. Vendar poškodb tal zgibnega polprikoličarja na tej glavni vlaki nismo merili, ker je sodila v kategorijo stalne vlake in je bila že poškodovana z vožnjo raznih (tudi negozdarskih) strojev.

5.3.1 Snemanje poškodb tal na prečnih profilih po sečnji

Po končani pripravi objektov in vseh usklajevanjih je izvajalsko podjetje pričelo s sečnjo na predvidenih linijah. Spravilo lesa z zgibnim polprikoličarjem pa ni potekalo takoj po sečnji, saj je bilo med procesoma potrebno posneti prečne profile sečnih poti, ki jih je naredil stroj za sečnjo. Snemanje profilov smo opravili s pomočjo dlančnika znamke Trimble, ki je bil opremljen s programom Terrasync, v katerega smo vnašali izmerjene podatke prečnih profilov. S takšnim pristopom smo prihranili ogromno časa, saj smo dobljene podatke neposredno vnesli v digitalno obliko, prav tako smo zmanjšali verjetnost napake pri pretipkavanju podatkov.

Za snemanje prečnih profilov smo uporabili naslednjo opremo:

- križni linijski laser znamke Bosch s samodejnim niveliranjem, pritrjen na trinožno stojalo,
- sekaški meter,
- trasirko, s centimetrsko merilno skalo,
- dlančnik Trimble,
- lesene količke, dolžine cca 25 cm,
- enoročno sekuro.

Pred sečnjo smo količke zabili ob predvidene sečne poti, razmak med njimi je bil povsod enak 10 m, saj so bile v smeri sečnih poti raznolikosti objekta minimalne. Če bi bile terenske razmere zelo raznolike, bi bile razdalje med profili manjše. Količki so označevali mesto profila. Pri zabijanju količkov ob predvidene sečne poti smo morali biti pozorni, da so bili dovolj odmaknjeni od poti in zavarovani pred povozom stroja ali založitvijo s hlodi, ki jih stroj polaga ob sečno pot. Včasih lahko strojnik ob poti podre tudi neodkazano drevo, da si zaradi lažje vožnje razširi sečno pot in tako povozi nepravilno postavljen količek. Količki morajo biti od same poti odmaknjeni tudi zato, ker že sama metoda zahteva meritev nepoškodovanih tal ob poti.

Po opravljeni sečnji smo nad zabitim količkom postavili linijski laser, katerega žarek smo usmerili pravokotno na sečno pot. Trinožno stojalo je moralo biti dovolj raztegnjeno, da je

bil žarek višji od sečnih ostankov na poti ali kupa hlodov ob poti. V količek smo zapičili sekaški meter in ga pod žarkom raztegnili na nasprotno stran sečne poti. Merili smo horizontalne in vertikalne razdalje karakterističnih točk na 1 cm natančno. Horizontalne razdalje smo odčitovali s sekaškega metra, predstavljale so razdaljo od količka do karakteristične točke sečne poti. Vertikalne razdalje smo odčitovali s trasirke, pomenile so višino od tal do laserskega žarka. Merjene karakteristične točke so si sledile po vrsti: višina ob količku, raščena tla levo, rob kolesnice levo, leva kolesnica, os poti, desna kolesnica, rob kolesnice desno in raščena tla desno. Ko smo naredili te izmere, je sledila še izmera višine odeje sečnih ostankov in ocena njihove pokrovnosti na osi in na obeh kolesnicah. Vse karakteristične točke so vidne tudi v prilogi. Delo sta opravljala merilec, ki je odčitoval razdalje in popisovalec, ki jih je sproti vnašal v dlančnik. To metodo smo uporabili za vse profile na vseh sečnih poteh na obeh objektih.

Na Pohorju je bilo na linijah 1, 2, 4 in 6 postavljenih po 7 profilov, 8 na liniji 3 in 6 profilov na liniji 5. Tako je bilo na tem objektu skupno postavljenih 42 profilov.

Na Goričkem je bilo na vseh linijah po 10 profilov, le na liniji 2 jih je bilo 9. Skupno število postavljenih profilov na Goričkem je znašalo 59.

5.3.2 Jemanje talnih vzorcev v času sečnje

Jemanje talnih vzorcev so opravili raziskovalci Gozdarskega inštituta. Namen pobiranja talnih vzorcev je bil ugotavljanje vlažnosti tal. Potekalo je sočasno s sečnjo, da smo lahko ugotovili, kolikšna je bila vlažnost tal v času sečnje. Če bi procesa potekala zaporedno in bi se medtem spremenile vremenske razmere (v primeru padavin) lahko sklepamo, da bi se s tem spremenila tudi vlažnost tal in tako pobrani vzorci ne bi bili uporabni. Lokacije pobiranja so bile ob količkih, ki so označevali prečne profile in na nasprotni strani sečne poti, in sicer pravokotno na njeno os. Natančno mesto kopanja talnega profila je bilo 0,5 m od količka (največja razdalja od sečne poti). Če se na tistem mestu slučajno zaradi vej ali kamenja ni dalo kopati, se je mesto kopanja premaknilo za 90°, vrtilišče je predstavljal količek. To je bilo določeno sistematično enako za vse profile.

Vzorke so pobirali z metodo neporušenih tal, odvzeli so jih s pomočjo kopeckijevih cilindrov.

Za pobiranje vzorcev so potrebovali naslednjo opremo:

- lopato,
- lopatico,
- pleskarsko lopatico,
- sadjarske škarje,
- lesen zložljiv meter,
- kopeckijeve cilindre (prostornina 90 in 100cm³),
- nabijalni bat v ohišju,
- nož,
- pokrovčke cilindrov,
- hladilno torbo,
- popisni list.

Na izbranem mestu so z lopatico strgali organsko humificirani horizont toliko časa, da so prišli do B horizonta. Ta horizont so morali poglobiti še za 10 cm in na tej globini narediti ravno dno. Dimenzije jame so bile približno 20 x 20 cm, globina pa se je razlikovala v odvisnosti od debeline gornjih horizontov. Kopanje je bilo bolj podobno strganju, saj so bila tla močno prepredena z večjimi in manjšimi koreninami dreves, ki so jih sprti odstranjevali s sadjarskimi škarjami. Delo se je opravljalo v klečečem položaju, zato so bili kolenčniki zelo dobrodošli. Hitreje bi bilo kopanje z lopato, vendar bi zaradi korenin zabrisali mejo med horizonti. Prav tako bi porušili strukturo tal, saj bi pot lopate v globino močno ovirale prepredene korenine. Ko so imeli talni profil dokončno izkopan, so vanj postavili cilinder. Na zgornji rob so naslonili ohišje bata, katerega rob se je ves čas nabijanja prilegal robu cilindra in ga na ta način fiksiral. V ohišju je bat, njegov ročaj je daljši in tanjši kot je ročaj ohišja. To omogoča, da se bat povleče gor in dol, medtem ko je ohišje fiksirano. V vsako roko so prijeli po en ročaj in z batom nabijali, dokler ni bil celotni cilinder v zemlji. S tem postopkom so v cilinder dobili neporušen vzorec tal. Nato so bat odstranili, odkopali okoli cilindra, s pleskarsko lopatico zarezali pod njega in ga previdno izvlekli iz zemlje. Na zgornji in spodnji strani v ravnini roba cilindra so z noževo

konico odstranili odvečno zemljo in koreninice. Očiščen cilinder so z obeh strani pokrili s plastičnima pokrovčkoma in ga shranili v hladilno torbo, ki je bila dober izolator. Na koncu so talni profil zagrnili in s sprejem označili njegovo lokacijo. Isti postopek so ponovili na nasprotni strani sečne poti in nato na vseh profilih, ki so bili znotraj 20 metrskih ploskev. Zbrane vzorce so še isti dan dostavili na Gozdarski inštitut, jih stehali in takoj zatem dali v peč na temperaturo 105° C za 24 ur. S sušenjem so dobili maso trdne faze vzorca. Po sušenju je takoj sledilo ponovno tehtanje, saj bi se sicer vzorci zopet navlažili. Tehtanje in sušenje je potekalo brez pokrovčkov.

Na Pohorju so bili uporabljeni Kopeckijevi cilindri s prostornino 90 cm³. Skupno je bilo pobranih 28 talnih vzorcev po sečnji in enako število po spravilu lesa. Od tega je bilo na linijah 1, 2, 3 in 5 pobranih po 2 para, na linijah 4 in 6 pa po trije pari vzorcev.

Na Goričkem pa so bili uporabljeni Kopeckijevi cilindri s prostornino 100 cm³. Prav tako kot na Pohorju je bilo tudi na Goričkem skupno pobranih 2 x 28 vzorcev. Od tega je bilo na linijah 1, 2, 3 in 6 pobranih po 2 para, na linijah 4 in 5 pa po trije pari vzorcev.

5.3.3 Snemanje poškodb tal na prečnih profilih po izvozu lesa

Po končanem zbiranju podatkov se je opravilo spravilo lesa z zgibnim polprikoličarjem, kateremu je sledilo ponovno zbiranje podatkov na obstoječih profilih. Prečne profile smo snemali z enako metodo in enako opremo kot prvič. Pred snemanjem smo z dlančnika kopirali vse podatke na osebni prenosni računalnik, nove pa smo vnašali v obstoječo preglednico. Ob ponovno razvitem sekaškem metru smo merili enake karakteristične točke kot prvič. Tokrat so bile vse horizontalne razdalje že vnešene in to nam je omogočilo da smo karakteristične točke določevali na istih mestih kot pri prvem merjenju. V preglednico smo vnašali novo izmerjene vertikalne razdalje, nove višine sečnih ostankov in ocene pokrovnosti tal.

5.3.4 Jemanje talnih vzorcev v času izvoza lesa

Tako kot med sečnjo je tudi med spravlom potekalo zbiranje vzorcev tal. Metoda je bila popolnoma enaka kot prvič, tudi lokacija je bila ob istih količkih. Zamaknjeno je bilo le mesto izkopa, saj so na točno istem mestu bila tla že porušena od prvega kopanja. Število pobranih vzorcev je bilo enako kot prvič, prav tako so se do sušenja hranili v hladilni torbi.

5.3.5 Merjenje nosilnosti tal

Nosilnost tal smo merili pri vsakem profilu, lokacija merjenja je bila na zunanji strani količka (največja razdalja od sečne poti) in je bila sistematično enaka pri vseh profilih. Meritve smo opravili z digitalnim penetrometrom znamke FieldScout, model SC 900.

Lastnosti penetrometra (vir: Spectrum Technologies):

- meritev nosilnosti tal do globine 45 cm,
- samodejno beleženje nosilnosti na vsaka 2,5 cm globine,
- nosilnost se beleži v PSI ali kPa z natančnostjo ± 103 kPa,
- razpon meritev od 0 do 7000 kPa,
- zvočno opozorilo ob prehitrem pritiskanju v tla,
- možnost povezave v GPS sprejemnik,
- vključuje programsko opremo za prenos podatkov,
- hitrost potiskanja je približno 5 cm na 2 sekundi (ASAE standard).

Nosilnost tal merimo s silo, ki je potrebna, da v tla potisnemo merilno palico s konico določene velikosti. Na tla smo položili kovinsko ploščo z luknjo na sredini. V njo smo vstavili palico penetrometra in z rokami preko ročajev potiskali penetrometer proti tlom, tako da je palica navpično, počasi in enakomerno prodirala v globino tal. Na spodnji strani ohišja instrumenta se nahaja v tla (kovinsko ploščo) usmerjen senzor, ki meri natančno globino. Na vsaka 2,5 cm globine se v spomin penetrometera beleži sila s katero palica prodira v tla, hkrati se vrednosti sile izpisujejo tudi na digitalnem zaslonu. Če je bila meritev izmerjena na posebnem mestu npr. na vlaki, smo ob njej zapisali opombo. V nekaterih primerih je bila meritev dvomljiva, zato smo na tej lokaciji meritev ponovili in napisali opombo.

Na enak način smo izmerili nosilnost ob vseh količkih, skupno je bilo na Pohorju narejenih 43 na Goričkem pa 65 meritev, kasneje smo te meritve iz penetrometra prenesli na osebni računalnik.

5.3.6 Merjenje vlage v tleh

Ob merjenju nosilnosti tal smo hkrati merili še njihovo vlažnost, tako da smo tudi te meritve opravili ob vsakem količku. Gledano v smeri spravila so bile lokacije na zunanji strani količka. Lokacije so bile sistematično enake pri vseh profilih. Meritve smo izvedli z digitalnim vlagomerom znamke FieldScout, model TDR 300. Instrument je podoben penetrometru, le da ima dve kratki merilni palici.

Lastnosti vlagomera (vir: Spectrum Technologies):

- na spodnjem delu ima dve merilni palici (sondi), med seboj oddaljeni 3,3 cm,
- dvovrstični digitalni zaslon,
- digitalni zapis deleža talne vlage,
- možnost meritve na globini: 3,8 cm, 7,6 cm, 12 cm ali 20 cm,
- natančnost meritev $\pm 3,0$ %.

Na lokaciji merjenja smo odgrnili zgornji horizont in tako pripravili mesto merjenja. V tla smo potisnili merilne palice penetrometra in z zaslona odčitali delež izmerjene vlage na globini 12 cm. Podatke smo sproti zapisovali v dlančnik, če je bilo potrebno smo zraven pripisali opombo. Pri sondiranju smo morali celotne merilne palice potisniti v zemljo. Če bi bile samo delno v zemlji ali obdane z zračnimi žepki, bi bila takšna meritev napačna, ker bi vsebovala mešane podatke vlažnosti zraka in zemlje.

Pri vsakem profilu smo na ta način izmerili po 2, pri nekaterih pa tudi po 3 meritve. Tako je bilo na Pohorju skupaj opravljenih 95 meritev na Goričkem pa 123 meritev.

5.3.7 Merjenje naklonov na sečnih poteh

Na vsaki sečni poti smo izmerili še vse podolžne naklone. Meritve smo opravili s ceste v notranjost sestoja pomočjo padomera znamke Suunto. Stojišča meritev in viziranja smo določili na točkah lomov terena ter med njimi izmerili razdalje. Vertikalno razdaljo od tal do višine merjenja in viziranja smo določili z dvema enako dolgima palicama, tako so bile obe vertikalni razliki (merjenja in viziranja) enaki. Meritve naklonov smo odčitavali v odstotkih.

5.4 OBDELAVA PRIDOBLJENIH PODATKOV

Vse pridobljene podatke smo obdelali s programoma Excel in SPSS. Za ugotavljanje razlik in povezanosti smo v programu SPSS uporabili neparametrične teste. Ugotavljanje značilnosti razlik med dvema odvisnima vzorcema smo naredili z Wilcoxon testom po metodi parov. Med dvema neodvisnima vzorcema pa smo ugotavljali značilnost razlik s testom Mann-Whitney. Za ugotavljanje povezav med dvema različnima spremenljivkama smo uporabili Spearmanov koeficient korelacije.

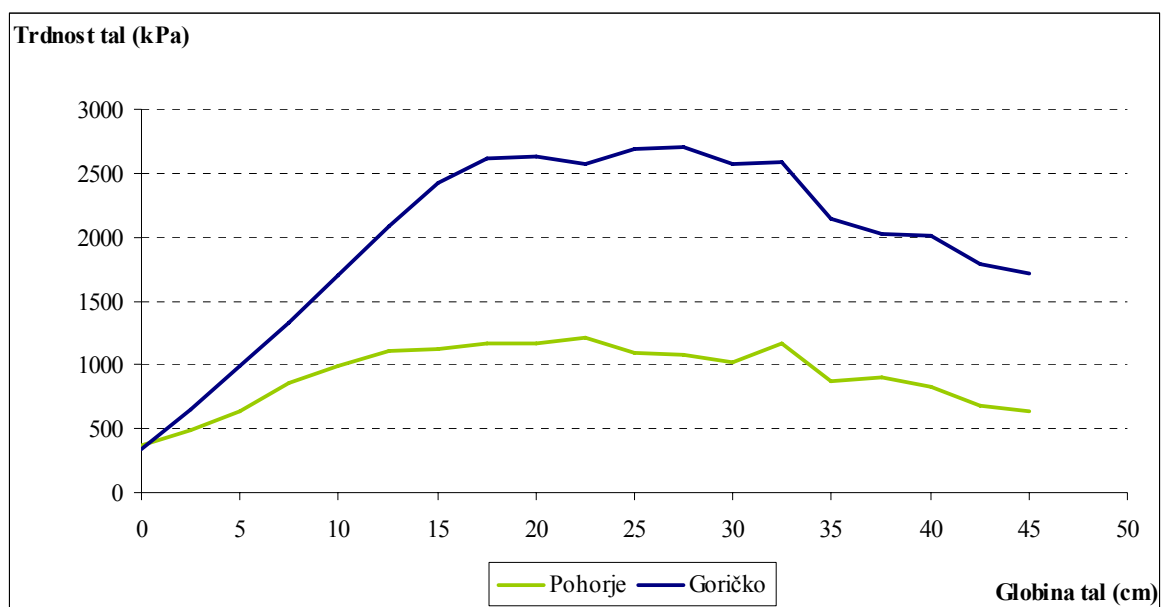
6 REZULTATI

Na obeh objektih je bil poskus podobno zasnovan in izveden z istima strojema, zato smo analizo obeh objektov naredili hkrati in med sabo primerjali dejavnike in stanja.

6.1 PREGLED STANJA NA OBJEKTIH

6.1.1 Konusni indeks

Konusni indeks CI smo merili na nemotenih tleh s penetrometrom, ki beleži trdnost tal na vsaka 2,5 cm do globine 45 cm.



Slika 1: Povprečne vrednosti CI na različnih globinah tal

Slika 1 prikazuje podoben potek konusnega indeksa na obeh objektih, ta najprej narašča nato pa zopet upada. Vrednost konusnega indeksa, ki smo ga uporabili v nadaljnjih analizah, smo izračunali iz povprečne vrednosti na globini 10 in 20 cm.

Preglednica 2: Konusni indeks tal v kPa

Objekt	N	Aritm. sredina	Mediana	Stand. odklon
Pohorje	42	1054,3	1008,8	509,6
Goričko	57	2181,4	2123,0	965,3

6.1.2 Vlažnost tal

Dejavnik, ki vpliva na trdnost tal je tudi vlažnost tal. Na objektih je potekala meritev vlažnosti tal na dva načina, in sicer z vlagomerom pri vsakem profilu in s Kopeckijevimi cilindri le pri določenih profilih.

Preglednica 3: Vlažnosti tal v %

	N	Aritm. sredina	Mediana	Stand. odklon
Vlagomer Pohorje	14	20,5	22,7	5,9
Cilindri Pohorje	14	22,1	23,4	5,3
Vlagomer Goričko	14	18,4	19,3	4,7
Cilindri Goričko	14	11,4	11,4	2,1

Iz preglednice 3 je razvidno, da sta si izmerjeni vlažnosti po obeh metodah dokaj podobni na Pohorju, medtem ko je na Goričkem razlika večja.

Preglednica 4: Wilcoxon test za primerjavo razlik med uporabljenima metodama

Objekt	Vlažnost	N	Z	Značilnost
Pohorje	Cilindri - Vlagomer	14	-0,910	0,363
Goričko	Cilindri - Vlagomer	14	-3,170	0,002

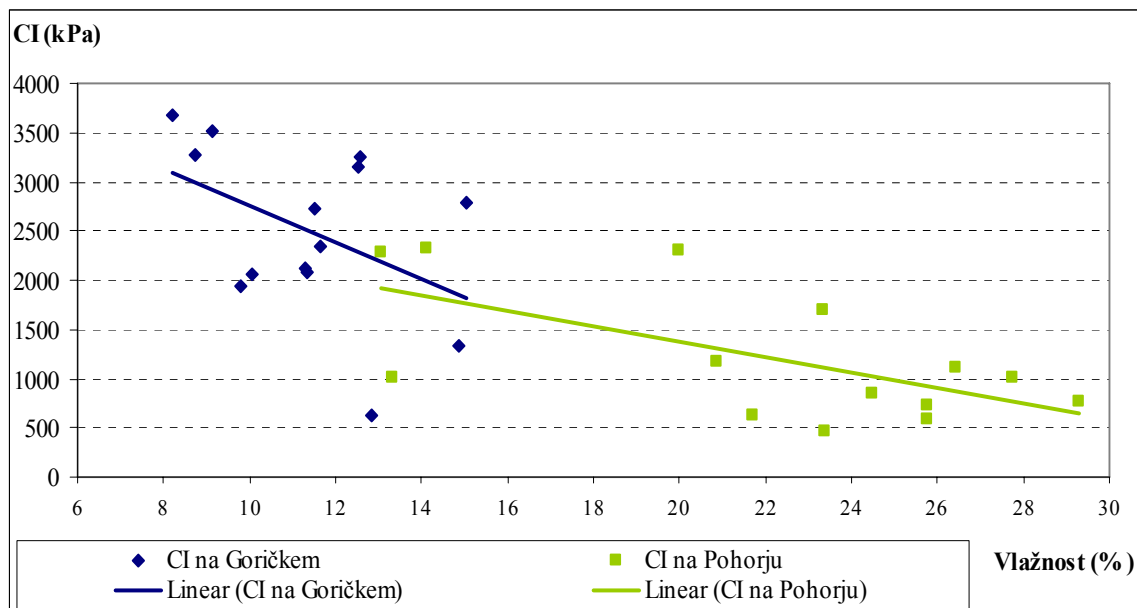
S testom smo preverili, ali obstajajo statistično značilne razlike med izmerjeno vlažnostjo po eni in po drugi metodi. Test je potrdil, da za objekt na Pohorju razlike niso statistično značilne, medtem ko so na Goričkem razlike statistično značilne na nivoju 5 %. Za nadaljnjo analizo bomo uporabili vlažnost dobljeno s kopeckijevimi cilindri, saj velja za natančnejšo. Zajemanje talnih vzorcev za določitev vlažnosti s kopeckijevimi cilindri je potekalo ob sečnji in ponovno ob spravilu, vedno na obeh straneh sečne poti.

Preglednica 5: Povprečne vrednosti vlage v tleh v %

	Levo	Desno	Povprečno
	Pohorje		
Sečnja	24,1	22,4	23,2
Spravilo	21,9	22,1	22,0
Povprečno	23,0	22,2	22,6
	Goričko		
Sečnja	11,3	11,4	11,4
Spravilo	9,9	10,4	10,4
Povprečno	10,6	10,9	10,8

Izmerjene povprečne vrednosti podane v preglednici 5, nam prikazujejo, da je bila znotraj objektov vlaga v tleh zelo podobna na obeh straneh sečne poti, prav tako pa se ni dosti spremenila med prvim in drugim procesom. Večja razlika pa je med obema objektoma, saj je bila vlažnost na Goričkem nižja za skoraj 12 % v primerjavi z vlažnostjo na Pohorju.

Na posameznem profilu smo primerjali izmerjeno vlažnost tal in CI ter tako dobili sliko 2.



Slika 2: Raztros CI in trendnih črt glede na vlažnost tal

Na sliki vidimo, da so bila tla na Goričkem dobro osušena, saj nobena vrednost vlažnosti ni presegla 15 %, višje vrednosti pa so bile izmerjene na Pohorju.

Trend kaže na to, da se z višjo vlažnostjo, vrednosti CI manjšajo. Vendar pa je pri majhni spremembi vlažnosti razmeroma širok raztros vrednosti konusnega indeksa. To pomeni, da z uvrščanjem vlažnosti v razrede in računanjem povprečnega CI na razred dobimo nenatančne vrednosti CI, kot je to prikazano v preglednici 6.

Preglednica 6: Povprečne vrednosti CI glede na razred vlažnosti

Vlažnost (%)	Pohorje		Goričko	
	Povprečni CI (kPa)	Število profilov	Povprečni CI (kPa)	Število profilov
5-10	/	/	2918,8	5
10-15	1871,5	3	2067,6	9
15-20	2298,3	1	/	/
20-25	776,4	5	/	/
25-30	818,8	5	/	/

Vrednosti konusnega indeksa podajajo grobe povprečne vrednosti, iz katerih je na Pohorju slabše razvidno manjšanje CI z naraščanjem vlage. Poudariti pa je potrebno, da na vrednosti vpliva tudi velikost vzorca v posameznem razredu.

Preglednica 7: Povprečne vrednosti CI in vlažnosti tal na posamezni sečni poti

Sečna pot	Pohorje		Goričko	
	CI (kPa)	Vlažnost (%)	CI (kPa)	Vlažnost (%)
1	947,4	25,5	2398,8	10,4
2	859,7	24,6	2438,7	10,8
3	978,1	18,8	1905,3	9,3
4	1112,8	20,2	1863,3	12,0
5	1386,0	17,0	2300,1	13,7
6	1100,4	25,6	2244,9	10,7

Razlike CI med objektoma so bolj opazne, med posameznimi vlakami pa razlike v vrednostih CI niso tako velike, kar kaže na homogenost posameznih objektov.

6.1.3 Naklon terena

Preglednica 8: Nakloni sečnih poti v %

Objekt	N	Aritm. sredina	Mediana	Stand. odklon
Pohorje	41	15	16	4
Goričko	57	12	10	6

Tudi vrednosti o naklonih terena kažejo na homogenost posameznih objektov, saj sta vrednosti standardnih odklonov razmeroma nizki.

6.2 PRIMERNOST STROJEV Z VIDIKA ŠIRINE SEČNE POTI

Na vsakem profilu smo izračunali širino sečne poti iz razlike horizontalnih razdalj obeh robov in širino svetlega profila, ki predstavlja razdaljo med raščenimi tlemi.

Preglednica 9: Širine sečnih poti in svetlih profilov v cm

Proces	Širina	N	Aritm. sredina	Mediana	Stand. odklon
Pohorje					
Sečnja	rob	41	366	357	32
Spravilo	rob	41	369	360	32
Sečnja	svetli profil	41	788	780	101
Spravilo	svetli profil	41	791	795	101
Goričko					
Sečnja	rob	58	409	392	74
Spravilo	rob	58	417	390	75
Sečnja	svetli profil	58	689	671	101
Spravilo	svetli profil	58	720	700	103

Preglednica 9 nam podaja vrednosti, iz katerih je razvidno, kakšne so bile širine sečnih poti in svetlih profilov pri posameznem procesu na obeh objektih.

Z Wilcoxon testom (preglednica 10) smo ugotovili, da razlike v širini robov sečnih poti po sečnji in po spravilu niso statistično značilne na nobenem objektu.

Preglednica 10: Testiranje razlik v širini robov sečnih poti po sečnji in po spravilu z Wilcoxon testom

Objekt	Širina sečne poti	N	Z	Značilnost
Pohorje	Sečnja - Spravilo	41	-0,847	0,397
Goričko	Sečnja - Spravilo	58	-1,558	0,119

Širine sečnih poti na Goričkem pa so toliko večje, da smo s testom Mann-Whitney ugotovili statistično značilne razlike v širini robov sečnih poti med objektoma.

Preglednica 11: Deleži profilov s spremembo širine sečne poti po procesih

Širina	Enaka	Večja	Manjša
Pohorje (% profilov)			
Rob	66	22	12
Svetli profil	95	5	0
Goričko (% profilov)			
Rob	22	47	31
Svetli profil	50	36	12

Na Pohorju je večina profilov po spravilu ostala enake širine kot po sečnji, na Goričkem pa so bile spremembe po spravilu večje (preglednica 11). Skoraj polovica profilov je imela po spravilu večjo razdaljo med robovoma kot po sečnji.

Preglednica 12: Koeficienti širine sečne poti glede na širino stroja

	Povprečno	Min	Max
Pohorje (koeficient širine)			
Sečnja	1,26	1,12	1,65
Spravilo	1,37	1,21	1,71
Goričko (koeficient širine)			
Sečnja	1,40	1,04	2,59
Spravilo	1,54	1,24	2,79

Preglednica 12 podaja koeficiente sečne poti glede na širino stroja, s katerimi lahko vidimo, da so bile širine sečnih poti na Pohorju zelo podobne tako med profili kot tudi med procesoma.

Na podlagi širine sečnih poti in širine sečnih linij (19 m) smo lahko izračunali dolžine sečnih poti in delež površine na hektar, ki je potrebna za sečne poti.

Preglednica 13: Delež motene površine na hektar

Proces	Dolžina (m/ha)	Povprečna širina (m)	Površina (m ² /ha)	Površina (%/ha)
Pohorje				
Sečnja	526	3,66	1925	19,3
Spravilo	526	3,69	1941	19,4
Goričko				
Sečnja	526	4,09	2151	21,5
Spravilo	526	4,17	2193	21,9

Iz preglednice 13 lahko razberemo, da nekoliko širše sečne poti na Goričkem povečajo delež motene površine za slabe 2,5 %.

Želeli smo oceniti velikost deleža motene površine, ki pripada sečnim potem. To smo naredili tako, da smo izračunali teoretične širine sečnih poti na več načinov. Najprej smo širini uporabljenega stroja prišteli po 1 m dodatne širine na vsako stran, v drugem primeru

pa smo prišteli po 0,5 m dodatne širine na vsako stran. Na koncu smo še izračunali kakšen delež površine bi potreboval majhen stroj za sečnjo, ki bi bil primeren za prva redčenja.

Preglednica 14: Delež motene površine pri različnih širinah sečne poti in pri majhnem stroju za sečnjo

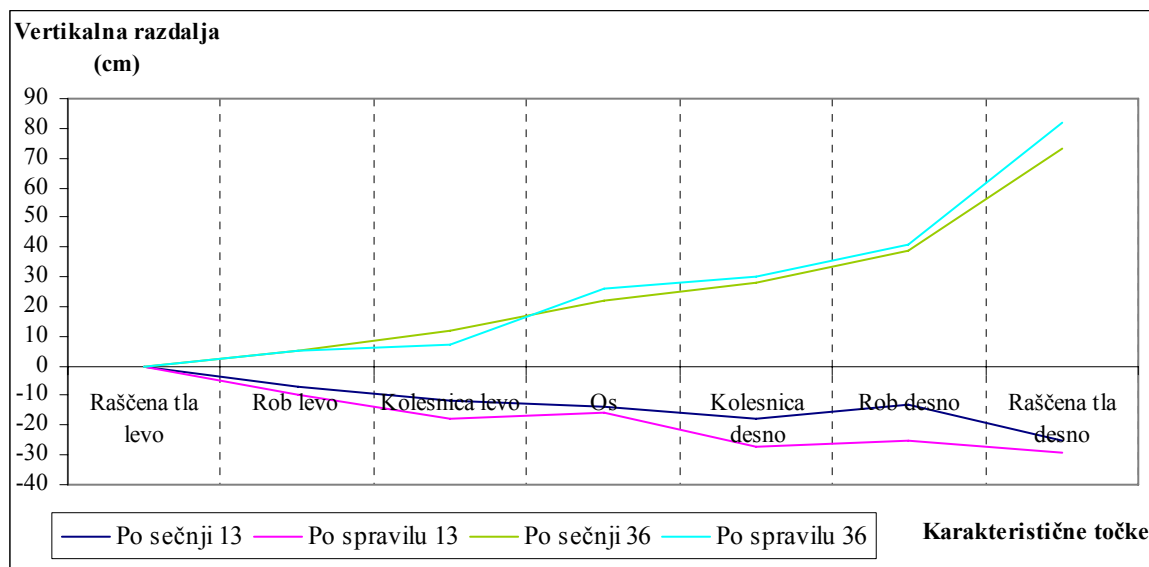
Proces	Širina stroja (m)	Širina linije	Dolžina (m/ha)	Širina (m)	Površina (m ² /ha)	Površina (%/ha)
Širina stroja + 2 m						
Sečnja	2,9	19	526	4,9	2577	25,8%
Spravilo	2,7	19	526	4,7	2472	24,7%
Širina stroja + 1 m						
Sečnja	2,9	19	526	3,9	2051	20,5%
Spravilo	2,7	19	526	3,7	1946	19,5%
Majhni stroj za sečnjo + 1 m						
Sečnja	2,0	12	833	3,0	2500	25,0%

Izračunani deleži motenih površin nam pokažejo, da pri enaki gostoti sečnih poti, le te zavzamejo eno petino do dobre četrtine površine na hektar. Izračunane vrednosti na izbranih objektih so pokazale, da je povprečna širina sečne poti približno enaka tisti, ki predvideva 0,5 m dodatne širine na vsako stran stroja. Razmeroma visok delež sečnih poti se pojavi pri majhnem stroju za sečnjo, čemur vzrok je krajši doseg dvigala (6 m v izračunanem primeru) in posledično več sečnih poti na hektar. Vendar je pri tem potrebno poudariti, da je pri kasnejših sečnjah z večjimi stroji možno izpustiti del sečnih poti, ki jih je pred njimi potreboval majhen stroj za sečnjo.

6.3 PRIMERNOST STROJEV Z VIDIKA GLOBIN KOLESNIC

6.3.1 Risanje prečnih profilov

Prečne profile lahko rišemo iz podatkov, ki smo jih dobili z meritvami horizontalnih in vertikalnih razdalj karakterističnih točk sečne poti. Zbrane podatke je potrebno najprej oblikovati tako, da dobimo enako izhodiščno točko za vse profile. Vse vertikalne razdalje karakterističnih točk pri posameznem profilu odštejemo z izmerjeno razdaljo do raščenih (leva stran), tako dobimo vertikalne razlike med karakterističnimi točkami, ki nam podajajo potek prečnega profila. Ker imamo zbrane podatke po obeh procesih, lahko med sabo primerjamo stanje na prečnih profilih po posameznem procesu.



Slika 3: Primer risanja profilov (profil 13 in 36 na Pohorju)

Najpomembnejša je sprememba na območju obeh kolesnic, saj na tem mestu prihaja do največjih poškodb tal.

6.3.2 Računanje kolesnic

Globine kolesnic smo morali najprej izračunati, saj jih iz podatkov ni možno neposredno razbrati. Kolesnice smo računali posebej po vsakem procesu, in sicer smo jih izračunali s stanja po procesu, saj stanja naravnih tal pred sečnjo nismo posneli. Globine kolesnic smo izračunali tako, da smo posnetemu profilu izračunali premici od roba do osi in od osi do roba na naslednji strani. Za določevanje premice smo uporabili enačbo premice (7), pri čemer smo najprej iz podatkov izračunali k in n .

$$Y = k \cdot x + n \quad \dots (7)$$

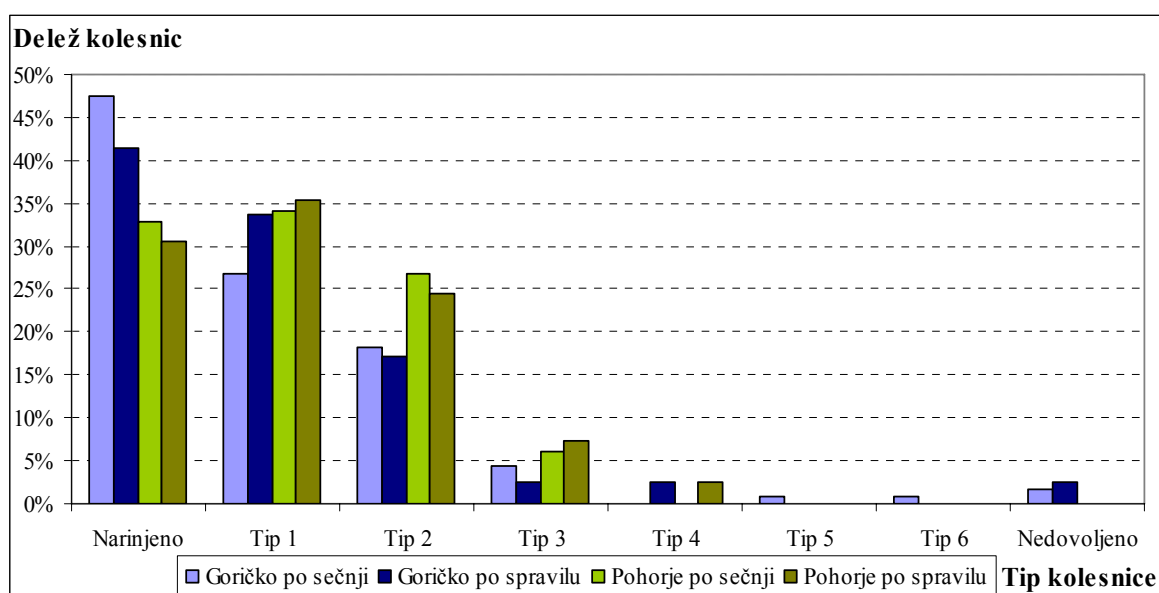
Ti dve vrednosti smo nato vstavili v enačbo pri horizontalni razdalji, ki je označevala kolesnico, in tako dobili vertikalno višino tal pred sečnjo. Nato smo odšteli izračunano višino z izmerjeno višino in dobili globino kolesnice po stroju za sečnjo. Enak postopek smo ponovili tudi po spravilu lesa in dobili globino kolesnic po zgibnem polprikoličarju. Na nekaterih profilih so bile velike razlike med globino levih in desnih kolesnic, zato smo

se odločili, da en profil ne bo predstavljal povprečja leve in desne kolesnice ampak bomo vsako kolesnico obravnavali posebej. Kolesnice smo glede na globino razvrstili v tipe z razponom 5 cm. Nekatere kolesnice so bile po prehodu višje ali enake kot prvotna tla, zato smo takšne primere obravnavali kot narinjene kolesnice. Kolesnice, katerih globine so presegle mejo 30 cm pa smo obravnavali kot nedovoljene.

Preglednica 15: Delitev kolesnic na tipe glede na njihovo globino

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

Tolikšna 5 cm natančnost je pri tako težkih strojih razmeroma velika, vendar je bila struktura poškodb tal takšna, da bi z manjšo natančnostjo dobili večino kolesnic z minimalnimi poškodbami. S takšno natančnostjo smo torej dosegli bolj pregleden razpored poškodb glede globin kolesnic.



Slika 4: Struktura globin kolesnic po posameznem procesu

Slika 4 nam prikazuje, kolikšen delež kolesnic je glede na proces zavzel posamezen tip kolesnic. Vidimo, da so si poškodbe tal po obeh procesih na obeh objektih zelo podobne, kar je v nasprotju z našimi pričakovanji, saj smo predvidevali da nastanejo pri izvozu večje kolesnice kot pri sečnji. Pri posameznih primerih se sicer pojavijo globlje kolesnice pri spravilu, vendar v splošnem ne moremo govoriti o tovrstni zakonitosti. Zanimiva je tudi razporeditev poškodb, ki je tudi podobna na obeh objektih. Presenetljivo velik delež kolesnic je narinjen, pri tem tipu pa ne moremo govoriti o poškodbah, saj ni prišlo do zbivanja tal. Ostala večina kolesnic je zavzela globine do 5 in do 10 cm, kar jih še uvršča med manjše poškodbe tal. Le manjši deleži kolesnic so bili globlji, ki pa na Pohorju niso presegli 20 cm globine, na Goričkem pa le na posameznih profilih.

Preden smo kolesnice uvrstili v posamezne tipe, smo iz dejanskih globin izračunali srednje vrednosti in mere variacij, ki so prikazani v preglednici 16. Pri tem smo ločili narasle kolesnice in stisnjene kolesnice.

Preglednica 16: Narasle in stisnjene kolesnice v cm

Proces/ Objekt	N	Aritm. sredina	Mediana	St. odklon	Maximum
Narasle kolesnice (cm)					
Sečnja Pohorje	27	2	2	2	10
Spravilo Pohorje	25	4	3	4	11
Sečnja Goričko	55	3	2	3	14
Spravilo Goričko	48	4	3	4	15
Stisnjene kolesnice (cm)					
Sečnja Pohorje	55	-5	-4	3	-13
Spravilo Pohorje	57	-5	-4	4	-15
Sečnja Goričko	61	-6	-4	7	-39
Spravilo Goričko	68	-6	-4	8	-40

Preglednica 17: Testiranje razlik v globini kolesnic po sečnji in po spravilu z Wilcoxon testom

Objekt	Globina kolesnic	N	Z	Značilnost
Pohorje	Sečnja - Spravilo	82	-0,399	0,690
	Goričko	116	-0,254	0,799

Wilcoxon test je potrdil, da razlike v globini kolesnic po sečnji in po spravilu niso statistično značilne na nobenem objektu (preglednica 17). V testu so bile vključene tudi narasle kolesnice.

Z testom Mann-Whitney za globine kolesnic med objektoma smo ugotovili, da so le pri sečnji statistično značilne razlike med objektoma, in sicer na nivoju 5 %. Pri izvozu lesa pa razlike v globinah kolesnic med objektoma niso statistično značilne.

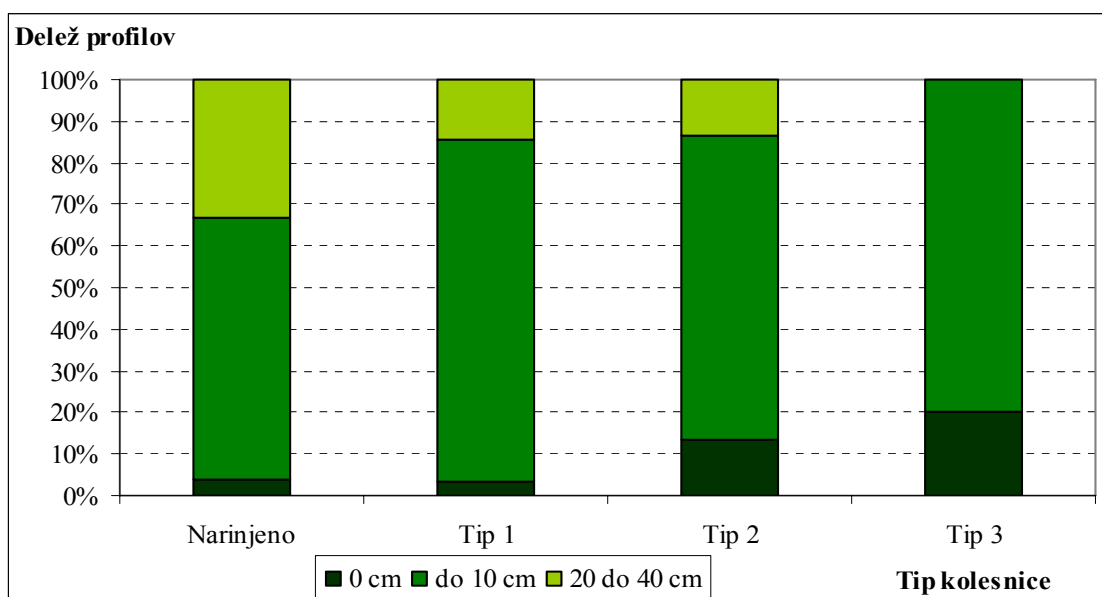
Preglednica 18: Testiranje razlik v globini kolesnic med objektoma z Mann-Whitney testom

Proces	Objekt	N	Z	Značilnost
Sečnja	Pohorje : Goričko	198	-1,960	0,050
Spravilo	Pohorje : Goričko	198	-1,728	0,084

6.4 VPLIV DEJAVNIKOV NA GLOBINO KOLESNIC

6.4.1 Sečni ostanki

Pri merjenju horizontalnih in vertikalnih razdalj karakterističnih točk smo na vsakem profilu ocenjevali tudi debelino in pokritost sečnih ostankov. S temi podatki smo lahko ugotavljali povezavo globin kolesnic in količine sečnih ostankov.



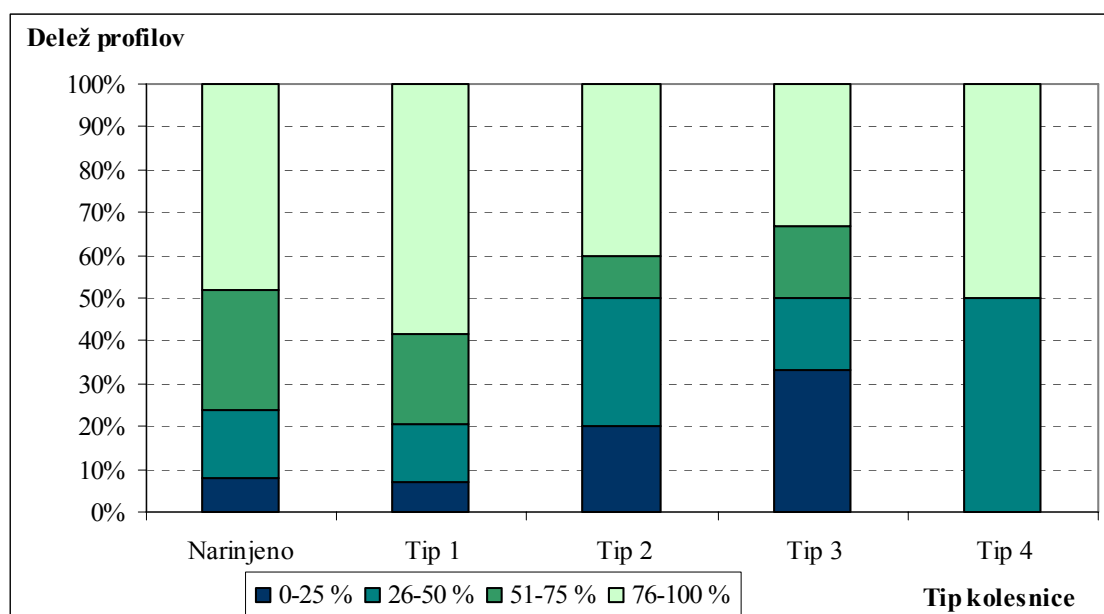
Slika 5: Tipi kolesnic po sečnji glede na debelino sečnih ostankov na kolesnicah (Pohorje)

Debelino sečnih ostankov smo uvrstili v pet razredov, in sicer: brez sečnih ostankov, do 10 cm, do 20 cm, od 20 do 40 cm in nad 40 cm.

Na sliki 5 so prikazani tipi kolesnic po sečnji z deleži različnih debelin sečnih ostankov na kolesnicah. Iz slike je razvidno, da so narinjene kolesnice nastale pri največjem deležu debelejše plasti sečnih ostankov in da so najgloblje kolesnice nastale kjer so bili profili s tanko plastjo sečnih ostankov oziroma brez nje.

Poleg debeline smo preverili tudi tipe kolesnic glede na pokritost s sečnimi ostanki na kolesnicah. Pokritost smo razvrstili v štiri razrede, in sicer do 25 %, do 50 %, do 75 % in nad 75 %. Dobili smo zelo podoben rezultat kot pri debelini sečnih ostankov, kjer je bila največja pokritost so nastale narinjene kolesnice, najgloblje kolesnice pa so nastale pri manjši pokritosti s sečnimi ostanki.

Podobno kot smo preverjali tipe kolesnic po sečnji smo naredili tudi za kolesnice po spravilu, primerjali pa smo jih s stanjem sečnih ostankov po sečnji. Torej na kakšno debelino in pokritost s sečnimi ostanki je zapeljal zgibni polprikoličar in kakšne kolesnice so za njim nastale.



Slika 6: Tipi kolesnic po spravilu glede na pokritost s sečnimi ostanki po sečnji (Pohorje)

Vidimo lahko, da so pri večji pokritosti po sečnji tudi po izvozu lesa nastale manjše kolesnice. Le malo izstopajo kolesnice tipa 1, bolj pa izstopajo najgloblje kolesnice, vendar

je stanje tega tipa nenatančno, saj ga zasedata le 2 % vseh kolesnic. Slabša pa je bila povezava med debelino sečnih ostankov po sečnji in globino kolesnic po spravilu.

Na koncu smo preverili še globine kolesnic po izvozu lesa s pokritostjo sečnih ostankov na kolesnicah po izvozu. Ugotovili smo, da je bilo stanje še vedno podobno prejšnjim primerjavam, kjer je bila večja količina sečnih ostankov so bile kolesnice narinjene, pri profilih z nižjim deležem sečnih ostankov pa so bile kolesnice globlje.

Brezpredmetna pa bi bila analiza med globinami kolesnic po spravilu in debelino sečnih ostankov po spravilu, saj je bila debelina sečnih ostankov na kolesnicah po izvozu lesa praktično povsod pod 10 cm debeline.

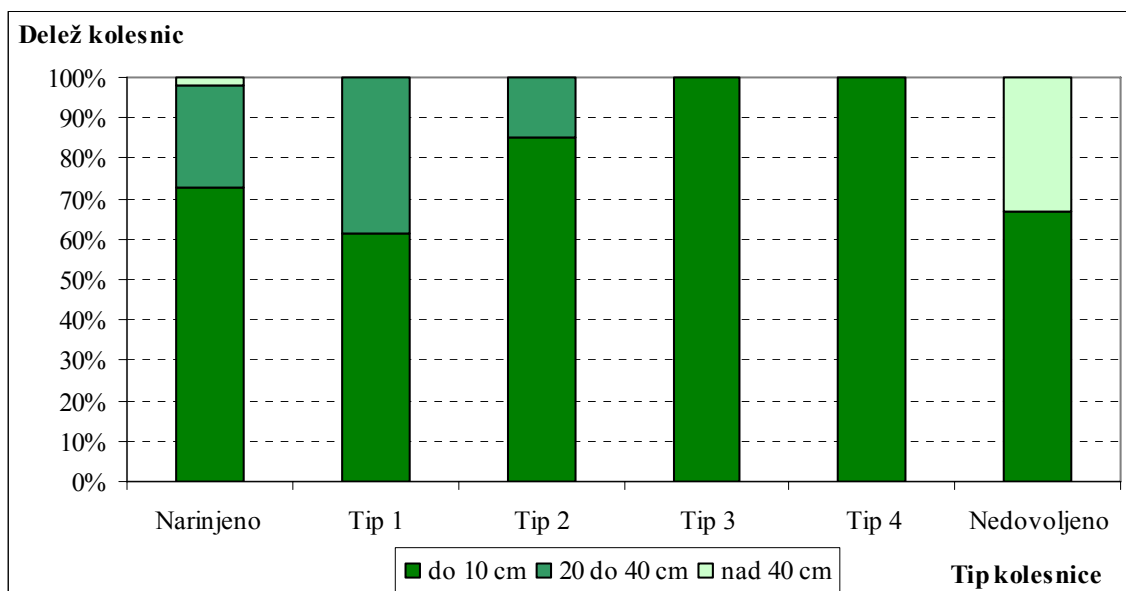
Preglednica 19: Testiranje povezav med globinami kolesnic in količino sečnih ostankov s Spearmanovim koeficientom korelacije (Pohorje)

Sečni ostanki	N	Koeficient korelacije	Značilnost	Raven povezanosti
		Globina kolesnic po sečnji		
Debelina po sečnji	82	0,277	0,0060	0,01
Pokritost po sečnji	82	0,326	0,0010	0,001
		Globina kolesnic po spravilu		
Debelina po sečnji	82	0,033	0,3840	/
Pokritost po sečnji	82	0,160	0,0760	/
Debelina po sečnji	79	0,119	0,1480	/
Pokritost po sečnji	79	0,212	0,0300	0,05
Pokritost po spravilu	82	0,230	0,0190	0,05

S statistično analizo smo dokazali statistično značilne povezave, na katere so nakazovale že primerjave na slikah. Iz preglednice 18 lahko vidimo, v kakšni povezavi so globine kolesnic in količina sečnih ostankov na kolesnicah. Vidimo lahko tudi, da smo morali pri primerjavi globin kolesnic po spravilu in količini sečnih ostankov po sečnji odstraniti 3 ekstremne vrednosti. S tem smo dokazali statistično značilno povezavo med pokritostjo po sečnji in globinami po spravilu (slika 6), še vedno pa nismo dokazali značilne povezave med debelino po sečnji in globinami po spravilu.

Vse primerjave globin in sečnih ostankov smo še enkrat ponovili za objekt na Goričkem. Pri tem objektu je bilo več različnih tipov kolesnic, ki pa so bili razen v narinjenem in

prvih dveh tipih, zastopani v zelo majhnem deležu. Primerjave na tem objektu pa niso bile tako očitne kot na Pohorju. Nenatančnost je večja zaradi večih tipov kolesnic, od katerih so nekateri zastopani z zelo majhnim vzorcem. Najgloblje 3 tipe skupaj sestavlja manj kot 10 % vseh kolesnic.



Slika 7: Tipi kolesnic po spravilu glede na debelino sečnih ostankov po sečnji (Goričko)

Na sliki 7 lahko vidimo, da se debelejši sečni ostanki pojavijo samo pri narinjenih in prvih dveh tipih, sicer pa prevladujejo debeline sečnih ostankov do 10 cm. Izjema se pojavi v nedovoljenem tipu, kjer je pri enem profilu prišlo do zelo globoke kolesnice kljub debeli plasti sečnih ostankov.

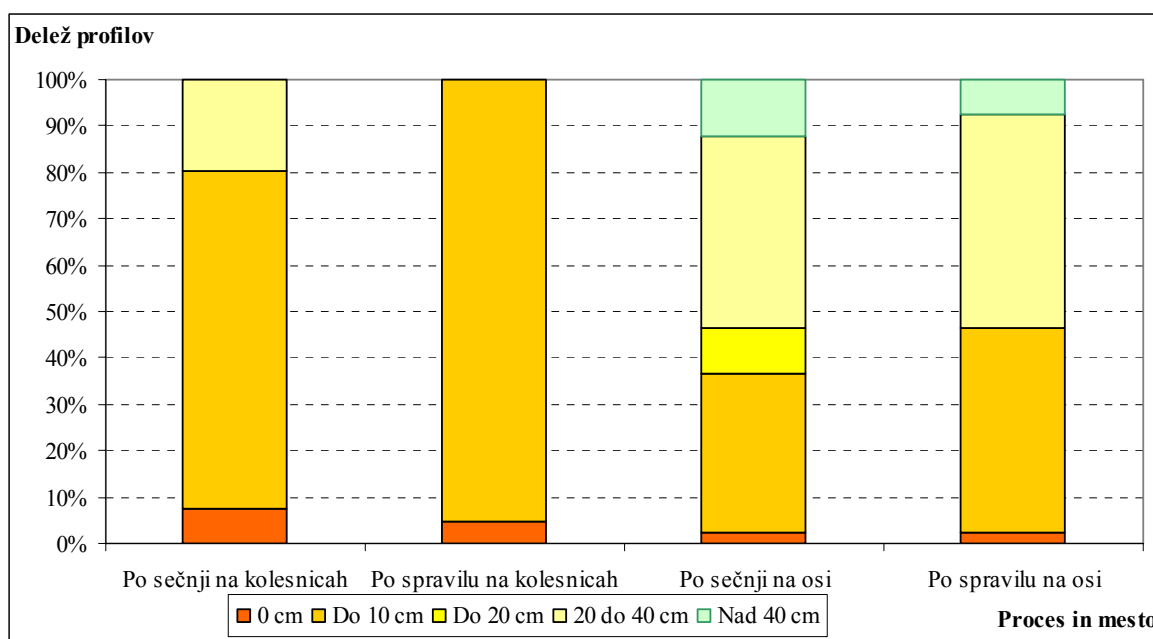
Preglednica 20: Testiranje povezav med globinami kolesnic in količino sečnih ostankov s Spearmanovim koeficientom korelacije (Goričko)

Sečni ostanki	N	Koeficient korelacije	Značilnost	Raven povezanosti
Globina kolesnic po sečnji				
Debelina po sečnji	116	0,159	0,0440	0,05
Pokritost po sečnji	116	0,120	0,1000	/
Globina kolesnic po spravilu				
Debelina po sečnji	116	0,072	0,2220	/
Pokritost po sečnji	116	0,094	0,1580	/
Pokritost po spravilu	116	0,099	0,1450	/

Statistični test s Spearmanovim koeficientom korelacije je pokazal značilno povezavo le za globine kolesnic po sečnji in debelino sečnih ostankov po sečnji na nivoju 5 %. Slike, na

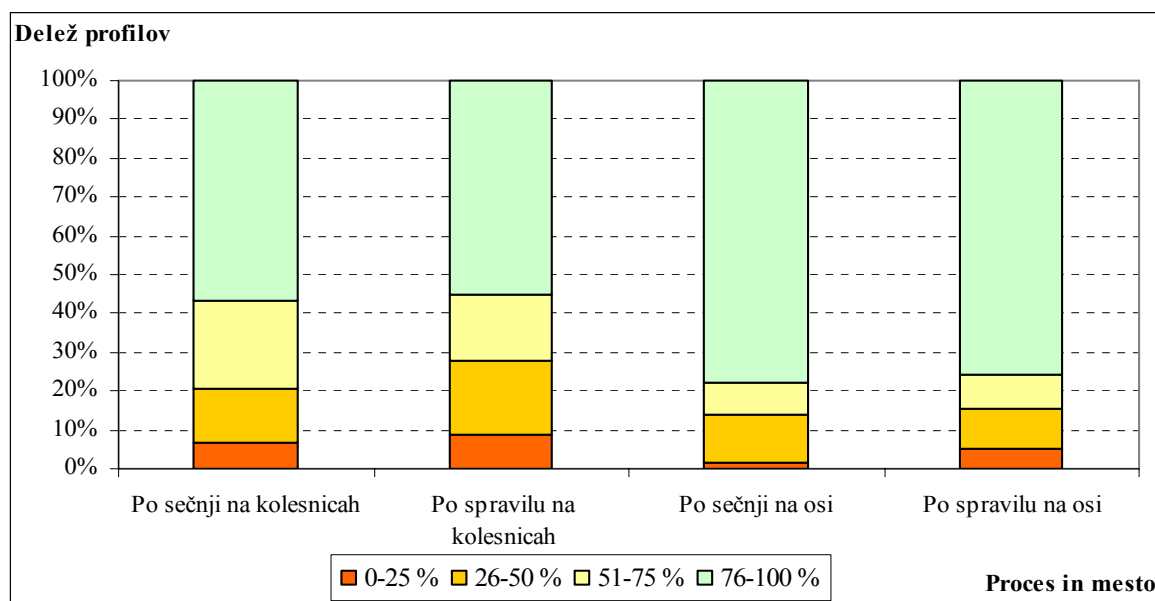
katerih so primerjave globin kolesnic in količin sečnih ostankov, so sicer nakazovale na ugoden vpliv sečnih ostankov tudi za ostale kombinacije (slika 7), vendar pa jih s tem testom nismo dokazali.

Pri vožnji stroja po sečnih ostankov prihaja do največjih sprememb v debelini sečnih ostankov na območju kolesnic. Teža stroja jih stiska, premešča, drobi in potiska v tla, tako je plast sečnih ostankov po vožnji tanjša in se z večkratnimi prehodi še manjša. To nam prikazuje tudi slika 8, na kateri vidimo kaj se zgodi s sečnimi ostanki po obeh procesih. Do manjših sprememb v debelini sečnih ostankov pa prihaja na osi sečne vlake. Podobno sliko smo dobili tudi za objekt na Goričkem, kjer je po spravilu na kolesnicah še ostalo približno 10 % profilov z debelino sečnih ostankov nad 10 cm, na osi pa še skoraj 50 %.



Slika 8: Deleži profilov različnih debelin sečnih ostankov glede na proces in mesto na sečni poti (Pohorje)

Na sliki 8 vidimo, da se debelina sečnih ostankov močno zmanjša na območju kolesnic manj pa na osi sečne poti. Ko pa smo primerjali oba procesa s pokritostjo sečnih ostankov pa smo prišli do drugačnih rezultatov. Ugotovili smo, da so spremembe pri pokritosti dosti manjše kot pri debelini sečnih ostankov. Slika 9 prikazuje stanje pokritosti s sečnimi ostanki na Goričkem, ki pa je bilo zelo podobno stanju na Pohorju. Na njej lahko vidimo, da ima tudi po izvozu še vedno večina profilov več kot 50 % pokritost s sečnimi ostanki.



Slika 9: Deleži profilov z različno pokritostjo sečnih ostankov glede na proces in mesto na sečni poti (Goričko)

Zgornji dve sliki nam prikazujeta, da so se po spravilu sečni ostanki na kolesnicah močno stisnili, vendar do njihovega drobljenja in večjega premeščanja še ni prišlo, saj je bila večina profilov z njimi še dobro pokrita. Tudi razlika v pokritosti med kolesnicami in osjo je dosti manjša kot razlika v debelini sečnih ostankov.

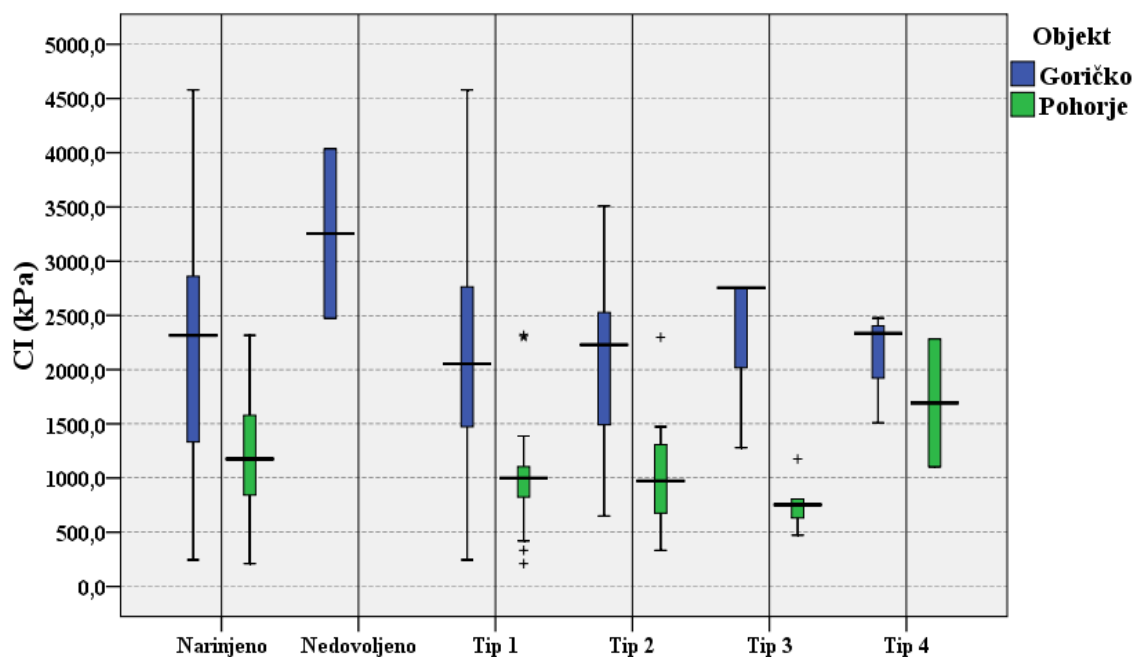
6.4.2 Vpliv ostalih dejavnikov na globino kolesnic

Ugotavljali smo tudi, kakšne so globine kolesnic glede na naklon terena, vlažnost, trdnost tal in število prehodov zgibnega polprikoličarja. Teste smo naredili za vlažnost tal izmerjeno po obeh metodah. Srednje vrednosti in mere variacij posameznih dejavnikov pa smo predstavili že v pregledu stanja na objektih.

Preglednica 21: Testiranje povezav med globinami kolesnic in ostalimi dejavniki s Spearmanovim koeficientom korelacije

Globina kolesnic	N	Koeficient korelacije	Značilnost
Pohorje			
CI	82	-0,189	0,0440
Vlagomer	82	-0,068	0,2706
Cilindri	28	-0,162	0,2050
Naklon	82	-0,036	0,3730
Prehodi	82	-0,003	0,4900
Goričko			
CI	114	0,013	0,4440
Vlagomer	114	-0,108	0,1260
Cilindri	28	-0,219	0,1310
Naklon	114	-0,051	0,2960
Prehodi	114	-0,115	0,1120

Test je pokazal povezavo le za objekt na Pohorju, in sicer med globinami kolesnic in trdnostjo tal. Ostalih povezav test ni odkril, kar je bilo tudi pričakovati, saj so bile razlike v naklonih in v vlažnosti tal majhne, kot smo že prikazali v pregledu stanja na objektih. Tudi različno število prehodov skozi posamezen profil ni imelo pomembnega vpliva na globine kolesnic, kar je bilo v nasprotju z našimi pričakovanji.



Slika 10: Vrednosti konusnega indeksa glede na tip kolesnic

Na sliki 10 vidimo, da so se vrednosti konusnega indeksa v posameznem tipu močno razlikovale. Za objekt na Pohorju lahko opazimo počasno padanje vrednosti CI z večanjem globin kolesnic. Meritev pri tipu 4 ni verodostojna, saj je vzorec premajhen (2 meritvi). Za Goričko pa ni značilne porazdelitve konusnega indeksa glede na tipe kolesnic.

7 RAZPRAVA IN SKLEPI

Analiza poškodb tal na izbranih objektih je potekala s podatki pridobljenimi z metodo, ki je še v razvoju. Metoda zajema meritve horizontalnih in vertikalnih vzdolž karakterističnih točk sečne poti. Pomembno je, da metoda omogoča natančno in hitro zbiranje podatkov. Prav v našem primeru je bila poleg natančnosti potrebna tudi hitrost, saj je potekalo prvo zbiranje podatkov med procesoma sečnje in spravila. Za učinkovito in hitro zbiranje podatkov je bila potrebna predhodna priprava dela. Pred sečnjo je bilo potrebno odmeriti dolžine in označiti prečne profile, da nismo med samim zbiranjem podatkov izgubljali nepotrebnega časa in da smo imeli pri sebi čim manj orodja. Pri postavljanju količkov smo pazili, da so zabiti na takšnem mestu, da jih stroj ne more povoziti ali založiti z lesom. Hitrost meritev se je izboljšala tudi, ker sta meritve opravljali dve osebi, merilec in popisovalec. Tako smo lahko meritve opravili razmeroma hitro, v povprečju je bilo za snemanje enega profila potrebnih dobrih 5 minut. S takšno organizacijo dela pa nam je uspelo, da se je izvoz lesa lahko pričel kmalu po sečnji. Za vpisovanje podatkov se je zelo dobro izkazala uporaba dlančnika, saj smo z njim prihranili čas in odstranili možnost napak pri pretipkavanju.

Poškodbe tal podrobneje proučimo s ponovitvijo meritev po vsakem procesu. Tako lahko ugotavljamo kakšne so spremembe med procesoma v širini sečne poti, v širini svetlega profila, v globini (kolesnic) in količini sečnih ostankov na sečni poti. Pridobljeni podatki nam omogočajo tudi izračun prvotnega stanja tal, če ga tako kot v našem primeru predhodno nismo posneli.

Slabost metode je prisotnost debele plasti sečnih ostankov. Pri postavljanju trasirke ne moremo biti vedno povsem prepričani, če je konica dosegla tla ali zadela kakšno ležečo vejo oziroma v nasprotnem primeru, da je nismo potisnili predaleč v zemljo. Takšne meritve so manj zanesljive in pomenijo nenatančen izračun globin kolesnic. Zaradi tega razloga tudi debeline sečnih ostankov ne merimo v cm, ampak ocenjujemo razred njihove debeline. Priporočljivo je, da meritve ves čas opravlja ista oseba, saj pri prebadanju sečnih ostankov uporablja vedno enako potisno silo, poveča se tudi natančnost pri določevanju karakterističnih točk sečne poti. V jasnem sončnem vremenu je težavno tudi odčitavanje

višine laserja na trasirki. Ta se namreč pri močni svetlobi zelo slabo vidi, iskanje njegove višine pa lahko zahteva kar nekaj časa. Odčitavanje laserja bi lahko nadomestili z elektronskim čitalcem z zvočnim signalom. Vendar se pri tem pojavi nov problem, to so šumi in ropot strojev iz okolja, ki nas motijo pri poslušanju čitalca.

Napake med dvema zaporednima meritvama se lahko pojavijo pri določanju horizontalnih razdalj. Do tega pride, če pri prvi meritvi meter samo razvlečemo čez sečne ostanke in kup lesa, ki ga stroj za sečnjo pusti ob sečni poti. Pri drugi meritvi je ponavadi manj vertikalnih preprek, zato se lahko razlikuje od prve, saj so sečni ostanki stisnjeni in tudi les ob sečni poti je odstranjen. Za večjo natančnost je smiselno meter napeti čez sečne ostanke in kup lesa, na nasprotni strani pa si označiti mesto meritve raščernih tal. S tem zagotovimo minimalne razlike v horizontalnih razdaljah in preprečimo možnost, da bi zamaknili smer (azimut) prečnega profila.

Priporočljivo je, da (poleg snemanja razdalj in količine sečnih ostankov na prečnih profilih) ob njih merimo tudi vlažnost tal, trdnost tal, naklon terena in število prehodov obeh strojev. S temi podatki lahko ugotavljamo vpliv različnih dejavnikov na globino kolesnic pri posameznem profilu.

Na koncu lahko zaključimo, da je bila uporabljena metoda dobra, s pridobljenimi podatki pa smo prišli do zelenih informacij. S tem lahko potrdimo hipotezo o primernosti uporabljene metode za določevanje poškodb tal.

Globine levih in desnih kolesnic so se pri posameznem profilu v veliko primerih razlikovale, zato jih nismo združevali. Analiza je bila natančnejša, ker je vsak profil označeval dve samostojni kolesnici, z združevanjem levih in desnih kolesnic pa bi dobili popačene rezultate.

Uporabljena stroja spadata v kategorijo velikih strojev za sečnjo, zato sta bila manj primerna glede širin sečnih poti. Kljub temu, da je širina sečnih poti ustrezala tistim, ki predvidevajo le 0,5 m dodatne širine na vsako stran, pa so bile širine sečnih poti le nekoliko prevelike za sestoj v katerem se je izvajalo redčenje.

Potrdimo lahko hipotezo, da veliki stroji za sečnjo niso primerni za prva redčenja. Povprečna širina sečnih poti po spravi lu je bila 369 cm na Pohorju, na Goričkem pa 417 cm. Dimenzije uporabljenih strojev ustrezajo izvajanju končnih sečenj, zato stroja nista primerna za redčenje drogovnjakov. Izbiro strojev je potrebno prilagajati razvojni fazi v kateri poteka sečnja. V takšnih razvojnih fazah je potrebno uporabiti manjše stroje, ki so ožji in za gibanje potrebujejo manj prostora. Druga možnost je zmanjšanje števila sečnih poti, s kombinacijo strojne in klasične sečnje (usmerjeno podiranje proti sečnim potem).

Po opravljeni sečnji in spravi lu so se pojavile tudi narasle kolesnice, na Pohorju je bilo takšnih 30 %, na Goričkem pa 41 %. Večina ostalih kolesnic je bila globoka do 10 cm. Na vsakem objektu je bilo le 9 % kolesnic globljih od 10 cm, od tega na Pohorju globine niso presegle 20 cm, na Goričkem pa je bilo 6 % takšnih kolesnic. Po končanem izvozu je bil na obeh objektih zelo majhen delež globokih kolesnic, kar nam dokazuje, da so razmere na objektih dovoljevale vožnjo težkih strojev.

Razlike v širini sečne poti med sečnjo in spravi lu so bile zanemarljive na obeh objektih. Razlik tudi nismo dokazali s statističnim testom, odkrili pa smo statistične razlike v širini sečnih poti med objektoma. Po spravi lu se je pojavilo le minimalno povečanje širine sečne poti, v povprečju za 3 cm na Pohorju in za 8 cm na Goričkem. Kljub temu, da je zgibni polprikoličar za 21 cm ožji od stroja za sečnjo, je na nekaterih mestih potreboval nekoliko večjo širino. Vzrok je najverjetneje v večjem številu prehodov in zaradi slabšega pregleda, saj je moral polne vožnje opravljati z vzratno vožnjo.

Tudi pri globinah kolesnic nismo odkrili statistično značilnih razlik med sečnjo in spravi lu na nobenem objektu. Povprečna vrednost globin je bila enaka po obeh procesih, in sicer na Pohorju 5 cm in na Goričkem 6 cm. Pričakovali smo, da bodo po izvozu globine kolesnic večje kot pri sečnji, vendar pa do opaznih sprememb ni prišlo. Vzrok je bil v dobri nosilnosti tal, nizki vlažnosti tal, v prisotnosti sečnih ostankov in nizkem številu prehodov z gibnega polprikoličarja. Med sečnjo in spravi lu ni bilo vremenskih sprememb, ki bi lahko vplivale na povišanje vlažnosti tal. S tem lahko za oba objekta zavrnemo hipotezo, da večje poškodbe povzročajo izvoz lesa v primerjavi s sečnjo.

Z ugotavljanjem statističnega vpliva naklona terena, trdnosti tal, vlažnosti tal in števila prehodov zgibnega polprikoličarja smo ugotovili povezavo le med trdnostjo tal in globinami kolesnic na Pohorju, za ostale dejavnike pa ne. Test ni pokazal povezav, ki smo jih predvidevali, da bodo globlje kolesnice na strmejših terenih, vlažnejših tleh in mestih z večjim številom prehodov zgibnega polprikoličarja. Vpliva dejavnikov na globine kolesnic nismo dokazali, zaradi zelo homogenih razmer znotraj objektov. Razlike med najnižjo in najvišjo vrednostjo posameznega dejavnika niso bile tolikšne, da bi lahko imele vpliv na poškodbe tal.

Za oba objekta lahko potrdimo hipotezo o ugodnem vplivu sečnih ostankov na zmanjšanje poškodb tal. Ugoden vpliv sečnih ostankov na zmanjšanje globin kolesnic smo za objekt na Pohorju tudi statistično dokazali. Za objekt na Goričkem ga statistično nismo dokazali, vendar pa je bil lahko razviden iz slik na katerih so predstavljene primerjave. Največ naraslih kolesnic je nastalo pri največji pokritosti in pri najdebelejši plasti sečnih ostankov. Ugotovili smo, da se sečni ostanki najbolj stisnejo na območju kolesnic, na območju osi pa je plast sečnih ostankov tudi po spravilu še kar debela. To pomeni, da na tem območju ostane še velik delež sečnih ostankov z neizkoriščenim ugodnim vplivom na zmanjšanje poškodb tal. V prihodnje bi bilo potrebno opraviti kleščenje tako, da pade čim večji delež sečnih ostankov na območje kolesnic, ki ščitijo tla pri kasnejših večkratnih prehodih zgibnega polprikoličarja.

S primerjavo pokritosti in debeline sečnih ostankov na kolesnicah po izvozu lesa smo ugotovili, da je bila pokritost še vedno visoka, debelina pa bolj spremenjena (stisnjena). Po večini je bila debelina manjša od 10 cm, vendar zaradi visokega deleža pokritosti so bili sečni ostanki še vedno povezani. Z večjim številom prehodov zgibnega polprikoličarja pa bi najverjetneje prišlo do njihovega drobljenja, premeščanja in stiskanja v zemljo, posledično bi se zmanjšala tudi pokritost.

Glede na rezultate ugotavljamo, da se nosilnost tal izboljša s prisotnostjo debele plasti sečnih ostankov, za katere je pomembno da se nahajajo na območju kolesnic. Debelejša kot je plast, več prehodov lahko opravi zgibni polprikoličar preden sečne ostanke zdrobi, premesti in vtisne v tla ter se nato tudi sam začne pogrezati v tla.

8 POVZETEK

Razvoj strojev za sečnjo in tehnologija dela sta omogočila, da je strojna sečnja danes v Sloveniji nekaj povsem vsakdanjega. Čeprav je ta tehnologija delavcu ergonomsko primernejša in omogoča visoke delovne učinke, pa s seboj prinaša tudi negativne vplive na okolje. Takšna tehnologija zahteva visoko gostoto sečnih poti in vožnjo težkih strojev po brezpotju. Organizacija dela vključuje sečnjo s strojem za sečnjo in izvoz lesa z zgibnim polprikoličarjem. Večje motnje okolja povzročata izvoz lesa, saj je masa polnega stroja zelo visoka, običajno pa stroj opravi tudi več ciklusov po isti sečni poti.

Vožnja težkih strojev po sestoji lahko povzroči zbijanje tal, nastanek kolesnic ali premeščanje talnih horizontov. Na tla negativno vplivajo že manjše poškodbe (plitve kolesnice), ki že povzročijo manjšo poroznost in večjo gostoto tal. Pri večjih poškodbah pa se pojavijo globoke kolesnice, zablatenje in premeščanje nižjih talnih horizontov, vendar pa takšne poškodbe pri nas niso dopustne.

Veliko tujih raziskovalcev se je posvetilo študijam odnosa kolesa stroja in tal po katerih stroj vozi. Z raziskavami želijo omogočiti napovedovanje obsega negativnih vplivov na tla in izbiro primernih strojev za različna tleh. V Sloveniji imamo drugačne ekološke razmere kot na primer v Skandinaviji, zato ne moremo neposredno primerjati njihovih spoznanj z našimi, ampak potrebujemo čim več svojih raziskav. Obseg poškodb tal je najbolje ocenjevati z meritvami globin kolesnic.

Raziskava je potekala avgusta 2010 v okviru širšega projekta, ki je zajemal več vidikov strojne sečnje, sodelovalo pa je tudi več deležnikov. To diplomsko delo obravnava samo poškodbe tal po sečnji in spravilu lesa. Meritve smo posneli na dveh objektih, in sicer sečnjo iglavcev na Pohorju in sečnjo listavcev na Goričkem. Na vsakem objektu smo določili 6 vzporednih slepih sečnih poti, ki so bile približno enako dolge. Na obeh objektih je dela opravilo podjetje Gozdno gospodarstvo Maribor z istima strojema, in sicer s strojem za sečnjo Eco Log 580 C in z zgibnim polprikoličarjem John Deere 1110.

Namen diplomskega dela je bil ugotoviti primernost uporabljenih strojev na izbranih objektih, ugotoviti razlike v globinah kolesnic po sečnji in po spravilu lesa ter vpliv sečnih ostankov na zmanjšanje globin kolesnic. Podatke za analizo smo pridobivali z metodo, ki je še v razvoju, zato smo s to raziskavo preizkušali tudi primernost metode za meritev poškodb tal.

Pred sečnjo smo ob sečnih poteh na razdalji 10 m zabili količke, ki so označevali mesta prečnih profilov. Na Pohorju smo postavili 42 prečnih profilov na Goričkem pa 59. V času sečnje so se ob nekaterih profilih pobirali talni vzorci za meritev vlage z metodo Kopeckijevih cilindrov. Po končani sečnji smo na profilih posneli horizontalne in vertikalne razdalje karakterističnih točk sečne poti ter količino sečnih ostankov. Za snemanje karakterističnih točk smo uporabili križni linijski laser, trasirko, sekaški meter in dlančnik v katerega smo neposredno vnašali meritve. Za snemanje posameznega profila smo potrebovali dobrih 5 minut. Ko smo končali s snemanjem je sledil izvoz lesa z zgibnim polprikoličarjem, ob katerem so se ponovno pobirali talni vzorci za meritev talne vlažnosti. Po končanem izvozu smo na istih mestih posneli vse horizontalne in vertikalne razdalje karakterističnih točk sečne poti ter količine sečnih ostankov. Ob vsakem profilu smo z digitalnim penetrometrom posneli konusni indeks naravnih tal, s padomerom naklon terena in z vlagomerom vlažnost tal. Enak postopek dela smo uporabili na obeh objektih.

Z meritvami smo ugotovili povezavo med trdnostjo in vlažnostjo tal na obeh objektih. Povprečna trdnost tal na Goričkem je znašala 2181,4 kPa, povprečna vlažnost tal pa 11,4 %. Na Pohorju je bila povprečna trdnost tal 1054,3 kPa, povprečna vlažnost tal pa 20,5 %.

Pri širini sečnih poti nismo odkrili statistično značilnih razlik med strojem za sečnjo in zgibnim polprikoličarjem. Razlike v širini pa so bile statistično značilne med objektoma. Na Pohorju je bila povprečna širina pri sečnji 366 cm, pri spravilu pa 369 cm. Na Goričkem pa so bile širine večje, in sicer 409 cm pri sečnji in 417 cm pri spravilu. Na obeh objektih so bile širine po spravilu malo večje kot po sečnji, kljub 21 cm ožjemu stroju. Vzrok za to je večje število prehodov zgibnega polprikoličarja in slabša preglednost pri polnih vožnjah. Ocenjujemo, da sta bila z vidika širin sečnih poti uporabljena stroja prevelika, saj so širine sečnih poti razmeroma široke za takšno razvojno fazo.

Razmere na objektih so dovoljevale vožnjo težkih strojev, saj je bilo na vsakem objektu po spravi 91 % kolesnic manjših od 10 cm. Od tega je bilo na Pohorju 30 % nekoliko narinjenih, na Goričkem pa je bilo takšnih kar 41 %. Trdnost tal je bila dovolj velika za vožnjo tako težkih strojev, saj je bilo na vsakem objektu le 9 % kolesnic globljih od 10 cm.

Pri globinah kolesnic nismo odkrili statistično značilnih razlik med strojem za sečnjo in zgibnim polprikoličarjem. Povprečna globina kolesnic je bila po izvozu lesa enaka kot po sečnji in je znašala na Pohorju 5 cm, na Goričkem pa 6 cm. Pričakovali smo, da bodo po izvozu lesa poškodbe tal večje kot po sečnji. Vseeno pa so bila tla dovolj nosilna, da kljub nekoliko večjemu številu prehodov zgibnega polprikoličarja ni prišlo do značilnih razlik v globinah kolesnic na nobenem objektu.

Naredili smo primerjave med globinami kolesnic in količino sečnih ostankov, iz katerih lahko ugotovimo ugoden vpliv sečnih ostankov na zmanjšanje globin kolesnic. Po izvozu lesa so bili sečni ostanki na območju kolesnic močno stisnjeni, v večini je bila debelina pod 10 cm. Na osi pa je tudi po izvozu bila debelina podobna stanju po sečnji. S čim večjim deležem sečnih ostankov na območju kolesnic bi lahko še zmanjšali poškodbe tal. Sečni ostanki na osi sečne poti niso bili koristno uporabljeni za zmanjšanje poškodb tal.

Ugotovili smo statistično značilen vpliv trdnosti tal na globino kolesnic za objekt na Pohorju. Pri višji trdnosti tal so nastale manjše kolesnice, kar smo tudi predvidevali. Za objekt na Goričkem tega vpliva nismo statistično dokazali. Zaradi zelo homogenih razmer na posameznem objektu tudi nismo ugotovili značilnih vplivov ostalih dejavnikov kot so naklon terena, vlažnost tal in število prehodov zgibnega polprikoličarja.

9 VIRI

- Akay A.E., Yuksel A., Reis M., Tutus A. 2007. The Impacts of Ground-Based Logging Equipment on Forest Soil. *Polish Journal of Environmental Studies*, 16, 3: 371-376
- Beguš J. 2009. Predstavitev okvirov, ki jih Zavod za gozdove Slovenije uporablja pri izbiri drevja za posek v sestojih, namenjenih strojni sečnji. *Gozdarski vestnik*, 67, 10: 441-451
- Bygdén G., Eliasson L., Wästerlund I. 2004. Rut depth, soil compaction and rolling resistance when using bogie tracks. *Journal of Terramechanics*, 40: 179-190
- Bygdén G., Wästerlund I. 2007. Rutting and soil disturbance minimized by planning and using bogie tracks. *Forestry Studies*, 46: 5-12
- Diaci J., Magajna B. 2002. Nekatero predhodne gozdnogojitvene usmeritve pri uvajanju strojne sečnje v Sloveniji. V: *Strojna sečnja v Sloveniji – zbornik ob posvetovanju*. Ljubljana, Gospodarska zbornica Slovenije, Združenje za gozdarstvo: 33-47
- Eco Log: spletna stran podjetja
<http://www.scanforestry.com/eco-log/new-equipment.aspx> (15.1.2011)
- Geramisov Y., Katarov V. 2010. Effect of Bogie Track and Slash Reinforcement on Sinkage and Soil Compaction in Soft Terrains. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 31, 1: 15-27
- Gigler J. K., Ward S. M. 1993. A simulation model for the prediction of the ground pressure distribution under tracked vehicles. *Journal of terramechanics*, 30, 6: 461-469
- Godeša T. 2010. Zbijanje njivskih tal kot posledica večkratnih prehodov vozil. V: *Novi izzivi v poljedelstvu 2010: zbornik simpozija*. Kocjan Ačko D., Čeh B. (ur.). Rogaška Slatina, Slovensko agronomsko društvo: 89-95

Gozdnogospodarski načrt gozdnogospodarske enote Goričko obrobje za leto 2003-2012.
2003. Murska Sobota, Zavod za gozdove, Območna enota Murska Sobota: 120 str.

Gozdnogospodarski načrt gozdnogospodarske enote Osankarica za leto 2004-2013. 2005.
Maribor, Zavod za gozdove, Območna enota Maribor: 123 str.

Jakobsen B. F., Greacen E. L. 1985. Compaction of sandy forest soils by forwarder operations. Soil and tillage research, 5, 1: 55-70

John Deere: spletna stran podjetja

http://www.deere.com/en_US/cfd/forestry/deere_forestry/index.html (15.1.2011)

King T., Haines S. 1979. Soil compaction absent in plantation thinning. Southern Forest Experiment Station Research Note, S0-251: 4 str.

Košir B. 1997. Pridobivanje lesa: študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 330 str.

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

Košir B. 2002b. Vpliv strojne sečnje na sestoj in gozdna tla. V: Strojna sečnja v Sloveniji – zbornik ob posvetovanju. Ljubljana, Gospodarska zbornica Slovenije, Združenje za gozdarstvo: 66-82

Košir B. 2004b. Priprava dela za strojno sečnjo. Gozdarski vestnik, 62, 1: 25-31

Košir B. 2010. Gozdna tla kot usmerjevalec tehnologij pridobivanja lesa. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška Fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 80 str.

- Krč J. 2002. Sestojne in terenske možnosti za strojno sečnjo v Sloveniji. V: Strojna sečnja v Sloveniji – zbornik ob posvetovanju. Ljubljana, Gospodarska zbornica Slovenije, Združenje za gozdarstvo: 21-32
- Lan Z. 2001. A cost model for forest machine operation in wood cutting and extraction. Development of a Protocol for Ecoefficient Wood Harvesting on Sensitive Sites. University of Helsinki: 15 str.
- 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.
- McDonald T. P., Seixas F. 1997. Effect of slash on forwarder soil compaction. Journal of Forest Engineering, 8, 2: 15-26
- Motavalli P. P., Anderson S. H., Pengthamkeerati P., Gantzer C. J. 2003. Use of soil penetrometers to detect the effects of compaction and organic amendments in claypan soils. Soil and Tillage Research, 74: 103-114
- Mrhar M., Poje T. 1995. Konvencionalni sistem obdelave tal je energetsko pogosto tudi ekološko neustrezen. V: Aktualni zadaci mehanizacije poljoprivrede. Zagreb, Zavod za mehanizacijo poljoprivrede, Agronomski fakultet Sveučilišta: 17-24
- Nugent C., Kanali C., Owende P.M.O., Nieuwenhuis M., Ward. 2003. Characteristic site disturbance due to harvesting and extraction machinery traffic on sensitive forest sites with peat soils. Forest Ecology and Management, 180: 85-98
- Pandur Z., Horvat D., Šušnjar M., Nevečerel H., Stankič I. 2010. Environmental evaluation of wood residues utilization. V: Formec 2010, Forest Engineering: Meeting the Needs of the Society and the Environment 11-14 jul. Padova: 8 str.

Pedološka karta Slovenije. 2007. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, Sektor za sonaravno kmetijstvo

http://www.geopedia.si/?params=T1344#T1344_L6250_F1053_x608711_y172907_s16/ (5.2.2011)

Pleničar M. 1970. Socijalistična federativna republika Jugoslavija, Osnovna geološka karta 1:100.000, Tolmač za list Goričko in Leibniz. Beograd, Zvezni geološki zavod: 39 str.

Poršinsky T., Sraka M., Stankić I. 2006. Comparison of two approaches to soil strength classifications. Croatian Journal of Forest Engineering, 27, 1: 17-26

Prus T. 2000. Klasifikacija tal. Študijsko gradivo za ciklus predavanj maj 2000: interno gradivo. Ljubljana, Center za pedologijo in varstvo okolja: 22 str.

Saarilahti M. 2002. Soil interaction model. Development of protocol for ecoefficient wood harvesting on sensitive sites (ECOWOOD). EU 5th Framework Project Quality of life and management of living resources contract (1999-2002): 87 str.

Saarilahti M. 2002b. Soil interaction model. Evaluation of the WES-method in assessing the trafficability of terrain and the mobility of forest tractors: part 1: WES mobility models. Appendix Report No 2. University of Helsinki: 39 str.

Sakai H., Nordfjell T., Suadicani K., Talbot B., Bollehuus E. 2008. Soil Compaction on Forest Soils from Different Kinds of Tires and Tracks and Possibility of Accurate Estimate. Croatian Journal of Forest Engineering, 29, 1: 15-27

Seixas F., McDonald T. 1997. Soil compaction effect of forwarding and its relationship with 6- and 8-wheel drive machines. Forest Products Journal, 47, 11/12: 46-52

Spectrum Technologies (penetrometer): spletna stran podjetja

<http://www.specmeters.com/international> (3.2.2011)

Šušnjar M., Horvat D., Šešelj J. 2006. Soil compaction in timber skidding in winter conditions. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 27, 1: 3-15

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

Vranešič U. 2008. Primerjava stroškov in učinkov dveh tehnologij pridobivanja lesa v listnatih sestojih: diplomsko delo (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo). Ljubljana, samozal.: 81 str.

Wronski E. B., Humphreys N. A. 1994. Method for Evaluating the Cumulative Impact of Ground- Based Logging Systems on Soils. *Journal of Forest Engineering*, 5, 2: 9-20

Žlogar J. 2007. Primernost traktorskih vlak za vožnjo z zgibnim polprikoličarjem: diplomsko delo (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo). Ljubljana, samozal.: 57 str.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Boštjanu Koširju za strokovno pomoč in vse napotke pri izdelavi ter recenzentu prof. dr. Janezu Krču za recenzijo diplomske naloge.

Za terenski del in vse nasvete se zahvaljujem Matevžu Miheliču s Katedre za gozdno tehniko in ekonomiko.

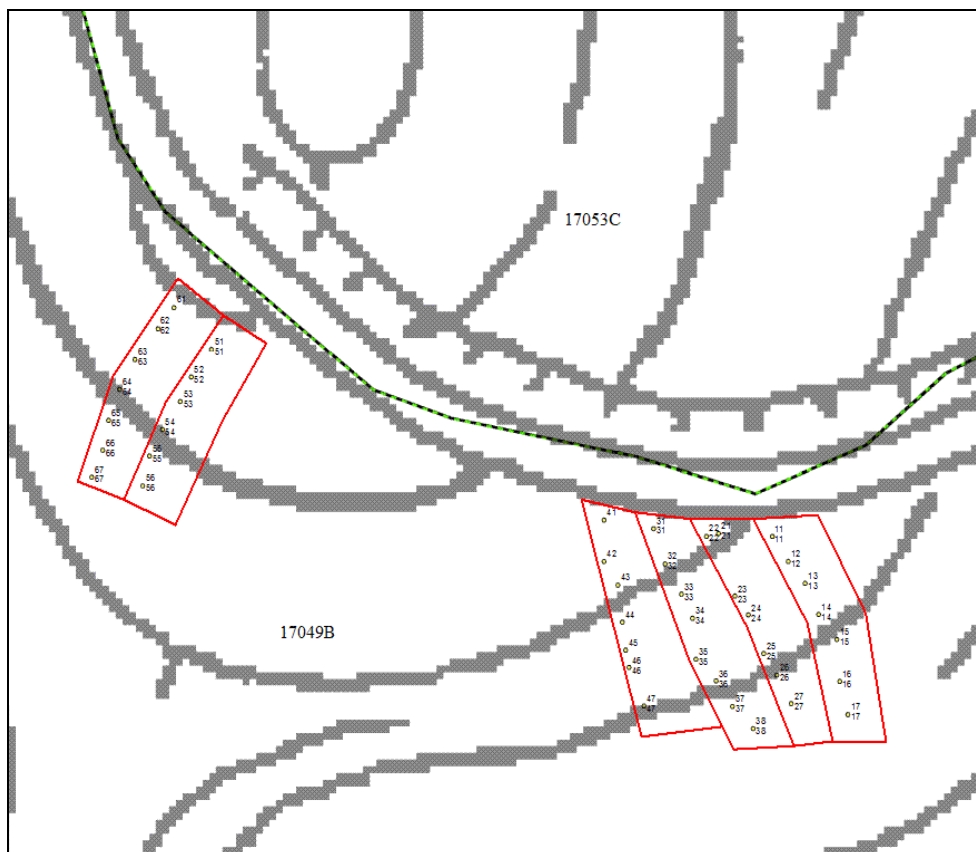
Posebna zahvala gre puncu Evi za pomoč pri reševanju problemov.

Hvala tudi mojim staršem za vso podporo.

PRILOGE

Priloga A:

GE Osankarica
Prikaz poskusnih ploskev, talnih profilov, gozdne ceste, odsekov in TTN
Merilo 1 : 1.000



Priloga B

GE Goričko obrobje
Prikaz poskusnih ploskev, glavne vlake, odsekov in TTN
Merilo 1 : 5.000



Priloga C

GE Goričko obrobje
Podrobni prikaz poskusnih ploskev in lokacij talnih profilov
Merilo 1 : 1.000

