

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

Boštjan MALI

**POŠKODBE TAL PO SEČNJI S STROJEM ZA SEČNJO
IN SPRAVILU LESA Z ZGIBNIM POLPRIKOLIČARJEM**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2006

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

Boštjan MALI

**POŠKODBE TAL PO SEČNJI S STROJEM ZA SEČNJO IN
SPRAVILU LESA Z ZGIBNIM POLPRIKOLOČARJEM**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**SOIL DAMAGE CAUSED BY MECHANIZED HARVESTERS AND
FORWARDERS WHEN CUTTING AND SKIDDING WOOD**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2006

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, kjer smo analizirali in proučili poškodbe tal po strojni sečnji in spravilu. Terenska snemanja so bila izvedena na raziskovalnem objektu v GE Mirna gora in GE Radeče.

Študijska komisija Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire je za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Boštjana Koširja.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Boštjan Mali

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	GDK 377.45+360: 114.53(043.2)
KG	strojna sečnja/poškodbe tal/konusni indeks
AV	MALI, Boštjan
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	2006
IN	POŠKODBE TAL PO SEČNJI S STROJEM ZA SEČNJO IN SPRAVILU LESA Z ZGIBNIM POLPRIČARJEM
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	VIII, 61 str., 17 pregl., 27 sl., 3 pril., 32 virov
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Konec septembra 2006 je Gozdno gospodarstvo Bled v JV delu roškega masiva v GE Mirna gora izvedlo redčenje drogovnjakov, kjer so v enem predelu izvedli sečnjo s strojem za sečnjo Timberjack 1270D, spravilo pa z zgibnim polpričarjem Timberjack 1010D. Prečno na poti gibanja strojev smo postavili 114 profilov, na katerih smo spremljali spremembe oblike ter konusnega indeksa. V drugem predelu so les posekali z motornimi žagami in ga spravili s prilagojenim traktorjem John Deere 4045TL272. Tu smo postavili 19 profilov. Na drugem objektu v oddelku 22 v GE Radeče je Gozdno gospodarstvo Brežice izvedlo končno sečnjo s težkim goseničnim strojem za sečnjo Königstiger in spravilo lesa z zgibnim polpričarjem Timberjack 1410D. Na tem objektu smo na treh vlakah postavili 41 profilov. Namen raziskave je bil preizkus metode ugotavljanja poškodovanosti tal, analizirati in preučiti poškodbe tal ter podati oceno o primernosti izbire teh strojev na izbranih lokacijah. V diplomskem delu so prikazani rezultati analize in izračuni vplivnih dejavnikov na nosilnost in poškodbe tal. Povprečna vrednost konusnega indeksa je znašala na grebenu 2024 kPa, na ostalih tleh 1974 kPa ter v vrtači 1775 kPa. Značilne so razlike v nosilnosti tal v odvisnosti od vrste tal kot tudi od časa pred ter po sečnji in spravilu. Značilen je vpliv naklona na poškodbe tal, ki so večje na strmejših terenih. Med tehnologijama nismo dokazali razlik v poškodovanosti tal, medtem ko obstajajo razlike v nosilnosti tal. Na objektu v GE Radeče znaša povprečna globina kolesnic na prvi vlaki 22 cm, na drugi vlaki 13 cm ter na tretji vlaki 23 cm. Relativne razlike v povečanju konusnega indeksa so znašale na prvi vlaki 46 %, na drugi vlaki 6 % ter na tretji vlaki 34 %. Sečnji ostanki na drugi vlaki so povečali nosilnost na površini tal in ugodno vplivali proti zbijanju tal. Poškodbe tal v GE Mirna gora so bile zaradi dobro nosilnih tal zmerne, medtem ko so bile poškodbe tal na objektu GE Radeče na prvi in tretji vlaki prevelike.

KEY WORDS DOCUMENTATION

- DN Dn
- DC FCD 377.45+360: 114.53(043.2)
- CX mechanized cutting/soil damage/cone index
- AU MALI, Boštjan
- 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 2006
- TI SOIL DAMAGE CAUSED BY MECHANIZED HARVESTERS AND FORWARDERS WHEN CUTTING AND SKIDDING WOOD
- DT Graduation Thesis (University studies)
- NO VIII, 61 p., 17 tab., 27 fig., 3 ann., 32 ref.
- LA sl
- AL sl/en
- AB At the end of September of 2005 the forest management company Bled carried out in the south-east part of the Rog massive in the GE Mirna gora a thinning of pole wood where in one section we performed a cutting using the harvester Timberjack 1270 D, while the skidding was performed using the forwarder Timberjack 1010 D. Transversally to the motion course of the machines were set 114 profiles on which we could monitor the changes of the form and the cone index. In the other section the wood was cut using chainsaws and was skidded by means of the adapted tractor John Deere 4045 TL 272. Here we placed 19 profiles. Second case was in section 22 of GE Radeče the forest management company Brežice carried out the final cutting using the tracked harvester Königstiger and forwarder Timberjack 1410 D. At this plot 41 profiles were placed on three skid trails. The purpose of the research was to test the methods of assessment of soil damage, to analyze and study the soil damage and to estimate the adequacy of the choice of these machines on the selected locations. In this paper the results of the analysis are given and the calculations of the factors of influence on the bearing capacity and soil damage. The average value of the cone index amounted to 2024 kPa on the ridge, 1974 kPa on other soils and 1775 kPa in the sinkhole. The differences in the soil bearing capacity depending on the soil type and the time before and after the cutting and skidding are significant. Significant is also the influence of the slope on the soil damage which is greater on steeper terrains. We have not proven any differences between the two technologies in the soil damage, while differences do exist in the soil bearing capacity. In the case of GE Radeče the average rut depth on the first skid trail amounts to 22 cm, 13 cm on the second skid trail and 23 cm on the third. The relative differences in the increase of the cone index amounted to 46% on the first skid trail, 6% on the second skid trail and 34% on the third skid trail. The residues on the second trail increased the bearing capacity on the soil's surface and had a favorable influence against soil compaction. Soil damage in GE Mirna gora was moderate due to good bearing capacity of the soil, while soil damage on the first and third skid trail in the plot in GE Radeče were excessive.

KAZALO VSEBINE

	str.
1 UVOD	1
2 NAMEN RAZISKAVE	3
3 PREGLED OBJAV	4
3.1 MERJENJE ODPORNOSTI TAL.....	4
3.1.1 Različni pristopi merjenja odpornosti tal.....	4
3.2 LASTNOSTI TAL.....	7
3.2.1 Dejavniki odpornosti tal	7
3.3 MOTNJE NA GOZDNIH TLEH	11
3.3.1 Možni negativni vplivi delovanja težke mehanizacije v gozdu.....	11
3.3.2 Poškodbe gozdnih tal kot posledica prometa.....	13
3.3.3 Metode merjenj poškodb tal	15
4 MATERIAL IN METODE.....	17
4.1 OPIS RAZISKOVALNEGA OBJEKTA	17
4.1.1 Raziskovalni objekt v GE Mirna gora	17
4.1.2 Raziskovalni objekt v GE Radeče	18
4.2 METODE DELA.....	20
4.2.1 Snemanje na raziskovalnem objektu v GE Mirna gora.....	20
4.2.2 Snemanje profilov in načrt poskusa v stratumu II	26
4.2.3 Snemanje na raziskovalnem objektu v GE Radeče.....	27
4.2.4 Obdelava in analiza pridobljenih podatkov	28
4.2.5 Analiza nosilnosti tal	28
4.2.6 Analiza poškodovanosti tal.....	29
4.2.7 Analiza globine kolesnic	30
5 REZULTATI	31
5.1 RAZISKOVALNI OBJEKT V GE MIRNA GORA	31
5.1.1 Analiza vplivnih dejavnikov v stratumu III	31
5.1.2 Analiza vplivnih dejavnikov v stratumu II	40
5.2 RAZISKOVALNI OBJEKT V GE RADEČE.....	44
5.2.1 Analiza vplivnih dejavnikov v stratumu	44
6 RAZPRAVA IN SKLEPI	49
7 POVZETEK.....	52
8 SUMMARY.....	55
9 VIRI	59

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Osnovni podatki (dimenzijski) stroja za sečnjo Timberjack 1270D	21
Preglednica 2: Osnovni podatki zgibnega polprikoličarja Timberjack 1010D	22
Preglednica 3: Osnovni podatki traktorja John Deere 4045TL272	27
Preglednica 4: Osnovni podatki stroja za sečnjo Konigstiger	28
Preglednica 5: Osnovni podatki zgibnega polprikoličarja Timberjack 1410D	28
Preglednica 6: Analiza variance za vpliv vrste tal na konusni indeks (CI)	31
Preglednica 7: Primerjava povprečnih vrednosti konusnega indeksa pred in po SS in spravilu s Studentovim testom »t«	34
Preglednica 8: Kruskal Wallis test za vpliv smeri spravila na nosilnost tal	35
Preglednica 9: Kruskal Wallis test za nosilnost tal med smerjo spravila gor in dol	35
Preglednica 10: Dinamika vožnje traktorjev brez bremena na ravnih tleh ter na različnih naklonih – teža na zadnjo os (%).....	36
Preglednica 10: Nakloni terena (vir: Normativi gozdnih del. Ur.l. RS št. 11/99)	39
Preglednica 11 Primerjava konusnega indeksa po SS in spravilu med stratumoma II in III s Kruskal Wallis testom	41
Preglednica 12: Analiza variance za vpliv vlake na konusni indeks tal	44
Preglednica 13: Analiza variance za vpliv konusnega indeksa naravnih tal	44
Preglednica 14: Analiza variance za razlike med vrednostmi konusnega indeksa naravnih tal ter tal po spravilu	45
Preglednica 15: Tukeyev HSD test za razlike med vlakami	45
Preglednica 16: Kruskal Wallis test za vpliv vlake na globino kolesnic	46
Preglednica 17: Število profilov na posamezni vlaki glede na povp. globino kolesnic	47

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Teksturni trikotnik.....	9
Slika 2: Sečna vlaka.....	12
Slika 3: Krivulje indeksa CI v odvisnosti od globine.....	14
Slika 4: Raziskovalni objekt v oddelku 22	19
Slika 5: Stroj za sečnjo pri delu.....	21
Slika 6: Zgibni polprikoličar med razkladanjem bremena na pomožnem skladišču.....	22
Slika 7: Snemanje terena	22
Slika 8: Ročni iglični penetrometer s številčnico Dickey John.	23
Slika 9: Številčnica penetrometra	24
Slika 10: Karakteristične točke prečnega profila.....	25
Slika 11: Traktor med spravilom.....	26
Slika 12: Prečni profil vlake s premico	30
Slika 13: Povprečne vrednosti konusnega indeksa glede na vrsto tal	31
Slika 14: Prečni profil št. 2 na grebenu	33
Slika 15: Prečni profil št. 77 v vrtači	33
Slika 16: Prečni profil št. 36 na ostalih tleh.....	33
Slika 17: Povprečne vrednosti konusnega indeksa pred in po strojni sečnji in spravilu	34
Slika 18: Povprečne vrednosti konusnega indeksa glede na smer spravila.....	36
Slika 19: Delež števila prečnih profilov glede na smer spravila in vrsto tal	37
Slika 20: Povprečne vrednosti konusnega indeksa glede na naklon terena.....	38
Slika 21: Povprečne vrednosti koeficiente poškodovanosti glede na smer spravila	38
Slika 22: Povprečne vrednosti koeficiente poškodovanosti glede na naklon terena	39
Slika 23: Povprečne vrednosti konusnega indeksa po spravilu glede na smer spravila	41
Slika 24: Prečni profil vlake št. 5 pred in po traktorskem spravilu	42
Slika 25: Grajena vlaka v stratumu II	42
Slika 26: Povprečne vrednosti koeficiente poškodovanosti tal glede na smer spravila	43
Slika 27: Nosilnost naravnih tal in nosilnost tal po spravilu	46
Slika 28: Povprečna globina kolesnic na vlakah	47
Slika 27: Sečni ostanki na vlaki 2.....	48

KAZALO PRILOG

	str.
Priloga A: Karta raziskovalnega objekta v GE Mirna gora v merilu 1:5.000	64
Priloga B: Karta raziskovalnega objekta v GE Radeče v merilu 1:5.000.....	66
Priloga C: Snemalni list za popis prečnih profilov.....	68

1 UVOD

Vsaka tehnologija pridobivanja lesa ima določene značilnosti in zahteva pogoje, potek in izvajanje le-te pa lahko presojamo po različnih vidikih. Najvažnejši so: ekonomski vidik, varnost pri delu in ergomska ustreznost, tehnično-tehnološki vidik, socialni vidik in vplivi na sestoj in gozdro ter širše okolje (Košir, 2002a).

Eden od vidikov je tudi vpliv tehnologije na gozdro okolje. Seveda je za izvajalska podjetja verjetno najbolj pomemben ekonomski vidik pri katerem gledajo, da imajo pri sami proizvodnji čim manjše stroške, od svoje dejavnosti pa čim večji dobiček. Na temo ekonomskih, tehnoloških, sestojnih in terenskih ter drugih možnosti je bilo vzporedno z uvajanjem strojne sečnje v Sloveniji že nekaj raziskav (npr. Krč in Košir, 2003; Košir, 2002b; Krč, 2002). Kljub nekaterim nasprotovanjem proti strojni sečnji v začetkih, je minilo že desetletje odkar je stroj za sečnjo prvič posekal drevo in približno pet let odkar je zasebni lastnik v Sloveniji kupil prvi stroj za sečnjo. S to za nas novo tehnologijo v gozdu med procesom izvajanja prihaja do novih vplivov. Od teh so pomembne tudi poškodbe tal.

V zadnjem času se v našem gozdnem prostoru poleg strojne sečnje pojavlja vse več spravila lesa z zgibnimi polprikoličarji. Razlike med spravilom lesa s temi stroji in klasičnim načinom spravila s traktorji so precejšne. Zgibni polpikoličar za razliko od traktorja, ki vlači les po grajeni vlaki, les oz. breme vozi. Poleg tega se ta stroj zaradi svojih značilnosti lahko giblje tudi izven grajenih vlak, to je po brezpotju. Nekateri tovrstni stroji lahko premagujejo naklone terena 50 % in več. Postavlja se vprašanje, na katerih terenih ti stroji lahko delajo. Kot omejitvene dejavnike za izbiro površin, primernih za strojno izvedbo sečnje lesa, Krč (2002) navaja naklon terena, mešanost sestojev, skalovitost in reliefne posebnosti. Z vidika poškodb tal se lahko vprašamo, katere stroje uporabljati na katerih terenih. Kar se tiče spravila lesa po grajenih vlakah ni večjih problemov. Pač pa je pri vožnji po naravnih tleh verjetno največji omejitveni dejavnik nosilnost tal.

V tujini imajo že kar nekaj izkušenj s strojno sečnjo. Še posebej to velja za skandinavski državi kot sta Finska in Švedska, kjer so naredili veliko raziskav o vplivih težkih strojev na gozdna tla (npr. Saarilahti, 2002). Vendar rezultatov, priporočil in različnih omejitve ne moremo direktno primerjati z našimi, saj so terenske in sestojne razmere tam povsem drugačne kot v Sloveniji.

Več prednosti kot slabosti novih tehnologij sečnje in spravila bodo verjetno vzrok, da bodo le-te v prihodnosti vedno več prisotne tudi v slovenskem gozdnem prostoru. Naša naloga je, da jim damo priložnost ter jim postavimo zahteve, pogoje in omejitve, da bo njihov vpliv do okolja prijazen.

2 NAMEN RAZISKAVE

V Sloveniji je že kar nekaj strojev za sečnjo in zgibnih polpričarjev, s katerimi gozdna gospodarstva izvajajo sečnjo in spravilo. Ker je investicija v nove stroje relativno velika, se odločajo za nakup rabljenih in ponavadi že amortiziranih strojev. S temi stroji pravzaprav ni nič narobe, če delajo na ustreznih terenih. Velja tudi obratno, da s primernimi, npr. manjšimi in lažjimi stroji lahko delamo na marsikaterih terenih, kjer to z ostalimi ne bi bilo ekološko primerno. Diaci in Magajna (2002) pravita, da na prvih treh objektih oz. deloviščih (Ravnik, Žekanc, Strojnik), kjer se je izvedla strojna sečnja pri nas, temu žal ni bilo tako. Stroji so bili namreč pretežki in zastareli.

Kljub temu, da je od začetka strojne sečnje minilo nekaj let, slovensko gozdarstvo še vedno nima rešenega problema z zakonskimi predpisi v zvezi z vplivom teh strojev na gozdna tla. Dejstvo je, da je bilo na področju obremenitev gozdnih tal zaradi težkih strojev do danes relativno malo raziskav. Vsi pa vemo, da vplivi teh strojev so, tudi negativni. Na področju tal moramo zato preprečiti, da bi prihajalo do takih poškodb, ki pripeljejo do tega, da so tla lahko trajno spremenjena, s tem pa posledično v določeni meri tudi rastišče. Ker še vedno nimamo normativov, ki bi vsebovala zahteve in dopustne meje kar se tiče obremenitev tal, se ti stroji zaenkrat še svobodno gibljejo.

V severnih deželah že imajo določene omejitve in priporočila v zvezi z gozdnimi tlemi, a se pri raziskavah poškodovanosti tal pojavlja drug problem. Raziskovalci se navzlic vsem matematičnim, empirijskim in drugim metodam ugotavljanja lastnosti tal še vedno sprašujejo, kako izmeriti talne parametre, da bi se glede na to odločili za stroj, ki bo sprejemljiv.

Namen raziskave je:

- preizkus metode ugotavljanja poškodovanosti tal po strojni sečnji in spravilu,
- analiza vplivnih dejavnikov na poškodbe tal,
- kritična presoja poškodb tal,
- ugotoviti primernost izbire tovrstnih strojev na izbranih lokacijah.

3 PREGLED OBJAV

3.1 MERJENJE ODPORNOSTI TAL

3.1.1 Različni pristopi merjenja odpornosti tal

V gozdarstvu, agronomiji in sorodnih strokah se raziskovalci poslužujejo različnih metod oz. pristopov merjenja odpornosti tal. Za merjenje odpornosti tal se v literaturi največkrat zasledi naslednje pristope:

- penetriranje tal
- navidezna gostota tal,
- prevodnost oz. prepustnost tal ter
- radiacija tal.

Kot navaja Liddle (1997, cit. po Leung in Meyer, 2003), sta prvi in drugi pristop najbolj pogosto uporabljeni meri za odpornost tal. Penetriranje tal je merjenje odpornosti tal s pomočjo penetrometra. To je inštrument, s katerim lahko merimo odpornost, zbitost, oz. nosilnost talne površine glede na vertikalno silo, katero povzročimo s pritiskanjem nanj. Navidezna gostota tal je definirana kot teža suhega trdnega telesa na prostorninsko enoto, ki ga pri določeni temperaturi posušijo v posebni pečici. Ta pristop zahteva zbirko talnih vzorcev, ki jih na ta način posušijo v laboratorijih. Prevodnost oz. prepustnost tal podaja razmerje, pri katerem voda ali zrak pronica skozi tla. Pri tem pristopu je pogosta tehnika kapacitete infiltracije, za katero potrebujemo dovolj časa za terenske meritve ter destilirano vodo. Zadnji izmed teh pristopov je merjenje zbitosti tal preko radiacije. To je jedrska površinska metoda, s katero merijo gostoto tal na podlagi v tla vsrkanih gama žarkov ali nevronov. Ta pristop zahteva drago opremo, poleg tega morajo imeti uporabniki licenco.

Ker je penetriranje enostavna in hitra metoda merjenja odpornosti tal (Håkansson in Voorhees, 1998, cit. po Motavalli in sod., 2003), si jo bolj podrobno poglejmo.

3.1.1.1 Penetriranje tal

Mehanska odpornost tal kot pomemben talni parameter vpliva na rast korenin in gibanje vode, nadzoruje hranila ter onesnažen transport pod koreninsko cono. Najbolj pogost način ocenjevanja odpornosti tal je uporaba penetrometra, ki karakterizira silo, ki je potrebna, da potisne konico določene velikosti v tla (Bradford, 1986, cit. po Vaz, 2003).

Izmere talne odpornosti, ki jih lahko pridobimo s penetrometri se imenujejo konusni indeksi (ang. cone index, v nadaljevanju CI). Tega Američani podajajo v svojih enotah-psi (pound per square inch). V Evropi ga raziskovalci izražajo v kPa ali v MPa. Za penetriranje uporabljajo različne vrste penetrometrov. Ločijo se glede na to, kaj lahko izmerijo in na kakšen način (tehnologija).

Merjenje talnega indeksa CI poteka ob standardiziranem nivoju vode v tleh, kot je to npr. poljska kapaciteta, ki izniči možne učinke na izmere indeksa CI zaradi razlik v različnih vsebnosti vode v tleh (Håkansson in Voorhees, 1998, cit. po Motavalli in sod., 2003).

Nasičenost tal z vodo, ko odteče gravitacijska voda, imenujemo poljska kapaciteta (Kotar, 2005). Ponavadi je to okoli 24 ur po večjem deževju. Najboljši letni čas za meritve odpornosti tal je spomladi, potem ko je bil ves talni profil skozi zimo popolnoma namočen. Če je zemlja v času samih meritev preveč namočena, se zgodi, da so izmere indeksa CI lahko podcenjene, saj tla delujejo kot tekočina. Če so tla preveč suha, so izmere ponavadi precenjene.

S penetriranjem tal imajo veliko izkušenj agronomi. Ti ločijo površinsko in podpovršinsko zbitost tal. Medtem ko oranje zgornjega sloja tal ni problem, zna biti podpovršinska zbitost tal velik problem. Ameriški oddelek USDA-ARS (United States Department of Agriculture's Agriculture Research Service) je proučeval odnos med zbitostjo tal in sposobnostjo korenin, da prodrejo v nižje plasti. Temu bi lahko rekli moč korenin. S penetrometrom Dickey John so izmerili moč korenin pri različni navidezni gostoti tal. Te izmere so nato primerjali z izmerami, ki so jih dobili z meritvami s penetrometrom. Večino študije so opravili na bombažu. Ugotovili so, da pri vrednosti 300 psi skoraj noben osebek ni več sposoben prekoreniniti tal. Vrednost 300 psi, kar je ekvivalentno 2068,44 kPa, se zdi mejna.

Vrste penetrometrov

Iglični penetrometri se med seboj razlikujejo po obliki, velikosti, ceni ter po tem kaj lahko merijo. Imajo standardizirane velikosti igel, ki jih po potrebi lahko menjamo. Igle se razlikujejo po dolžini in premeru, ki določata koničnost oz. vršni kot igle.

Penetrometre ločimo tudi glede na način uporabe ter ali so analogni ali digitalni. Po načinu uporabe so ročni ter taki, ki jih lahko priključimo na vozilo (npr. na traktor). Analogni penetrometri imajo merilno številčnico s kazalcem, digitalni pa izpis na ekran.

Motavalli in sod. (2003) je v svoji raziskavi primerjal 4 različne iglične penetrometre. Ti so bili Profiler 3000 (Veris technologies), Investigator soil compaction meter (Spectrum technologies inc.), Soil compaction tester (Dickey-john corporation) ter poskusno krožni penetrometer z merilno številčnico.

Profiler 3000 je priključni penetrometer opremljen s tlačnim pretvornikom in iglo s konico, ki je občutljiva za električno prevodnost (ang. electrical conductivity - EC) in meri v premeru 14,9 mm ter z dodatnim 13 mm dolgim cilindričnim nosilcem za EC senzor (Sudduth s sod. 2000, cit. po Motavalli s sod. 2003). Ta penetrometer lahko meri globino tal, indeks CI (zbitost tal), trenutno električno prevodnost tal (ang. apparent electrical conductivity - EC_a) ter vbodno hitrost, vsakih 1,27 cm do okoli 90 cm globoko. Vsaka vzorčna lokacija je lahko geografsko podprta s sistemom GPS (global positioning system) in shranjena v podatkovno zbirko.

Investigator soil compaction meter je ročni penetrometer s tlačnim pretvornikom, s sondom, ki ima vršni kot 30° ter standardizirano ASAE (American Society of Agricultural Engineers) majhno iglo v premeru 12,8 mm. S tem inštrumentom lahko merimo globino ter zbitost tal vsakih 2,5 cm do največje globine okoli 45 cm. Ima digitalni izpis in elektronsko lahko shrani odčitke globine ter CI indeksa za en vzorčni profil.

Soil compaction tester je ročni penetrometer z merilno številčnico ter enako sondu in ASAE iglo kot prejšnji penetrometer. Na palici z nerjavečega jekla lahko na vsakih 7,5 cm

odčitamo globino do največje globine okoli 45 cm. Za razliko od prejšnjega penetrometra pri tem na številčnici, bolj kot ne, ocenimo zbitost tal z indeksom CI. Odčitke nato zabeležimo na popisne liste.

V želji da bi izboljšali tehniko meritev, so poleg omenjenih penetrometrov raziskovalci razvili tudi t.i. kombiniran iglični penetrometer TDR (Time Domain Reflecto, Topp in sod., 1980, cit. po Vaz in sod., 2001) z meritcem vlažnosti, ki ima v palico vgrajeno dvojno žičnato spiralo. S tem lahko merijo vlažnost in zbitost tal hkrati ter skoraj na isti lokaciji znotraj talnega profila (Vaz in Hopmans, 2001, cit. po Vaz, 2003).

Kot navajata Lowery in Morrison (2002, cit. po Motavalli in sod., 2003), je potreba po zmanjšanju tovrstnega človekovega dela pripeljala do nedavno razvitih motoriziranih penetrometrov. Ti pridejo v poštev še posebej tam, kjer je potrebno večje število meritev in tam, kjer je razgiban teren. V ta namen lahko merijo različne parametre kot so vlažnost in odpornost tal ter so opremljeni s sistemom GPS.

3.2 LASTNOSTI TAL

3.2.1 Dejavniki odpornosti tal

Ne glede na enostavnost in hitrost metode penetriranja, imajo penetrometri tudi svoje slabosti. Indeks odpornosti tal CI je namreč odvisen od vrste dejavnikov, ki vplivajo nanj. Tako so dejavniki, ki vplivajo na odpornost tal oz. na CI indeks in ki jih navajajo avtorji (Gerard in sod., 1982; Bradford in sod., 1986; O'Sullivan in sod., 1987; Vaz in Hopmans, 2001, cit. po Motavalli in sod., 2003) naslednji:

- vlažnost tal,
- tekstura tal,
- navidezna gostota tal,
- struktura tal,
- organska snov,
- prisotnost peska in gline.

Poleg naštetih dejavnikov Vaz (2003) navaja, da je odpornost tal odvisna še od vodnega potenciala v tleh, agregacije in cementacije. Ostali avtorji še dodajajo, da razlike v različnih izvedbah penetrometrov in njihova uporaba lahko privedejo do problema zaradi nekonsistentnega razmerja pri vbadanju ter zaradi sile trenja na penetrometer (Freitag, 1968; Mulqueen in sod., 1977; Young in sod., 2000, cit. po Motavalli, 2003)

3.2.1.1 Vlažnost tal

Mulqueen (1977, cit. po Motavalli in sod., 2003) navaja, da je indeks CI točkovna mera, ki je sestavljena iz komponent kot so strižna, kompresijska in natezna sila, katera pa ni nujno, da je direktno v povezavi z navidezno gostoto tal ali kohezijo, temveč bolje variira z vlažnostjo tal.

En tak postopek merjenja vlažnosti tal so tudi vzorci talnih profilov, ki jih iz različnih globin vzamejo ter spravijo v polivinilaste vrečke. Ti vzorci tal so običajno veliki približno 5 x 5 cm. V laboratorijih jih v pečeh sušijo pri temperaturi 105° C 72 ur.

Vlažnost talnega vzorca v % izračunamo po formuli:

$$\text{Vlažnost tal} = \frac{\text{mokra masa (g)} - \text{posušena masa (g)}}{\text{posušena masa (g)}} * 100 \quad \dots(1)$$

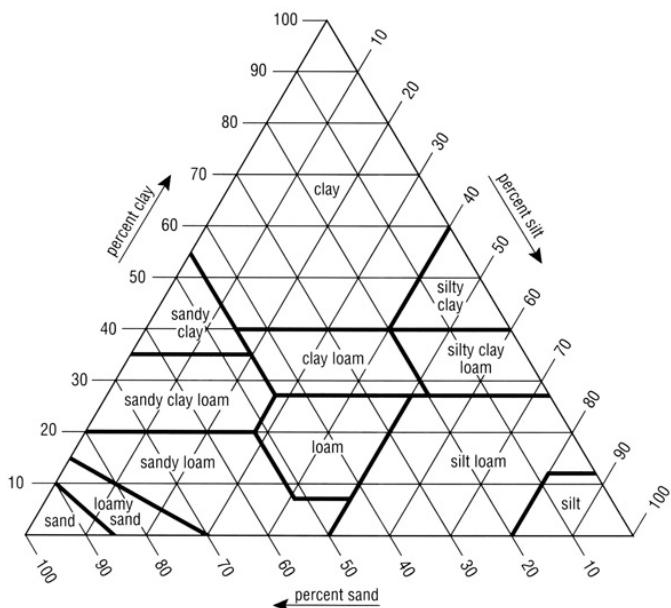
Vlažnost tal je obratnosorazmerna z odpornostjo tal (Ayers in Perumpral 1982, cit. po Grunwald in sod., 2001).

Faure in Da Mata (1994, cit. po Grunwald in sod., 2001) sta ugotovila, da je odpornost tal zelo majhna oz. blizu vrednosti nič, ko je vlažnost tal zelo velika, še posebej takrat, ko so tla blizu nasičenosti z vodo.

Vaz (2003) podobno pravi, da odpornost tal pada, ko vlažnost tal narašča in obratno, da odpornost tal narašča eksponentno s padanjem vlage (vode) v tleh.

3.2.1.2 Tekstura tal

Velikost mineralnih delcev in njihovi deleži določajo razlike v teksturi tal (Kotar, 2005). Vsem nam je bolj ali manj znan trikotnik (Slika 1), ki prikazuje teksturne razrede glede na velikost mineralnih delcev ter njihovih deležev. Tako ima npr. glina mineralne delce, ki so manjši od 0,002 mm (mednarodna klasifikacija). Za glinasta tla pa Kimmins (1997, cit. po Kotar, 2005) navaja, da imajo manj kot 20 % peska.



Slika 1: Teksturni trikotnik (vir: Fao po Duareza, 1982)

Zakaj se zdi vsebnost gline tako pomembna? V dosedanjih raziskavah Mapfumo in Chanasyk (1998, cit. po Ekwue, Stone in Ramphalie, 2002) ter Ekwue in Stone (1995, cit. po Ekwue, Stone in Ramphalie, 2002) navajajo, da z dano napetostjo zbitosti tal, vrednosti maksimalne specifične gostote, največje odpornosti tal in največje strižne sile padajo, ko pripadajoča vlažnost tal narašča z naraščajočo vsebnostjo gline v tleh. Večji delež gline v tleh torej pomeni večjo vlažnost tal, ta pa vpliva na manjšo odpornost tal kot smo že spoznali.

Kurup in sod. (1994, cit. po Grunwald in sod., 2001) ter Puppala in sod. (1995, cit. po Grunwald in sod., 2001) navajajo, da tla z bolj grobo strukturo tal kažejo večjo odpornost v primerjavi s fino strukturo tal.

3.2.1.3 Navidezna gostota tal

Nekaj smo o navidezni gostoti tal že povedali. Podobno kot vzamejo talne vzorce za merjenje vlažnosti tla, tudi za merjenje navidezne gostote tal iz določene globine vzamejo vzorce. Te na enak način sušijo pri temperaturi 105 °C 72 ur. Navidezno gostoto tal izražajo kot suho težo vzorca na prostorninsko enoto.

Kotar (2005) pravi, da struktura, tekstura, poroznost ter organske snovi v tleh določajo specifično gostoto tal, ki jo izražamo v g/cm^3 . Glina in ilovica imata tako gostoto od 1,00 - 1,60 g/m^3 , peščena tla in peščeno-glinasta tla 1,20 - 1,80 g/cm^3 .

Za dana tla pri določeni navidezni gostoti odpornost tal pada, ko vlažnost tal narašča (Bar-Josef in Lambert, 1981; Laboski in sod., 1998, cit po Grunwald in sod., 2001).

Spet podobno ugotavlja Vaz (2003), da navidezna gostota, ki vpliva na odpornost tal pada, ko vlažnost tal narašča.

3.2.1.4 Struktura tal

Kimmins (1997, cit. po Kotar, 2005) pravi, da je struktura prostorska razmestitev delcev posameznih komponent tal in sicer tako, da funkcijirajo kot sistem. Ta arhitektura tal omogoča gibanje vode in zraka, aktivnost talnih organizmov ter potek neštetih talnih procesov, ki omogočajo življenje rastlinam, živalim ter mikrobom.

Glede na opisane lastnosti tal lahko ugotovimo, da so le te med seboj povezane. Neka lastnost kot je to npr. vlažnost tal, ima večji vpliv na odpornost tal, spet druga npr. struktura, vpliva na odpornost posredno. Seveda je to samo nekaj osnovnih lastnosti tal, ki jih moramo poznati v zvezi z odpornostjo tal. Dejstvo je, da se poleg tega v tleh dogaja še

marsikaj drugega, ki tudi oblikuje tla do te mere, da so bodisi bolj bodisi manj odporna na različne strese. S tem mislimo predvsem na kemične in fizikalne procese, kot je to npr. preperevanje, izmenjava kationov in anionov ali pa zmrzovanje, izpiranje itd. Na koncu koncev ne smemo pozabiti na aktivnost korenin in mikroorganizmov.

3.3 MOTNJE NA GOZDNIH TLEH

3.3.1 Možni negativni vplivi delovanja težke mehanizacije v gozdu

Pod pojmom težka mehanizacija, ki nastopa v gozdu, kaj hitro pomislimo na bager, kamion, traktor itn. V zadnjem času se v Sloveniji vedno bolj pojavlja ne le strojna sečnja, temveč tudi spravilo lesa z zgibnim polpričarjem. Stroj za sečnjo (ang. harvester) ter polpričar (ang. forwarder) tudi uvrščamo med težko mehanizacijo. Vendar se ta stroja, za razliko od ostale mehanizacije, ponavadi gibljeta zunaj zgrajenih prometnic.

Vlake po katerih vozita stroja, spadajo v skupino negrajenih traktorskih vlak in jih poleg linij žičnih žerjavov uvrščamo med sekundarne prometnice. Ko govorimo o obremenitvi vlak s prometom, Košir (2002a) pravi, da negrajene traktorske vlake lahko delimo na glavne in stranske, poleg tega pa še na sečne vlake. Ker stroka še ni dokončno oblikovala skupnega termina za vlako po kateri se gibljeta tako polpričar kot stroj za sečnjo, bomo v nadaljevanju dela govorili kar o sečnospravilnih poteh.

Vse te vlake niso nič drugega kot le označen sistem smeri predvidene sečnje ter spravila po naravnih tleh v gozdu. Ker naravna tla niso namenjena temu, prihaja do vplivov, ki imajo lahko resne negativne posledice za gozdni ekosistem.

Pri tem kot navajajo Carter, Rummer in Stokes (1997), prihaja do motenj zaradi premeščanja zemeljskega materiala in lesnih ostankov na površju ter do sprememb lastnosti tal v površinskih in podpovršinskih talnih horizontih. Na tip in intenziteto motenj vpliva več faktorjev kot so talni tip, parametri stroja ter sečnji sistem. Ocena motenj zaradi delovanja teh strojev je bistvenega pomena pri tveganju zaradi erozije, možnosti manjše produkcijske sposobnosti rastišč ter izgube estetske vrednosti. Te motnje tal so večinoma

povezane z zbitostjo tal, manjšo infiltracijo in zračnostjo tal ter z večjo erozijsko občutljivostjo tal na strmejših terenih.



Slika 2: Sečna vlaka (foto: Košir B.)

Saarilahti (2002) navaja, da se tveganje zaradi talne erozije povečuje:

- z drugo potenco naklona v odstotkih,
- kot funkcija dolžine naklona terena,
- kot funkcija talnega faktorja erodibilnosti, ki je večinoma odvisen od finih talnih delcev,
- z deležem odkrite (gole) površine tal,
- z energijo dežja, kondenziranjem in časom.

Uporaba težkih strojev za sečnjo pri redčenjih včasih pusti posledice, ki se kažejo kot poškodbe na deblu in koreninah, zbitost tal, poglobljeni kolovozi ter premeščanje hranil na določenem rastišču (McNeel in Ballard, 1992, cit. po Seixas in McDonald, 1997).

3.3.2 Poškodbe gozdnih tal kot posledica prometa

Šušnjar (2005) navaja, da poškodbe gozdnih tal pri prehodu vozila lahko delimo na 3 sestavine:

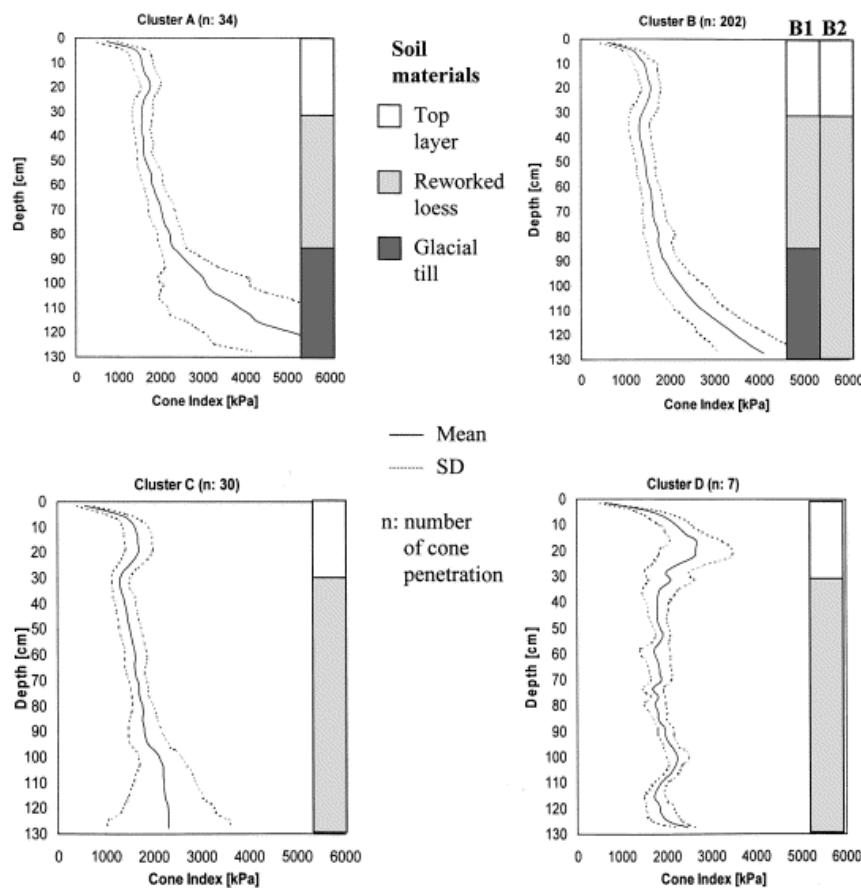
- zbijanje tal,
- nastanek kolesnic,
- premeščanje tal.

Podobno navaja Froehlich že leta 1989. Isti avtor pravi tudi, da te sestavine lahko delujejo na gozdna tla ločeno ali skupaj, odvisno od talnih pogojev in lastnosti stroja.

Soane in sod. (1981, cit. po Richard in sod., 1999) ter Horn (1988, cit. po Richard in sod., 1999) navajajo, da je bila zbitost tal intenzivno proučevana v laboratorijih kot funkcija lastnosti tal (tekstura, vlažnost ter specifična gostota tal) ter povzročenega tlaka zaradi različnih tipov strojev, pri čemer je pomembna teža bremena, tlak v pnevmatikah ter geometrija pnevmatik.

Richard in sod. (1999) so v raziskavi zbitosti tal ugotovili, da stopnja zbitosti kot posledica prometa narašča z vlažnostjo tal, pada s strukturno poroznostjo in je odvisna od uporabljenega stroja (breme in širina gum).

Z zbijanjem tal se povečuje gostota tal. Hkrati se zmanjšujeta poroznost in prostornina med strukturnimi agregati, odnosno pa se s tem manjša tudi propustnost tal za vodo.



Slika 3: Krivulje indeksa CI v odvisnosti od globine (vir: Grunwald in sod., 2001)

Krivulje indeksa CI (Slika 3) nam prikazujejo, kako se spreminja zbitost tal z globino. Polna črta je povprečje n meritev pri posamezni skupini (A, B, C in D), črtkana črta pa njegov standardni odklon. Kot lahko opazimo, zbitost tal do globine okoli 10 cm narašča skoraj linearno, doseže največjo vrednost na globini okoli 20 cm ter se zatem zmanjša. Pri tem moramo vedeti, da ponovno povečanje indeksa CI v večji globini ni posledica zbitosti tal zaradi vožnje stroja, temveč posledica odpornejših notranjih podlag.

Povečanje gostote tal kot rezultat zbitosti tal je največja blizu površine tal, zbitost tal pa je manjša pod globino tal okoli 20 cm (Craul, 1975, cit. po King in Haines, 1979). Povečanje gostote tal vpliva tudi na koreninski sestav rastlin, saj zmanjšanje por in vlage v tleh vodi do nedostopnosti hranil, ki je glavni vzrok zmanjšanja rasti rastlin (Šušnjar, 2005).

Wasterlund (2003, cit. po Šušnjar, 2005) navaja, da zbijanje gozdnih tal lahko povzroči zmanjšanje rasti rastlin celo do 50 % na plitvih siromašnih tleh.

Zaradi zbijanja tal nastanejo tudi kolesnice oz. kolovoz. Ko obtežba oz. pritisk stroja na tla doseže vrednost nosilnosti tal, pride do deformacije površine tal. Pri tem se poveča volumen zbitih tal, ob straneh koles vozila pa se nakopiči odvečen material, ki mu pravimo narikek.

Saarilahti (2002) šteje za kolovoz neelastični vdrtiny, ki sta več kot 100 mm globoki in 0,5 m dolgi. Prav tako navaja oceno po priporočilih Gozdarskega razvojnega centra v Tapiu (Finska), da je delo na terenu še sprejemljivo, če povprečna globina kolovozov ne presega 0,1 m na več kot 10 % skupne dolžine vlak na določenem delovišču.

O premeščanju tal govorimo, ko se zaradi vožnje stroja na gozdnih tleh fizično odrine površinska plast tal.

Poškodbe tal so poleg samih lastnosti tal odvisne seveda tudi od lastnosti strojev. Tako navajajo avtorji (Lenhard, 1986; Guo in Karr 1989; Greene in Stuart, 1985 ter Meek in ostali, 1992, cit. po Carter, Rummer in Stokes, 1997), da različni parametri stroja kot so masa stroja, tlak v pnevmatikah, skupna obtežba stroja z bremenom in število prehodov vplivajo na spremembe v fizikalnih lastnostih tal.

Bygden, Eliassson in Wästerlund (2004) navajajo, da lahko s širšimi in mehkjejšimi (z manj tlaka) pnevmatikami ali z gosenicami na vozilu zmanjšamo globino kolovoza do 40 %. Enako lahko zaradi tega zmanjšamo indeks zbitosti tal CI na mestu kolesnic za okoli 10 %, čeprav gosenice povečajo maso stroja za 10-12 %.

Stopnja zbitosti tal je največja na mestu z največ prehodi. Največje povečanje v navidezni gostoti tal naj bi bilo po prvih 4 prehodih stroja (Weaver in Jamison, 1951, cit. po King in Haines, 1979)

3.3.3 Metode merjenj poškodb tal

Šušnjar (2005) navaja, da za merjenje poškodb tal, ki nastanejo zaradi gibanja nekega stroja po brezpotju v gozdu, ne obstajajo neke standardizirane metode meritev, temveč se v literaturi opisuje merjenje širine kolovoza, globine kolesnic ali površine preseka poškodovanega (voženega) profila tal.

Podobno metodo ugotavljanja poškodovanosti tal navajata Košir in Robek (2000), kjer so vlako razdelili na odseke. Te so najprej razčlenili na petmetrske pododseke, na katerih so merili:

- širino pododseka v dm,
- širino vmesnega prostora med kolesnicama v dm ter
- največjo globino kolesnice v cm.

Saarilahti (2002) priporoča, da se za merjenje globine kolesnic postavi sistematični vzorec na podlagi kvadratne mreže. Gostota te mreže je odvisna od želene intenzitete meritev. Na terenu se določi t.i. točka nič, ki predstavlja vozel položene zamišljene mreže. Izmera se naredi na kolovozu, ki je najbližji temu vozlu. Od točke nič se zatem vzdolž vlake na levo in desno stran na dolžini 15 m izmeri globino poškodovanih tal. Globina kolovoza je razdeljena na 2 razreda, in sicer sprejemljiva (pod 10 cm) in nesprejemljiva (nad 10 cm).

4 MATERIAL IN METODE

4.1 OPIS RAZISKOVALNEGA OBJEKTA

4.1.1 Raziskovalni objekt v GE Mirna gora

Raziskovalni objekt zavzema oddelek 3 v gozdnogospodarski enoti Mirna gora, ki je del novomeškega gozdnogospodarskega območja. Enota obsega 3860 ha površine gozdov in predstavlja JV del roškega masiva. Ta se proti jugu in jugovzhodu spušča proti belokranjski nižini. Na severnem delu gre za tipični visoki kras, kjer z najvišjim vrhom 1055 m nmv. vlada Mirna gora.

Na tem območju letno pade okoli 1400 mm padavin leto. Največ padavin je v juniju in oktobru. Gre večinoma za planotast kraški teren s plitvimi vrtačami in grebeni, kjer bolj poredko srečamo kako mlako ali studenec. Južni in severni del enote se zelo razlikujeta tako po tipu tal kot tudi po vegetaciji. Tla v južnem delu enote, ki so se na apnenčasti matični podlagi razvila, so rjava pokarbonatna, na severnem delu enote prevladujejo triadni in jurski dolomiti, na katerih najdemo različne rendzine. Vegetacija, ki naseljuje južni del enote, so predgorski bukovi gozdovi na rastišču združbe *Hacquetio-Fagetum*, na severnem delu pa prevladujejo jelovo bukovi gozdovi na rastišču *Abieti-Fagetum omphalodetosum*.

4.1.1.1 Preteklo gospodarjenje z gozdovi

Velik del sestojev na severnem delu je spremenjenih zaradi močnih sečenj pred in po drugi svetovni vojni ter zaradi obnov s sadnjo smrek na velikih površinah.

Današnja slika sestojev, kjer se nahaja raziskovalni objekt, je posledica nekdanjega gospodarjenja z gozdovi v tem prostoru. Tu je v času po prvi svetovni vojni z gozdovi gospodaril grof Auersperg. Zaradi takratne agrarne reforme je izgubil večji del svojih gozdov, a kljub temu na podlagi koncesijskega razmerja s kraljevino SHS nadaljeval z gospodarjenjem. Auersperg je trgoval z družbo Jugoles iz Črnomlja, ki je od njega na panju kupovala les.

Družba je kasneje leta 1929 zgradila gozdno železnico, da bi lažje pridobivala les iz gozda. Ker je takrat bolj ali manj vladal ekonomski interes, so posekali le debelejši in vrednejši les. Leta 1936 je družba progo demontirala zaradi spora z grofom. V sedmih letih naj bi po tej železnici izvozili okoli 340.000 m³ lesa.

Nekaj površin, ki so jih posekali na golo je Auersperg pogozdil s sadnjo smreke, kar je opazno še danes. Preostale površine so bile prepuščene naravnemu razvoju. Omeniti velja še to, da današnja gozdna cesta teče po nekdanji trasi gozdne železnice, do katere so včasih vlačili les izključno s konji.

4.1.1.2 Današnja slika sestojev

Danes na tem območju, kjer je oddelek 3, prevladujejo tanjši debeljaki bukve s smreko in gorskim javorjem. Nekaj površin pokrivajo drogovnjaki smreke, kateri je primešana bukev in gorski javor, ostalo so drogovnjaki bukve s primesjo gorskega javorja. V vrtačah, kjer so tla globlja in je več hranil, najdemo lepe debeljake smreke s manjšo primesjo bukve in gorskega javorja. Med temi drevesnimi vrstami najdemo tudi brest, ki pa je slabše kakovosti, saj je pod močnim vplivom lupljenja jelenjadi. V drevesni sestavi je nekaj malega tudi jelke in velikega jesena.

Zaradi slabih spravilnih razmer so morali tu na novo trasirati kar okrog 8000 m vlak in sečnih poti, saj so bile prejšnje neprimerne in le ostanek ozkih padničnih konjskih vlak. Zaradi gradnje vlak in sečnih poti so morali posekatи okrog 650 m³ lesa.

4.1.2 Raziskovalni objekt v GE Radeče

Drugi raziskovalni objekt se nahaja v gozdnogospodarski enoti Radeče znotraj brežiške območne enote, natančneje na ozemlju revirja Jatna – Dole v oddelku 22. Tu gre za strnjen gozd na nadmorski višini od 680 m do 850 m, kjer najdemo na severnem delu bolj položen, na jugu in zahodu pa bolj strm teren z nagibom do 35 stopinj.



Slika 4: Raziskovalni objekt v oddelku 22 (foto: Mali B.)

Matična podlaga so laporji, ki od V proti Z prehajajo v dolomit, vmes najdemo tudi nekaj peščenjakov s primesjo kremena. Na laporjih so se razvila nekoliko globlja ilovnata kisla tla, medtem ko na dolomitu prevladujejo plitva močno skeletna izprana tla. Preskrba z vodo je dobra, še posebej v JZ delu, kjer je poudarjena hidrološka funkcija zaradi vodnega zajetja. Teren je ponekod zaradi slabe strukture tal izpostavljen erozijskim procesom.

V tem oddelku gre za gospodarski razred bukovih gozdov na kisli podlagi spremenjeni z iglavci, kjer prevladujeta združbi *Querco-Fagetum-var. Luzula* in na dolomitu *Enneaphyllo-Fagetum*.

4.1.2.1 Kratka zgodovina gospodarjenja z gozdovi

Območje revirja Jatne je nekoč pripadalo graščini Svibno (Scharfenberg). Jatna je bila kasneje v različnih rokah lastnikov. Leta 1902 jo je kupil ljubljanski bančnik Janez Hribar. Leta 1918 so jo od njega kupile Združene papirnice Vevče-Medvode-Goričane in od teh je potem prešla v last Antona Codellija. Končno leta 1946 je Jatna z nacionalizacijo postala splošno ljudsko premoženje.

Nekoč je na Jatni prevladovala le bukev. Velike sečnje leta 1905 so pomenile opustošenje za bukev. V približno 20 letih so vso bukev izsekali. Na posekane površine so od leta 1908

sadili smreko, da bi ustvarili čiste smrekove sestoje. Tu pa tam so posadili tudi macesen in rdeči bor. Gospodarjenje je pozneje prišlo v zaton, saj se za posajene površine lastniki niso več zanimali.

4.1.2.2 Stanje gozdov danes

Danes na Jatni v oddelku 22 prevladuje smreka s kar okrog 80 %. Tudi bukev raste še sestojno, medtem ko ostale drevesne vrste graden, gorski javor, črna jelša in ostale rastejo posamič. Prevladujejo pomlajenci in debeljaki, pri katerih je glavni problem slaba stabilnost. V vrzelih gozdna tla močno prerašča zeliščni sloj, predvsem robida, praprot in borovnica. Pomlajevanje poleg zeliščnega sloja ovira tudi redno in močno objedanje divjadi.

4.2 METODE DELA

V raziskavi smo preizkusili metodo ugotavljanja poškodb tal po strojni sečnji ter spravilu lesa z zgibnim polpričarjem. Delo je temeljilo na terenskem snemanju podatkov poškodb tal, kjer smo septembra 2005 opravili meritve. Na raziskovalnem objektu v GE Mirna gora smo oddelek 3 razdelili na 4 homogene enote-stratume, ki hkrati predstavljajo sečnospravilno enoto. V stratumu II in III smo pred sečnjo in spravilom sistematično postavili prečne profile. Na njih smo izmerili konusni indeks, ki je zelo dober pokazatelj nosilnosti tal, reliefne lastnosti tal ter različne naklone. Enake podatke smo posneli tudi po opravljeni sečnji in spravilu ter ocenili še delež in količino sečnih ostankov na profilih.

Oktobra 2005 smo na raziskovalnem objektu v GE Radeče v oddelku 22 po strojni sečnji in spravilu na enak način posneli profile na treh vlakah in izmerili nosilnost tal. Tu predhodno nismo posneli reliefsa terena na profilih.

4.2.1 Snemanje na raziskovalnem objektu v GE Mirna gora

4.2.1.1 Snemanje profilov in načrt poskusa v stratumu III

V stratumu III je izvajalec Gozdno gospodarstvo Bled opravil sečnjo s strojem za sečnjo Timberjack 1270D (Slika 5) in spravilo lesa z zgibnim polpričarjem Timberjack 1010D

(Slika 6). Prvotno smo imeli v načrtu poskusa, da bi posneli poškodbe tal (spremembe) po vsakem oz. po n številu prehodov strojev po naravnih tleh. Ker vemo, da je zadrževanje v delovnem območju stroja nevarno in ker je za tako snemanje potrebno večje število ljudi, smo se odločili, da posnamemo profile samo pred in po sečnji ter spravilu.

Preglednica 1: Osnovni podatki (dimenzije) stroja za sečnjo Timberjack 1270D

Dolžina	7400 mm
Širina z 600 gume	2740 mm
Višina	3700 mm
Doseg roke	10 – 11,8 m
Teža	17000 kg
Klirens	625 mm



Slika 5: Stroj za sečnjo pri delu (foto: Košir B.)

Oba stroja sta imela verige, ki na prednjih kolesih stroja za sečnjo in zadnjih kolesih polpričičarja zelo spominjajo na gosenice. Z verigami ima stroj boljši oprijem na tla, s čimer so onemogočeni večji zdrski, zaradi njih pa se zmanjša tudi pritisk na tla.

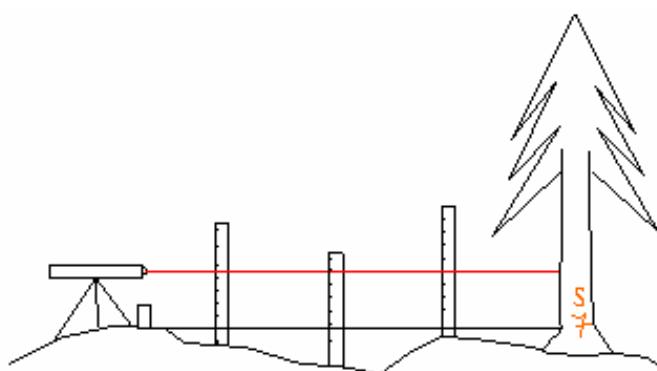


Slika 6: Zgibni polprikoličar med razkladanjem bremena na pomožnem skladišču (foto: Košir B.)

Preglednica 2: Osnovni podatki zgibnega polprikoličarja Timberjack 1010D

Dolžina	9050 mm
Širina z 600 gume	2700 mm
Višina	3700 mm
Doseg roke	10 m
Teža	12700 kg – 13700 kg
Nosilnost	11000 kg
Klirens	605 mm

Tako smo v tem stratumu na poskusni površini sistematično na razdalji 10 metrov postavili 114 prečnih profilov. Najprej smo izdelali karto zastavljenih poskusnih površin z načrtovanimi in nenačrtovanimi sekundarnimi prometnicami. V stratumu III so bile to večinoma sečnospravilne poti. Nato smo v grobem prehodili stratum in si ogledali označene sečnospravilne poti ter odkazana drevesa. Ko smo dobili predstavo o tem kako so poti razporejene, smo pričeli s snemanjem.



Slika 7: Snemanje terena

Določili smo naključno številko in za to število korakov od gozdne ceste odšli do prvega profila. Za snemanje profila smo uporabili vodno tehtnico z laserjem, lato s centimetrsko skalo, trasirko ter sekaški meter. Vodno tehtnico, ki je bila na stojalu smo usmerili pravokotno na pot ter vklopili laser. Pod laser smo desno v smeri spravila zabilo količek ter nanj napisali zaporedno številko profila. Na količek smo zataknili sekaški meter in ga vzporedno z laserskim žarkom potegnili pravokotno na pot do drevesa, ki ni bilo odkazano. Tudi nanj smo napisali zaporedno številko profila ter izmerili razdaljo do drevesa. To smo naredili zaradi varnosti. Ker smo te profile postavili na predvideni sečni vlaki, smo vedeli, da bodo določeni količki povoženi, zasuti ali izgubljeni. Z oznako na drevesu in količku ter izmerjeno razdaljo smo določili profil, ki tako ni bil izgubljen. Najprej smo lato postavili tja, kjer smo menili, da stroj za sečnjo ne bo peljal. To so bila t.i. »naravna tla«. Tu smo nato naredili prvo izmero. Na metru smo odčitali horizontalno razdaljo na 10 cm natančno, na lato pa smo usmerili laser in odčitali vertikalno razdaljo na 1cm natančno. Vse naslednje odčitke na horizontalni razdalji smo izmerili sistematično po 50 cm vse do drevesa. Izmere smo zabeležili na popisni list, ki je priložen (priloga C). Tako smo dobili prečni presek profila. Na ta način smo posneli vse profile in jih vrisali v karto.

4.2.1.2 Meritve nosilnosti tal

Za izmero nosilnosti tal smo uporabili penetrometer znamke Dickey John (slika 8).



Slika 8: Ročni iglični penetrometer s številčnico Dickey John.



Slika 9: Številčnica penetrometra

Uporabili smo ožjo konico, saj gre tu za plitva tla z veliko grebeni, le ponekod v vrtačah so tla bolj globlja. Penetrometer ima dve ročici, na kateri se upremo in s čim bolj enakomerno silo pritisnemo v tla. Sila se v odvisnosti od zbitosti tal prenese preko konice in palice do meritne naprave, kjer sta 2 skali. Notranja skala velja za ožjo konico in zunanja za širšo konico. Skala je razdeljena na 3 polja (slika 9).

Prvo je zeleno polje, ki je omejeno z vrednostjo od 0 do 200 psi (1 pounds per square inch = 6,8948 kPa), drugo je rumeno polje, ki zavzema vrednosti od 200 do 300 psi ter rdeče polje, ki zavzema vrednosti nad 300 psi. Rdeče polje pomeni dobro nosilna tla oz. zelo zbita tla. Če smo izmerili vrednost konusnega indeksa, ki je bila v rdečem polju, smo zapisali vrednost 310 psi.

Ko smo posneli profil, smo se lotili merjenja nosilnosti tal oz. začeli smo s »penetrometrijo« tal. Odčitali smo vrednost konusnega indeksa na globini tal 20 cm. Pri prvem snemanju smo izmerili nosilnost tal na 3 mestih. Prvo mesto so bila naravna tla v neposredni bližini količka, drugo je bilo na sredini poti ter tretje mesto so bila naravna tla na drugi strani poti. Če konica ni lepo »prebodla« tal, smo na tem mestu naredili 3 izmere in na popisne liste zabeležili srednjo vrednost. Na nekaterih mestih, kjer je bilo očitno, da gre npr. za humus, kamenje ipd. smo zabeležili opombo.

4.2.1.3 Meritve naklonov

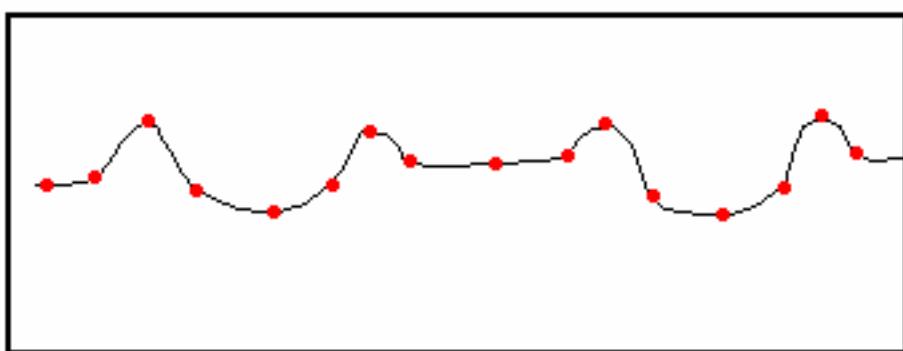
Na vsakem prečnem profilu sečnospravilne poti smo izmerili tudi sledeče naklone terena:

- naklon terena v smeri spravila,
- naklon terena v smeri gozda,
- naklon terena desno in levo od označenega prečnega profila ter
- bočni naklon sečnospravilne poti, ki je bil merjen v smeri od količka proti drevesu.

Te naklone smo merili s padomerom znamke Suunto v navedenih smereh na razdalji 5 m. Določili smo vertikalno razliko od tal do oči ter na tej razdalji vizirali na isto vertikalno višino. Na padomeru smo nato v odstotkih odčitali vrednost. Naklone terena smo izmerili, da bi analizirali vpliv konfiguracije terena na nosilnost tal.

4.2.1.4 Snemanje poškodovanosti tal

Po končani strojni sečnji in spravilu smo konec oktobra odšli na drugo snemanje profilov. S pomočjo karte in popisnih listov smo našli iste prečne profile. Nekaterih količkov kot smo že prej predvidevali nismo našli, večino pa. Tokrat nismo snemali prečnega profila sistematično po 50 cm, temveč smo opravili izmero karakterističnih točk na profilu. Te karakteristične točke so bile gledano od leve proti desni (slika 10): naravna tla, začetek grebena leve kolesnice, vrh grebena, konec grebena leve kolesnice, začetek ugreznine leve kolesnice, največja globina leve kolesnice itn., kot je razvidno iz popisnega lista v prilogi C. Zopet smo potegnili sekaški meter in na enak način kot pri prvem snemanju profila izmerili horizontalno in vertikalno razdaljo teh točk.



Slika 10: Karakteristične točke prečnega profila

Ponovno smo izmerili nosilnost tal. To smo izmerili na obeh kolesnicah ter na sredini sečnospravilne poti. Poleg izmere nosilnosti tal smo tokrat ocenili še delež in količino sečnih ostankov na poti. Delež ostankov smo ocenili na ploskvi, ki se je raztezala po dolžini 5 m v smer spravila in 5 m v smer gozda ter bila široka toliko kot je bil širok sam prečni profil. Količino sečnih ostankov smo ocenili kot debelino odeje ostankov v cm, ki bi se glede na delež razprostiral po tej ploskvi.

Po drugem snemanju smo ugotovili, da je na poskusni površini v tem stratumu izpadlo 28 prečnih profilov.

4.2.2 Snemanje profilov in načrt poskusa v stratumu II

V stratumu II je bila opravljena sečnja na klasičen način z motornimi žagami ter spravilo lesa s traktorjem John Deere 4045TL272 (slika 11). Tu seveda ni bilo sečnospravilnih poti, temveč so bile vse sekundarne prometnice grajene. Ker je nas zanimalo bolj kakšne bodo poškodbe tal na naravnih tleh po strojni sečnji, smo tu postavili le 19 profilov na razdalji 50 m.



Slika 11: Traktor med spravilom (foto: Košir B.)

Preglednica 3: Osnovni podatki traktorja John Deere 4045TL272

Dolžina	5150 mm
Širina	2150 mm
Višina	2700 mm
Teža (z vso nadgradnjijo in brez verig)	5880 kg
Klirens	350 mm

Podobno kot v stratumu III smo tudi tukaj najprej posneti profile pred sečnjo in spravilom. Pri prvem snemanju smo prav tako izmerili nosilnost naravnih tal na obeh straneh profila, ne pa tudi nosilnosti tal na sredini prometnice. Slednje smo izmerili pri drugem snemanju ter nosilnost tal na kolesnicah. Izmerili smo tudi naklone v vseh štirih smereh.

Pri drugem snemanju na tej poskusni ploskvi smo profilom izmerili koordinate karakterističnih točk. Poleg nosilnosti naravnih tal na obeh straneh profila, smo tokrat izmerili še nosilnost tal na obeh kolesnicah in na sredini prometnice. Po končanem snemanju smo ugotovili, da so tukaj izpadli 4 profili. Teh profilov ni bilo možno še enkrat posneti, saj so bili količki, ki so označevali te profile zasuti. Odstranjena so bila tudi tista drevesa do katerih smo izmerili razdaljo od količka ter na njih napisali številko profila. Ta drevesa so odstranili, ker so na teh štirih mestih morali vlako širiti.

4.2.3 Snemanje na raziskovalnem objektu v GE Radeče

Tudi na tem objektu je bila opravljena strojna sečnja. Za sečnjo so uporabili težki gosenični stroj za sečnjo znamke Konigstiger, za spravilo lesa pa zgibni polpričičar Timberjack 1410D. Na tej poskusni površini smo posneti 41 prečnih profilov. Meritve smo izvedli po opravljeni sečnji in spravilu. Tu smo merili karakteristične točke prečnega profila kot na raziskovalnem objektu v GE Mirna gora. Meritve terena pred sečnjo in spravilom nismo izvedli. Izmerili smo nosilnost naravnih tal, nosilnost tal na mestu kolesnic ter na sredini vlake. Zatem smo ocenili še količino in delež sečnih ostankov.

Preglednica 4: Osnovni podatki stroja za sečnjo Konigstiger

Dolžina (iztegnjena roka)	15000 mm
Širina	3000 mm
Višina	3360 mm
Teža	28000 kg
Klirens	600 mm

Preglednica 5: Osnovni podatki zgibnega polprikoličarja Timberjack 1410D

Dolžina	10500 mm
Širina	3070 mm
Višina	3800 mm
Teža	15000 kg

4.2.4 Obdelava in analiza pridobljenih podatkov

Vse podatke in rezultate smo obdelali oz. pridobili s programskim paketom Excel ter SPSS. Višino stojala pri vodni tehnični smo morali ves čas prilagajati terenu, da je žarek lahko dosegel lato na celi horizontalni razdalji. Nekje so bila naravna tla nižja od začetka profila, zato smo morali tam stojalo zvišati. Za višja naravna tla je veljalo obratno. Tako smo morali vse izmere za vertikalno razdaljo poenotiti na isto višino. Razlike med vertikalnimi izmerami so ostale enake. Ker smo na terenu izmerili vertikalno razdaljo kot vrednost na lati in ne kot npr. nadmorsko višino na tleh, smo tako dobili inverzno krivuljo terena. Vrednost na lati, ki je bila višja kot njena sosedna, je imela pravzaprav nižjo nadmorsko višino. Zato smo morali tudi to popraviti, da smo končno lahko pravilno primerjali profil s prvega in drugega snemanja.

4.2.5 Analiza nosilnosti tal

Predenj smo naredili celovito bazo podatkov, smo najprej izračunali nosilnost naravnih tal ter nosilnost tal na treh mestih vmes. To so bile izmere konusnega indeksa na obeh kolesnicah in na sredini vlake. Vrednosti tega indeksa niso povsem ekvivalentne vrednostim nosilnosti tal, a so z njo v tesni korelaciji. Za vsak profil smo izračunali aritmetično sredino iz vrednosti konusnega indeksa za naravna tla ter iz treh vrednosti na omenjenih mestih vmes. Aritmetične sredine iz vrednosti konusnega indeksa smo izračunali za prvo kot tudi

za drugo snemanje. Vsa povprečja iz teh vrednosti, ki so bila v enotah psi, smo preračunali v kPa.

4.2.6 Analiza poškodovanosti tal

Kakšna je bila poškodovanost tal po sečnji in spravilu nam dobro povesta koeficiente k_1 in k_2 . Koeficient k_1 (3) je kvocient med površino prečnega preseka profila iz prvega snemanja (P_1) in površino prečnega preseka profila iz drugega snemanja (P_2). Najprej smo morali torej izračunati površine vseh profilov. Te smo izračunali po formuli na podlagi razlik na abscisi oz. ordinati.

Formula za izračun površine prečnega preseka profila se glasi:

$$P = (x_2 - x_1) \cdot (\min(y_2, y_1) + (abs(y_2 - y_1)/2)) \quad \dots(2)$$

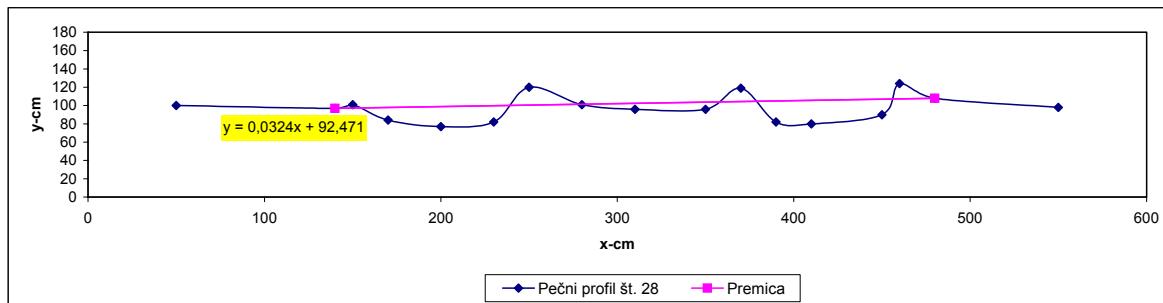
Koeficient k_1 nam torej pove ali je površina P_1 večja kot P_2 ali pa manjša. Če je koeficient k_1 večji od 1, potem je površina prvega prečnega preseka večja kot druga, sicer velja obratno. Koeficient k_2 (4) je kvocient med razliko površin P_1 in P_2 ter površino P_1 . Pove nam kakšen delež površine P_1 je bil poškodovan oz. spremenjen. Lahko ga imenujemo kar koeficient poškodovanosti tal. Če je koeficient k_2 pozitiven, potem velja, da je bil ta delež s prvotnih tal odvzet. V primeru, da je koeficient k_2 negativen, pa pomeni, da so bila tla narinjena. Formuli za koeficient k_1 in k_2 sta:

$$k_1 = \frac{P_1}{P_2} \quad \dots(3)$$

$$k_2 = \frac{(P_1 - P_2)}{P_1} \quad \dots(4)$$

4.2.7 Analiza globine kolesnic

Analizo globine kolesnic smo opravili za prečne profile na raziskovalnem objektu v GE Radeče, saj tu nismo imeli podatka o prečnem profilu terena pred sečnjo in spravilom. Zato smo izmerjenim prečnim profilom dodali premico, ki povezuje začetek grebena na eni strani vlake in konec grebena kolesnice na drugi strani vlake (slika 12).



Slika 12: Prečni profil vlake s premico

Naklon premice k (5) smo izračunali po matematični formuli na osnovi koordinat začetka in konca grebena kolesnice. Element n smo izračunali iz znane enačbe premice (6).

$$k = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \quad \dots (5)$$

$$n = y - k * x \quad \dots (6)$$

Iz teh dveh elementov smo dobili enačbo premice, v katero smo vstavili horizontalne razdalje obeh kolesnic pri največji globini. Tako smo dobili koordinate, od katerih smo odšteli koordinate največjih globin in na ta način globini obeh kolesnic. Globino kolovoza smo podali kot povprečje globine obeh kolesnic.

5 REZULTATI

5.1 RAZISKOVALNI OBJEKT V GE MIRNA GORA

5.1.1 Analiza vplivnih dejavnikov v stratumu III

5.1.1.1 Konusni indeks v odvisnosti od vrste tal po strojni sečnji in spravilu

Preglednica 6: Analiza variance za vpliv vrste tal na konusni indeks (CI)

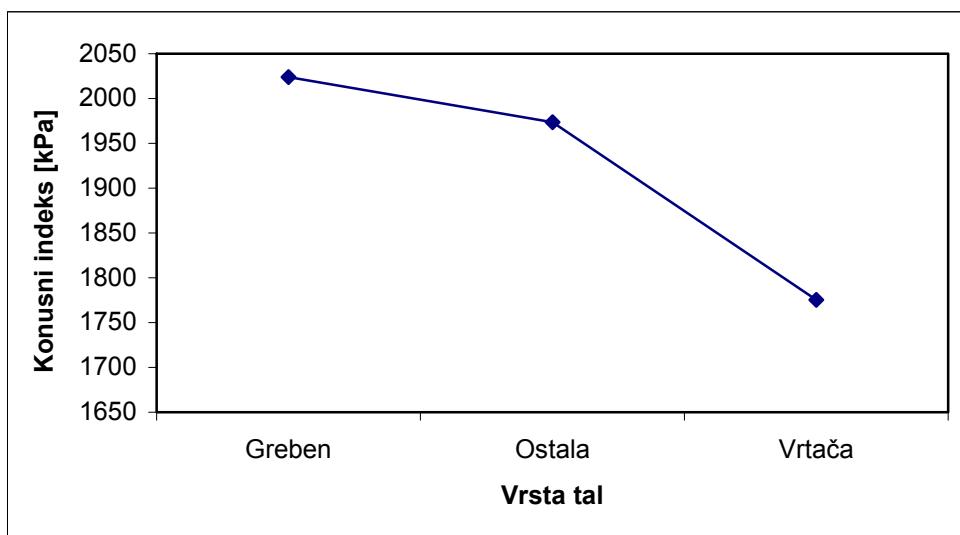
Konusni indeks

Vir variabilnosti	SS	df	MS	F	Sig.
Med tlemi	0,130	2	0,06490	5,965	0,004
Znotraj tal	0,903	83	0,01088		
Skupaj	1,033	85			

N = 86

CI' = arcsin(CI/2500)

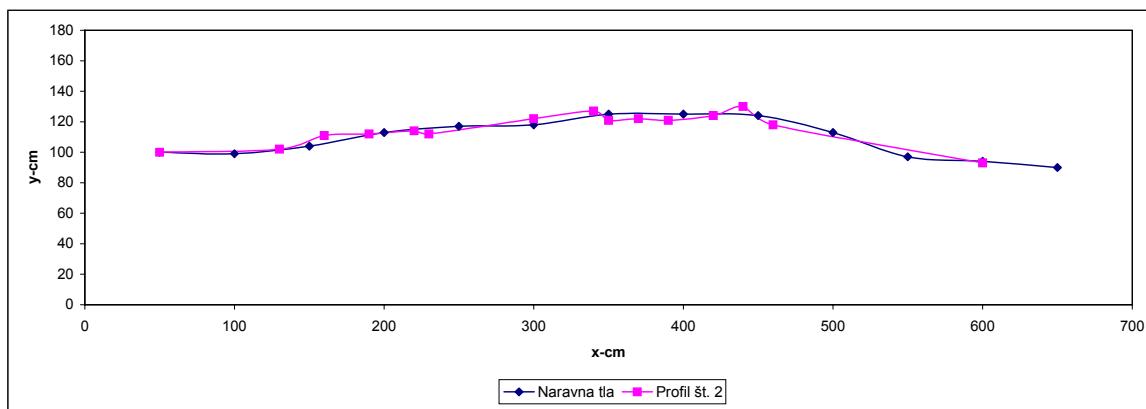
V stratumu III smo po opravljeni strojni sečnji in spravilu ugotovili, da je vpliv vrste tal na konusni indeks statistično značilen (preglednica 6).



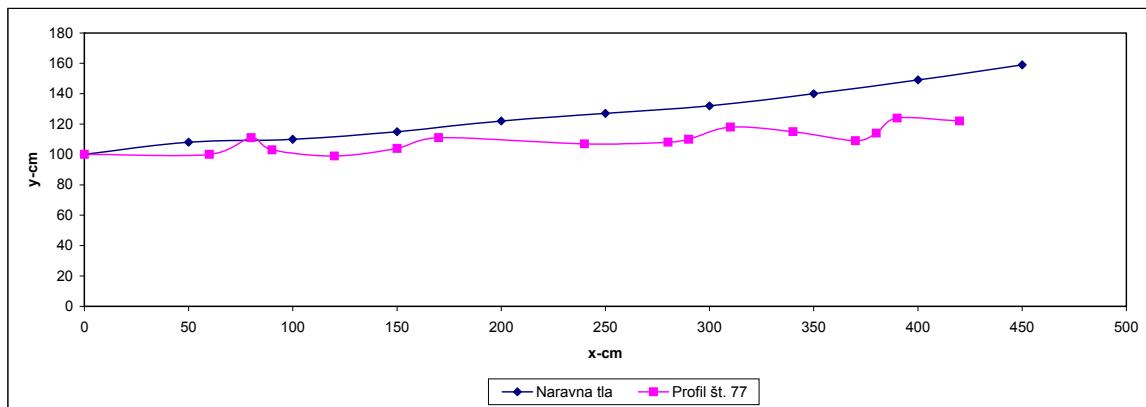
Slika 13: Povprečne vrednosti konusnega indeksa glede na vrsto tal

Pri tem smo uporabili transformacijo arcus sinus, da smo zadostili pogoju homogenosti varianc. Z analizo smo ugotovili, da obstajajo razlike v nosilnosti tal med vrtačo, grebenom in ostalimi tlemi. Največja nosilnost (zbitost) tal (slika 13) je na grebenu, najmanjša pa v vrtači. Vzrok je verjetno v globini tal. Na grebenu so tla ponavadi plitvejša kot drugod, medtem ko so v vrtači ponavadi tla mehkejša in globlja. Vendar globine tal nismo merili, zato to lahko samo domnevamo.

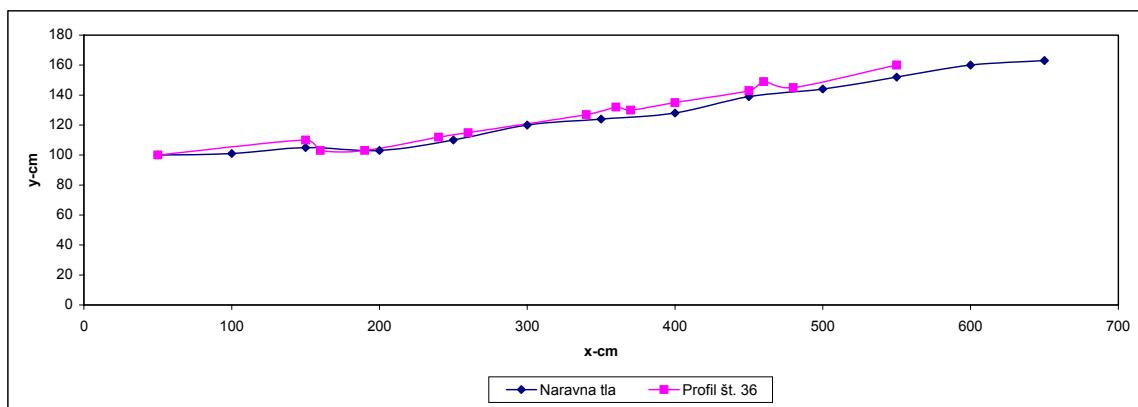
Oglejmo si profile na grebenu, v vrtači in na ostalih tleh.



Slika 14: Prečni profil št. 2 na grebenu

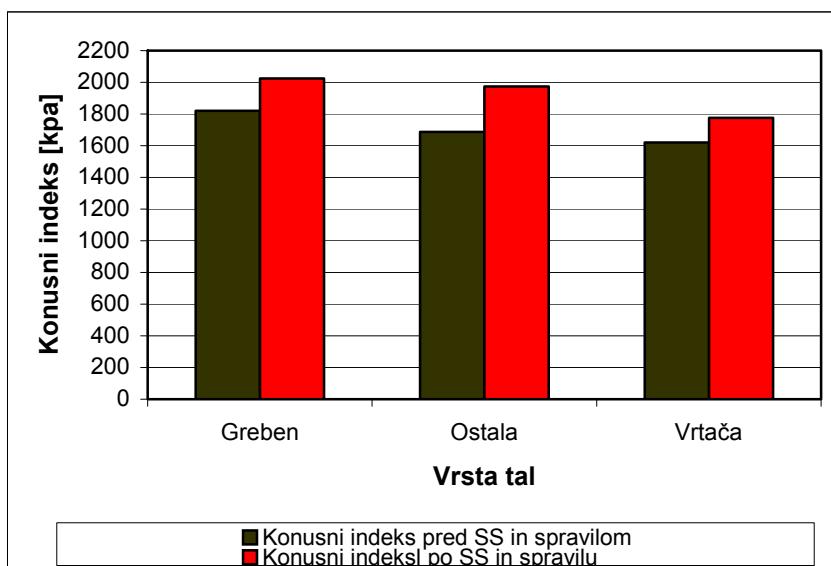


Slika 15: Prečni profil št. 77 v vrtači



Slika 16: Prečni profil št. 36 na ostalih tleh

Na prečnem profilu št. 77 (slika 15), ki je bil posnet v vrtači lahko lepo vidimo, da so vertikalne razlike med naravnimi tlemi ter prevoženim profilom večje v vrtači kot na grebenu in ostalih tleh.



Slika 17: Povprečne vrednosti konusnega indeksa pred in po strojni sečnji in spravilu

Na sliki 17 lahko vidimo, da so povprečne vrednosti konusnega indeksa po sečnji in spravilu poskočile na ostalih tleh (za 17 %) malce več kot v vrtači in na grebenu (za približno 10 %).

Preglednica 7: Primerjava povprečnih vrednosti konusnega indeksa pred in po SS in spravilu s Studentovim testom »t«

Primerjava para	Parne razlike Povprečje	Standardni odklon	Standardna napaka Povprečje	t	df	Sig.
KPA1 - KPA2	-246,23	482,05	51,98	4,737	85	0,000

N = 86

S tem testom lahko potrdimo, da so razlike med povprečnimi vrednostmi konusnega indeksa tal pred strojno sečnjo in spravilom ter po njem statistično značilne (preglednica 7).

5.1.1.2 Konusni indeks tal po strojni sečnji in spravilu v odvisnosti od smeri spravila

Ker pri analizi variance konusnega indeksa tal v odvisnosti od smeri spravila nismo niti s transformacijami zadostili pogoju homogenosti varianc, smo tu uporabili Kruskal Wallis test. To je neparametričen test, ki testira 2 ali več neodvisnih vzorcev (povprečja, minimume, maksimume, standardne odklone, kvartile, itd.) ali prihajajo iz iste populacije oz. ali so med vzorci razlike. Enako kot pri analizi variance mora biti tudi tukaj signifikantna raven nižja od 0,05, da lahko potrdimo razlike.

Preglednica 8: Kruskal Wallis test za vpliv smeri spravila na nosilnost tal

	Konusni indeks
Chi-Square	5,393
df	2
Asymp. Sig.	0,067

N = 86

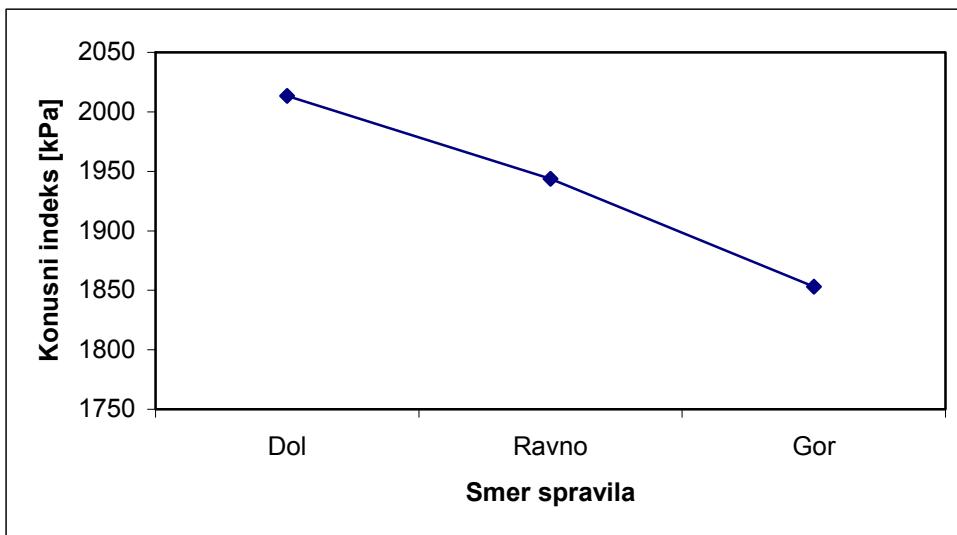
S testom smo odkrili, da vpliv smeri spravila statistično ni značilen (preglednica 8). Ker je bila vrednost p oz. α blizu 0,05, smo testirali še, ali so razlike, če vzamemo po dve smeri.

Preglednica 9: Kruskal Wallis test za nosilnost tal med smerjo spravila gor in dol

	Konusni indeks
Chi-Square	4,611
df	1
Asymp. Sig.	0,032

N = 79

S poskusom smo odkrili, da so razlike med smerjo spravila gor in dol statistično značilne (preglednica 9). Ko pa smo testirali ali so razlike med smerjo spravila gor in ravno tudi značilne, smo ugotovili, da niso.



Slika 18: Povprečne vrednosti konusnega indeksa glede na smer spravila

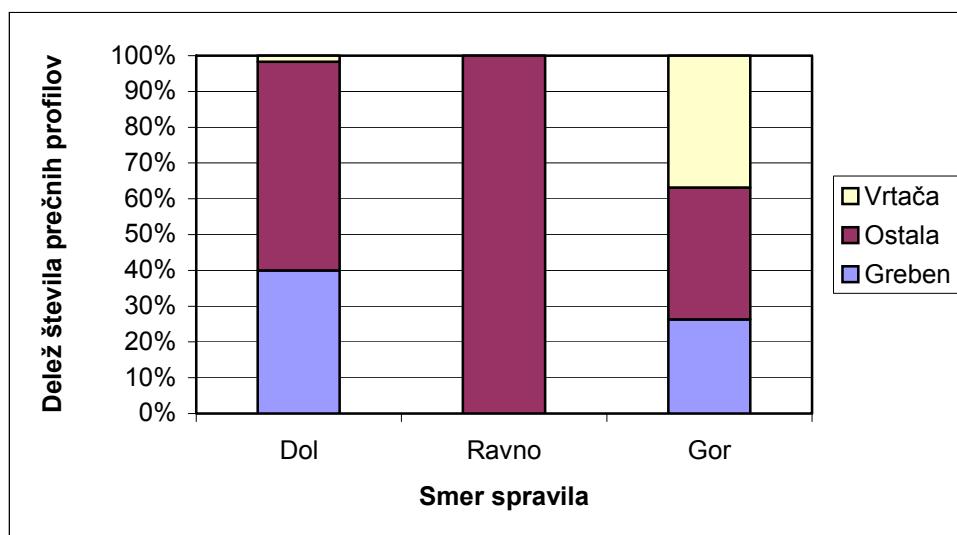
Povprečne vrednosti meritev kažejo, da je največja nosilnost tal v smeri spravila dol ter najmanjša v smeri spravila gor. To je sicer v nasprotju, kot smo pričakovali.

Preglednica 10: Dinamika vožnje traktorjev brez bremena na ravnih tleh ter na različnih naklonih – teža na zadnjo os (%) (vir: Košir s sod. 2005)

WOODY 110			AGT 835 T		
	Gor	Dol		Gor	Dol
Ravna tla	43	43	Ravna tla	36	36
Odsek na vlaki			Odsek na vlaki		
<20 %	54	40	<10 %	38	35
21 % - 30 %	56	37	11 % - 20 %	46	28
>30 %	61	32	>20 %	48	24

Kot navaja Košir s sod. (2005) je s preglednice 10 razvidno, da se teža na zadnjo os poveča, ko pelje prazen traktor po vlaki navzgor, medtem ko pada pri vožnji navzdol. Podobno se dogaja pri polni vožnji. S tem se poveča tudi pritisk na tla, odvisno od smeri spravila. Glede na to bi pričakovali, da bodo povprečne vrednosti konusnega indeksa po sečnji in spravilu v smeri spravila gor večje kot v smeri spravila dol.

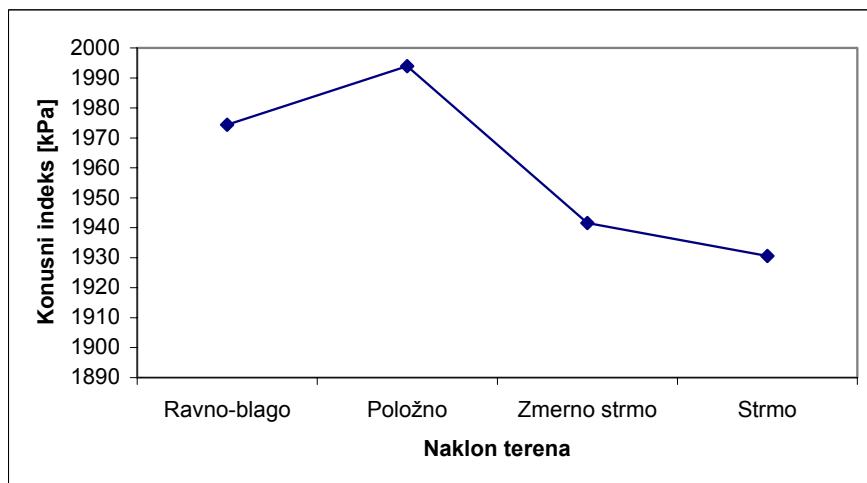
Zakaj smo z meritvami dobili ravno obratno sliko, je vprašanje. Najverjetnejše je glavni dejavnik vrsta tal. Če pogledamo sliko 19, je razvidno, da je večina profilov v smeri spravila dol na ostalih tleh in grebenu, medtem ko je kar 37% profilov v smeri spravila gor v vrtači. Poleg vrste tal razloge lahko iščemo tudi v razlikah v globini, vlažnosti in teksturi tal, a te so pravzaprav v korelaciji z vrsto tal.



Slika 19: Delež števila prečnih profilov glede na smer spravila in vrsto tal

5.1.1.3 Konusni indeks tal po sečnji in spravilu v odvisnosti od naklona terena

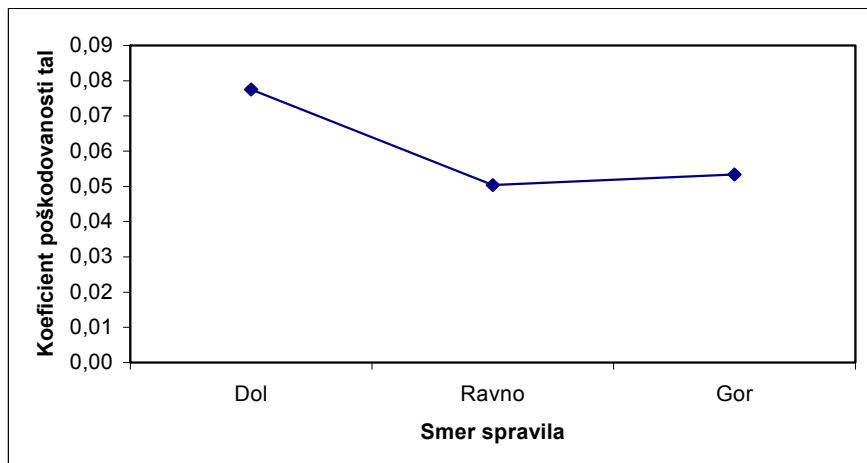
Na podlagi analize variance lahko zavrnemo hipotezo, da je vpliv naklona terena na konusni indeks statistično značilen.



Slika 20: Povprečne vrednosti konusnega indeksa glede na naklon terena

5.1.1.4 Koeficient poškodovanosti tal k_2 v odvisnosti od smeri spravila

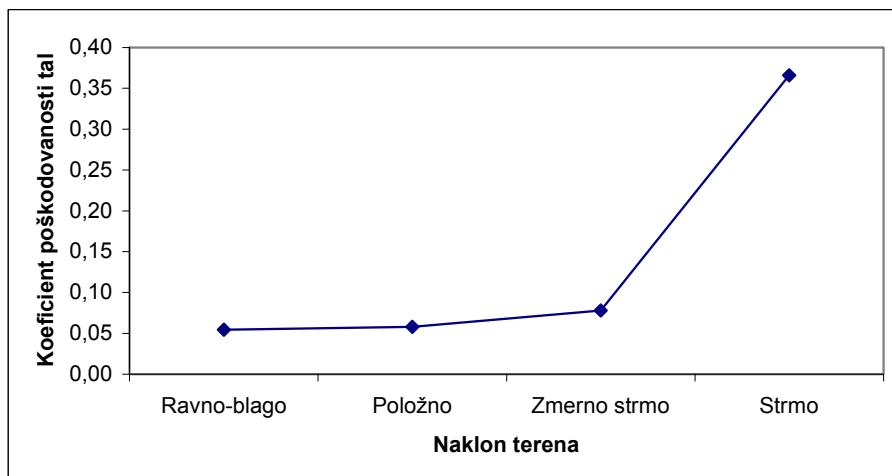
Enako kot vpliv vrste tal tudi vpliv smeri spravila na poškodovanost tal ni statistično značilen.



Slika 21: Povprečne vrednosti koeficiente poškodovanosti glede na smer spravila

5.1.1.5 Koeficient poškodovanosti tal k_2 v odvisnosti od naklona terena

Ker je signifikantna vrednost pri tej analizi manjša kot 0,05, lahko potrdimo, da je vpliv naklona terena na poškodovanost tal statistično značilen.



Slika 22: Povprečne vrednosti koeficiente poškodovanosti glede na naklon terena

Naklone terena smo razvrstili v 5 razredov kot jih prikazuje preglednica 9.

Preglednica 10: Nakloni terena (vir: Normativi gozdnih del. Ur.l. RS št. 11/99)

Ravno-blago	Do 10 %
Položno	11 – 20 %
Zmerno strmo	21 – 35 %
Strmo	36 – 50 %
Zelo strmo	Nad 50 %

Iz slike 22 je razvidno, da je povprečna vrednost koeficiente poškodovanosti tal v prvih treh razredih majhna, medtem ko v razredu strmo naglo naraste. Terenov strmejših od 50 % ni bilo.

Froelich in McNabb (1983, cit po Košir, 1997) navajata, da je tlak stroja, ki se premika po brezpotju odvisen od obremenitve stroja (naložen ali prazen) pa tudi od naklona terena v smeri polne vožnje.

Košir (1997) navaja, da traktorsko spravilo lesa obremenjuje gozdna tla s statičnimi (lastna teža traktorja in bremena) in dinamičnimi obremenitvami (strižne sile med verigami oz. rebri pnevmatike in tlemi, drsanje bremena ob tla, zaviranje in pospeševanje itd.).

Poleg velikosti bremena torej na dinamični tlak vpliva tudi naklon terena. Dinamični tlak pri polni vožnji se povečuje z naklonom terena. Na strmejših terenih lahko zaradi večjega tlaka pričakujemo večje poškodbe tal.

5.1.1.6 Konusni indeks tal in koeficient poškodovanosti tal k_2 v odvisnosti od ostalih neodvisnih spremenljivk

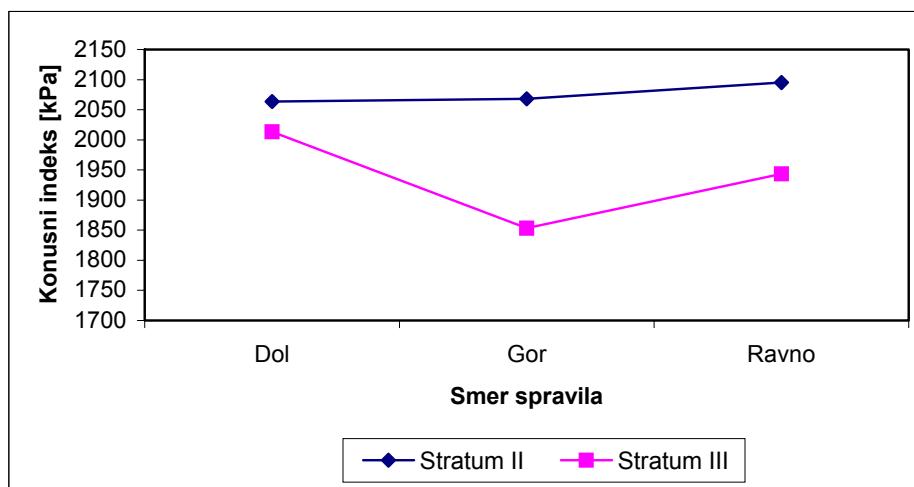
Z analizo variance in neparametričnimi testi smo ugotovili, da neodvisne spremenljivke kot so pokritost in količina sečnih ostankov na sečnospravilni poti, oddaljenost profila od gozdne ceste ter širina vlake, nimajo značilnega vpliva na poškodbe in konusni indeks.

5.1.2 Analiza vplivnih dejavnikov v stratumu II

5.1.2.1 Konusni indeks tal po spravilu lesa v odvisnosti od smeri spravila

S poskusom smo ugotovili, da je vpliv smeri spravila na konusni indeks tal statistično neznačilen.

Na sliki 23 lahko vidimo, da glede na smer spravila med povprečnimi vrednostmi konusnega indeksa tal ni večjih razlik. Ker so v tem stratumu vse sekundarne prometnice grajene, so povprečne vrednosti tega indeksa večje kot pa v stratumu III, kjer smo imeli naravna tla.



Slika 23: Povprečne vrednosti konusnega indeksa po spravilu glede na smer spravila

Preglednica 11 Primerjava konusnega indeksa po SS in spravilu med stratumoma II in III s Kruskal Wallis testom

	Konusni indeks
Chi-Square	8,214
df	1
Asymp. Sig.	0,004

N = 101

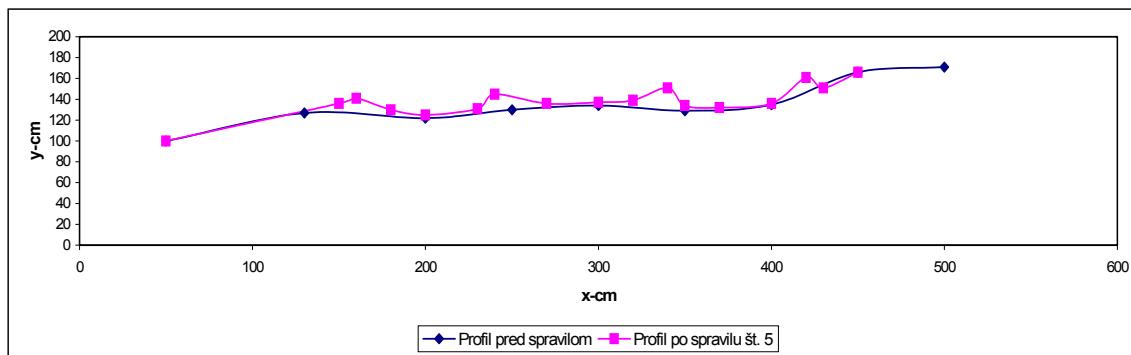
S testom smo odkrili, da so razlike v nosilnosti tal med stratumoma II in III po sečnji in spravilu statistično značilne (Preglednica 11).

5.1.2.2 Konusni indeks tal po spravilu lesa v odvisnosti od naklona vlake

Vpliv naklona vlake na konusni indeks tal je statistično neznačilen.

5.1.2.3 Koeficient poškodovanosti tal k2 v odvisnosti od smeri spravila in naklona vlake

Podobno kot pri konusnem indeksu tudi pri poškodbah tal smeri spravila in naklon vlake nimata značilnega vpliva.

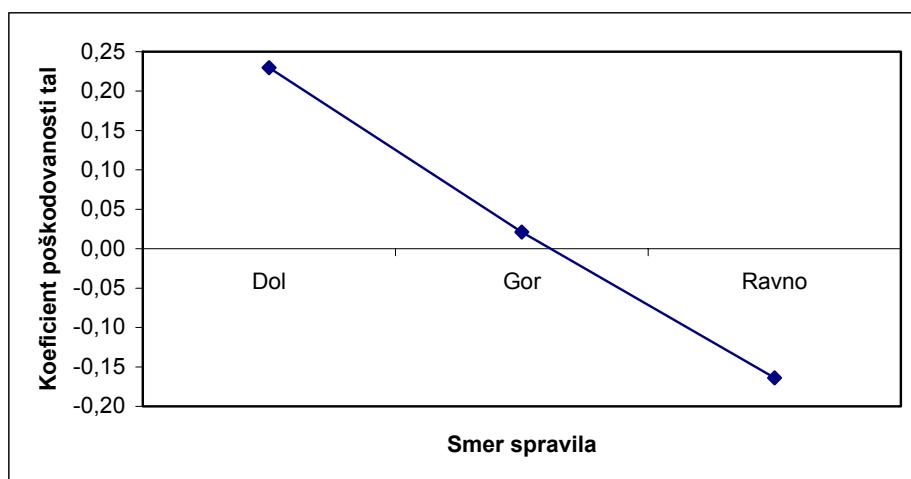


Slika 24: Prečni profil vlake št. 5 pred in po traktorskem spravilu

V stratumu II nismo odkrili značilnih razlik. Vzrok je verjetno v premajhnem vzorcu, saj smo v analizo vzeli le 15 prečnih profilov. Ker so vlake tu grajene je nosilnost tal že pred spravilom mnogo boljša kot pa na naravnih tleh.



Slika 25: Grajena vlaka v stratumu II (foto: Košir B.)



Slika 26: Povprečne vrednosti koeficiente poškodovanosti tal glede na smer spravila

Iz slike 26 je razvidno, da je bilo največ odvzetih tal, ko je traktor vlačil dol, medtem ko so bila tla na ravnem v povprečju narinjena. Najmanj poškodb je bilo pri spravilu lesa v smeri gor.

5.2 RAZISKOVALNI OBJEKT V GE RADEČE

5.2.1 Analiza vplivnih dejavnikov v stratumu

5.2.1.1 Konusni indeks tal v odvisnosti od vlake

Preglednica 12: Analiza variance za vpliv vlake na konusni indeks tal

Konusni indeks

Vir variabilnosti	SS	df	MS	F	Sig.
Med vlakami	417399,857	2	208699,929	5,327	0,009
Znotraj vlak	1449538,143	37	39176,707		
Skupaj	1866938,000	39			

N = 41

S poskusom smo odkrili, da so razlike med vlakami glede na konusni indeks tal statistično značilne (preglednica 12). Ker so na vlaki 2 pred spravilom polagali sečne ostanke, smo pričakovali, da bodo povprečne vrednosti indeksa manjše kot na ostalih dveh vlakah. Vendar smo s t.i. »post hoc« testom dobili drugačen rezultat. Uporabili smo Tukeyev HSD (honestly significant difference) test, ki nam pokaže še, med katerimi skupinami (vlakami) so razlike značilne. S tem testom smo odkrili, da obstajajo razlike v indeksu med vlako 1 in vlako 3 ter med vlako 2 in vlako 3, med vlako 1 in 2 pa ni razlik. Pričakovali smo, da bodo razlike značilne le med vlako 2 (s sečnimi ostanki) in ostalima dvema. Pri tem pa smo pozabili upoštevati dejstvo, da lahko obstajajo tudi razlike v nosilnosti naravnih tal.

5.2.1.2 Konusni indeks naravnih tal

Preglednica 13: Analiza variance za vpliv konusnega indeksa naravnih tal

Nosilnost naravnih tal

Vir variabilnosti	SS	df	MS	F	Sig.
Med tlemi	1064284,912	2	532142,456	6,638	0,003
Znotraj tal	2966152,988	37	80166,297		
Skupaj	4030437,900	39			

N = 41

S preglednice 13 je razvidno, da so razlike med naravnimi tlemi pri posamezni vlaki statistično značilne.

Razlike v nosilnosti naravnih tal so razlog, zakaj so bili pričakovani rezultati drugačni. Vrednosti konusnega indeksa tal smo zato odšteli od vrednosti konusnega indeksa tal po spravilu in testirali še razlike.

Preglednica 14: Analiza variance za razlike med vrednostmi konusnega indeksa naravnih tal ter tal po spravilu

Razlike v nosilnosti

Vir variabilnosti	SS	df	MS	F	Sig.
Med tlemi	1226193,030	2	613096,515	6,833	0,003
Znotraj tal	3319873,345	37	89726,307		
Skupaj	4546066,375	39			

N = 41

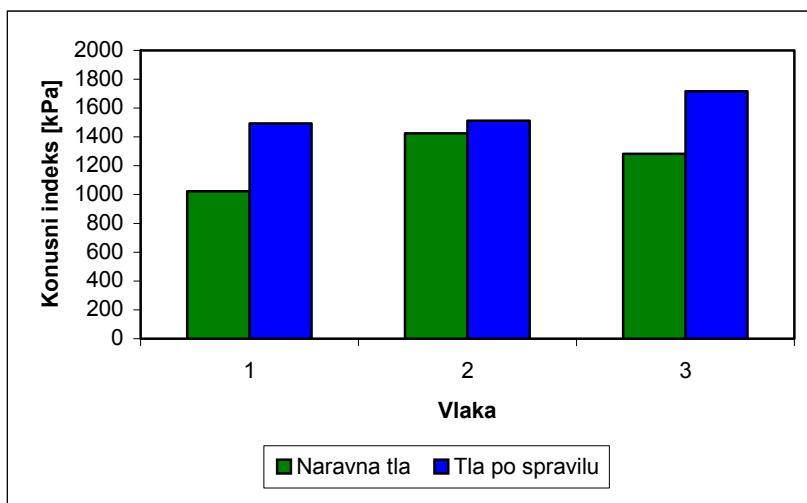
Z analizo smo ugotovili, da so razlike med vrednostmi konusnega indeksa naravnih tal ter tal po spravilu statistično značilne (preglednica 14). Vseeno nas je še vedno zanimalo ali so morda te razlike konusnega indeksa tal med vlakami značilne.

Preglednica 15: Tukeyev HSD test za razlike med vlakami

		Povprečje razlik (I-J)	Standardna napaka	Sig.
(I) VLAKA	(J) VLAKA			
1	2	385,01	117,84	0,006
	3	35,58	117,84	0,951
2	1	-385,01	117,84	0,006
	3	-349,43	113,22	0,010
3	1	-35,58	117,84	0,951
	2	349,43	113,22	0,010

S testom smo odkrili, da so razlike konusnega indeksa tal značilne med vlakama 1 in 2 ter med vlakama 2 in 3 kot smo prvotno pričakovali. Sečni ostanki na vlaki 2 zmanjšajo tlak na tla in zato so tu vrednosti manjše. Če pogledamo sliko 27 vidimo, da se je nosilnost tal na vlaki 2 v primerjavi z ostalima vlakama, kjer sečnih ostankov ni bilo, povečala za mnogo manj.

S polaganjem sečnih ostankov na vlako so poškodbe tal manjše (Košir, 1997).



Slika 27: Nosilnost naravnih tal in nosilnost tal po spravilu

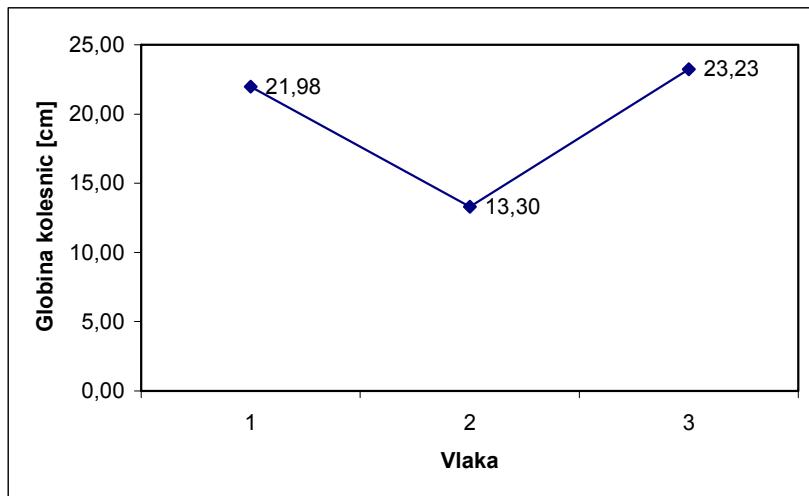
5.2.1.3 Globina kolesnic

Preglednica 16: Kruskal Wallis test za vpliv vlake na globino kolesnic

	Globina
Chi-Square	6,472
df	2
Asymp. Sig.	0,039

N = 36

S testom lahko sprejmemmo hipotezo, da je vpliv vlake na globino tal statistično značilen (preglednica 16). Pričakovali smo, da bo globina kolesnic na vlaki 2, kjer so bili sečni ostanki, manjša kot na ostalih dveh.



Slika 28: Povprečna globina kolesnic na vlakah

Iz povprečij globin kolesnic vidimo, da je globina kolesnic na vlaki 2 res najmanjša (slika 28). Ker v slovenskem gozdarstvu nimamo normativov za obremenitve gozdnih tal, težko rečemo kolikšna naj bo dopustna globina kolesnic.

Preglednica 17: Število profilov na posamezni vlaki glede na povprečno globino kolesnic

Globina kolesnic	Število profilov		
	Vlaka 1	Vlaka 2	Vlaka 3
Nad 20 cm	7	3	11
10 do 20 cm	2	2	3
Pod 10 cm	3	6	0
Skupaj	12	11	14

Iz preglednice 17 lahko razberemo, da je na vlaki I skoraj 60 % profilov imelo povprečno globino kolesnic globljo od 20 cm, na vlaki II 27 % ter na vlaki 3 kar skoraj 80 % profilov. Pri tem velja poudariti, da je na vlaki II imelo več kot polovica profilov globino kolesnic manjšo od 10 cm. S tega vidika ocenujemo, da so poškodbe tal na vlaki 2 sprejemljive, medtem ko na vlaki I in III, kjer sečnih ostankov ni bilo, zagotovo niso.

5.2.1.4 Pomen sečnih ostankov

Wronski (1980, cit. po McDonald in Seixas, 1997) navaja, da plast sečnih ostankov pripomore k zmanjšanju nastajanja kolesnic in povečanju nosilne kapacitete tal.

Košir in Robek (2000) navajata, da so sečni ostanki bistvenega pomena za zmanjševanje negativnih vplivov strojev na tla, vendar le če so položeni na kolesnice in znaša potlačena debelina vsaj 10-15 cm.

Ponekod je znašala debelina sečnih ostankov na vlaki II do 40 cm. S polaganjem sečnih ostankov na vlako se je povečala nosilnost tal. Gozdna tla imajo namreč manjšo nosilnost od tlaka strojev. Ta je odvisen od števila koles na stroju, širine gum ter od tlaka v njih.



Slika 27: Sečni ostanki na vlaki 2 (foto: Košir B.)

McDonald in Seixas (1997) v svoji raziskavi navajata, da na suhih tleh po enem prehodu stroja ni razlik v navidezni gostoti tal med tlemi z ostanki in brez njih. Pač pa je povečanje navidezne gostote tal po petih prehodih stroja na tleh brez ostankov skoraj dvakrat večja kot na tleh s sečnimi ostanki. Na vlažnih tleh sta tudi odkrila, da je vpliv gostote sečnih ostankov ($v\ kg/m^2$) značilen, medtem ko na suhih tleh ni. Na vlažnih tleh ima večja količina sečnih ostankov veliko večjo korist kot na suhih tleh. V raziskavi je bil proučevan zgibni polprikoličar Franklin 170 s skupno maso 17 ton.

6 RAZPRAVA IN SKLEPI

S terenskimi meritvami smo preizkusili metodo ugotavljanja poškodovanosti tal. Za snemanje prečnih profilov smo uporabili vodno tehtnico z laserjem na stojalu, merilno lato, sekaški meter, trasirko, sekaški meter ter snemalne liste. Profile smo označevali s količkom ter s sprejem rdeče barve. Za hitrejši potek snemanj smo predvideli 2 človeka, in sicer merilca ter popisovalca. Za snemanje terena in izmere konusnega indeksa s penetrometrom pred sečnjo in spravilom, smo na raziskovalnem objektu v GE Mirna gora za oba stratuma potrebovali 5 dni. Skupaj smo posneli 133 prečnih profilov, od katerih je po sečnji in spravilu izpadla slaba četrtina. Na dan smo posneli od 20 do 25 profilov, za snemanje enega profila pa smo porabili 10 do 15 minut, odvisno od prehodnosti terena. Za snemanje poškodb tal po sečnji in spravilu smo porabili 4 dni.

Prednost te metode je v tem, da je za snemanje potrebujemo samo 2 človeka. V relativno kratkem času smo dobili podatke o naklonih, konusnem indeksu tal in koordinatah karakterističnih točk profilov. Tudi sistematično vzorčenje se je izkazalo za učinkovito. Slaba stran metode je v tem, da je treba na predvideni sečni vlaki dobro predvideti kje bo šel stroj, ko postavljamo profile. Priporočamo, da se količki postavijo ob drevesu na razdalji vsaj 5 metrov, pravokotno na sečno vlako. Slabost metode se je pokazala tudi pri snemanju profilov, kjer je bilo veliko sečnih ostankov na kolesnicah. Čeprav smo tu uporabili trasirko namesto merilne late, ponekod nismo prišli do tal. Zaradi tega na nekaj profilih izmere niso bile najbolj realne.

Klub temu, da nekaj profilov nismo mogli dobro posneti, ocenujemo, da je glede na količino pridobljenih podatkov in vloženo delo metoda dobra. Za še hitrejši potek snemanj priporočamo višje stojalo za vodno tehtnico, npr. fotografско stojalo. Z nastavljanjem višine stojala se namreč izgubi nekaj časa.

Na grebenu smo izračunali, da je povprečna vrednost konusnega indeksa 2024 kPa, na ostalih tleh 1974 kPa in v vrtači 1775 kPa. Z analizo variance smo odkrili značilen vpliv vrste tal na konusni indeks, ki je bil v našem primeru kazalec nosilnosti tal. Tla na grebenu

so ponavadi bolj plitva in zaradi tega tudi najbolj nosilna. V vrtači je zaradi površinskega odtekanja vode po pobočju dol plast zemlje debelejša, s tem pa nosilnost tal najmanjša.

Potrdimo lahko hipotezo, da obstajajo značilne razlike v nosilnosti tal pred ter po sečnji in spravilu. Povprečne vrednosti konusnega indeksa so narasle za približno 10 % na grebenu in v vrtači, na ostalih tleh pa za 17 %.

Vpliv smeri spravila na nosilnost tal ni statistično značilna. Vseeno smo s »post hoc« neparametričnim Kruskal Wallis testom odkrili, da so razlike v nosilnosti tal med smerjo spravila gor in dol značilne.

Izračunali smo, da je povprečna vrednost konusnega indeksa v smeri spravila gor 1853 kPa in v smeri spravila dol 2013 kPa. Iz tega bi lahko sklepali, da je največja nosilnost tal v smeri spravila dol. To je v nasprotju kar smo pričakovali. Dejstvo je, da se zaradi večjega pritiska na zadnjo os in s tem tudi na tla pri spravilu navzgor le-ta bolj zbijejo. Nosilnost tal bi morala biti v smeri spravila gor večja. Najbolj verjeten razlog zakaj smo dobili obratno sliko naših rezultatov je ta, da je bilo kar 37 % profilov v smeri spravila gor v vrtači, kjer so tla manj nosilna, medtem ko je bila večina profilov v smeri spravila dol na ostalih tleh in na grebenu.

Z analizo variance smo ugotovili, da je vpliv naklona terena na poškobe tal statistično značilen. Ker se tlak na tal pri polni vožnji povečuje z naklonom terena, lahko na strmejših terenih pričakujemo večje poškodbe tal.

Ostale neodvisne spremenljivke kot so pokritost in količina sečnih ostankov na sečni vlaki, oddaljenost profila od gozdne ceste ter širina vlake nimajo značilnega vpliva na poškodbe in nosilnost tal.

V stratumu II, kjer je bilo opravljeno spravilo lesa s traktorjem nismo odkrili nobenega značilnega vpliva na nosilnost in poškodbe tal. Pač pa so razlike v nosilnosti tal med stratumom II in III značilne. V stratumu II so vse vlake grajene. Iz tega razloga je tu tudi

nosilnost tal večja. Povprečna vrednost konusnega indeksa v stratumu II je znašala 2077 kPa, v stratumu III pa 1972 kPa.

Na raziskovalnem objektu v GE Radeče je stroj za sečnjo na eni od treh vlak predse polagal sečne ostanke. S tem se je povečala nosilnost tal. Z analizo smo ugotovili, da obstajajo značilne razlike med vlakami. Povprečna vrednost konusnega indeksa po sečnji in spravilu na prvi vlaki je bila 1494 kPa, na drugi vlaki, kjer so bili ostanki 1512 kPa in na tretji vlaki 1717 kPa. Najmanjšo vrednost konusnega indeksa smo pričakovali na drugi vlaki, saj je bilo tam zaradi ostankov najmanj zbrijanja. Razlog, da smo dobili drugačne rezultate, je v nosilnosti naravnih tal. Ta je največja prav na drugi vlaki. Relativne razlike v povečanju konusnega indeksa so zato res najmanjše na drugi vlaki. Povprečne vrednosti konusnega indeksa so po sečnji in spravilu na prvi vlaki narašle za 46 %, na tretji vlaki za 34 % ter na drugi vlaki samo za 6 %.

Tudi po analizi globin kolesnic smo ugotovili, da med vlakami obstajajo značilne razlike. Povprečna vrednost globine kolesnic na prvi vlaki je bila 22 cm, na drugi vlaki 13 cm ter na tretji vlaki 23 cm. Kot smo pričakovali, je imela najmanjšo povprečno globino kolesnic druga vlaka. Iz analize nosilnosti tal in globin kolesnic na teh vlakah lahko sklepamo, da sečni ostanki ugodno vplivajo proti zbrijanju tal. Ti so še bolj pomembni na vlažnih in slabše nosilnih tleh.

Glede na dobljene rezultate ocenujemo, da so bili stroji na objektu v GE Mirna gora primerni, saj so bile poškodbe tal zaradi dobro nosilnih tal zmerne.

Tega pa ne moremo trditi za stroje na objektu v GE Radeče. Na prvi in tretji vlaki je bila povprečna globina kolesnic več kot 20 cm, kar ni sprejemljivo. Na teh vlakah bi morali uporabiti lažje stroje ali morda izvesti spravilo lesa z goseničarjem.

7 POVZETEK

Že deset let je od tedaj, ko je stroj za sečnjo pri nas prvič posekal drevo in okoli 5 let odkar je strojna sečnja po zaslugu zasebnega lastnika prisotna v Sloveniji. Vzporedno s strojno sečnjo se v zadnjem času pojavlja tudi spravilo lesa z zgibnimi polprikoličarji. Zaradi teh težkih strojev zato prihaja do novih vpliv, od katerih so pomembne predvsem poškodbe tal.

V tujini, še posebej v skandinavskih deželah, so naredili že kar nekaj raziskav o vplivih težkih strojev na gozdna tla. Pri nas je bilo do sedaj raziskav o obremenitvah gozdnih tal relativno malo. Kljub temu, da se zavedamo, da negativni vplivi teh strojev so, na področju poškodb gozdnih tal še vedno nismo predpisali normativov, ki bi vsebovala dopustne meje o poškodovanosti in obremenitvah tal. Res pa je tudi to, da se tudi raziskovalci v tujini sprašujejo, kako izmeriti fizikalne in ostale lastnosti tla, na osnovi katerih bi lahko izbrali čim bolj primeren stroj oz. tehnologijo.

V septembru in oktobru 2006 smo na raziskovalnih objektih v GE Mirna gora in v GE Radeče opravili terenska snemanja. Objekt smo razdelili v več stratumov. Na prvem objektu v prvem stratumu je izvajalec Gozdro gospodarstvo Bled opravil sečnjo s strojem za sečnjo Timberjack 1270D in spravilo lesa z zgibnim polprikoličarjem Timberjack 1010D. V drugem stratumu so izvedli sečnjo in spravilo na klasičen način s traktorjem John Deere 4045TL272 ter motornimi žagami. Na raziskovalnem objektu v GE Radeče so za sečnjo uporabili težki gosenični stroj za sečnjo znamke Konigstiger, za spravilo lesa pa zgibni polprikoličar Timberjack 1410D.

Namen raziskave je bil preizkus metode ugotavljanja poškodovanosti tal. S tem smo pridobili podatke, na podlagi katerih smo kasneje analizirali in preučili dejavnike, ki vplivajo na poškodbe tal ter na teh objektih ocenili primernost uporabe teh strojev.

V GE Mirna gora smo pred sečnjo in spravilom v dveh stratumih sistematično na razdalji 10 oz. 50 m postavili 133 prečnih profilov, od katerih jih je kasneje izpadla približno četrtina. Na teh profilih smo s pomočjo penetrometra po sečnji in spravilu dobili odčitek, ki se imenuje konusni indeks. Ta indeks je zelo dober kazalec nosilnosti tal.

Poleg tega smo s pomočjo vodne tehtnice z laserjem, sekaškega metra ter merilne late posneli konfiguracijo terena ter karakteristične točke prečnih profilov. V GE Radeče smo meritve opravili po isti metodi, ampak le po sečnji in spravilu, kjer smo na treh vlakah posneli prečne profile in kasneje naredili še analizo globine kolesnic. Meritve v GE Mirna gora smo izvedli v 9 dneh, v GE Radeče pa v 2 dneh.

Povprečna vrednost konusnega indeksa na grebenu je znašala 2024 kPa, na ostalih tleh 1974 kPa ter v vrtači 1775 kPa. Analiza variance je pokazala, da je vpliv vrste tal na konusni indeks in s tem na nosilnost tal značilen. Vzroke gre verjetno v večji meri pripisati globini tal, čeprav te nismo merili.

S Studentovim testom »t« smo odkrili, da so razlike v nosilnosti tal pred sečnjo in spravilom in po njej značilne. Povprečne vrednosti konusnega indeksa so narasle za približno 10 % na grebenu in v vrtači, na ostalih tleh pa za 17 %

Kljub temu, da vpliva smeri na nosilnost tal nismo dokazali, smo s »post hoc« Kruskal Wallis testom dokazali razlike v nosilnosti tal med smerjo spravila gor in dol.

Po teoriji smo sklepali, da bodo večje vrednosti konusnega indeksa v smeri spravila gor, saj se zaradi večjega pritiska na zadnjo os tla pri spravilu navzgor bolj zbijejo. Vendar smo dobili ravno obratne rezultate. Povprečna vrednost konusnega indeksa v smeri spravila gor je bila 1853 kPa in v smeri spravila dol 2013 kPa. Kar 37 % profilov v smeri spravila gor je bilo postavljenih v vrtači, kjer so tla ponavadi mehkejša in manj nosilna. S tem si obratno sliko naših rezultatov najlažje razlagamo.

Vpliv naklona terena na nosilnost tal nismo dokazali. Pač pa potrjujemo hipotezo, da je vpliv naklona terena na poškodbe tal statistično značilen. Z naklonom terena se pri polni vožnji povečuje tlak na tla. Zaradi tega lahko na bolj strmih terenih pričakujemo večje poškodbe tal.

Vpliva ostalih neodvisnih spremenljivk kot so pokritost in količina sečnih ostankov na sečni vlaki, oddaljenost profila od gozdne ceste ter širina vlake, nismo dokazali.

V drugem stratumu nismo odkrili nobenega značilnega vpliva na nosilnost in poškodbe tal. S testom smo odkrili razlike v nosilnosti tal med prvim in drugim stratumom, torej med tehnologijama. Grajene vlake v drugem stratumu pomenijo bolj nosilna tla, vendar pa vpliva tehnologije na poškodbe tal nismo dokazali.

V GE Radeče smo z analizo variance ugotovili, da je vpliv vlake na nosilnost tal značilen. To smo pričakovali, saj je na drugi vlaki stroj za sečnjo predse polagal sečne ostanke. Nosilnost tal je bila zaradi tega boljša. Vendar rezultati naših prvih domnev niso podprtli, saj povprečna vrednost konusnega indeksa na drugi vlaki ni bila najmanjša. Ta je bila po sečnji in spravilu na prvi vlaki 1494 kPa, na drugi vlaki, kjer so bili sečni ostanki 1512 kPa in na tretji vlaki 1717 kPa. Ko smo ugotovili, da je nosilnost naravnih tal prav na drugi vlaki največja, nam je bilo takoj jasno, da izmere po sečnji in spravilu niso pravi pokazatelj. Zato smo testirali razlike med vrednostmi konusnega indeksa naravnih tal in tal po spravilu lesa. Povprečne vrednosti konusnega indeksa so po sečnji in spravilu na prvi vlaki narašle za 46 %, na tretji vlaki za 34 % ter na drugi vlaki le za 6 %.

Povprečna vrednost globine kolesnic na prvi vlaki je bila 22 cm, na drugi vlaki 13 cm ter na tretji vlaki 23 cm. Z analizo variance pa smo vpliv vlake na globino tal tudi dokazali. Sečni ostanki ugodno vplivajo proti zbijanju tal, vendar Košir in Robek (2000) navajata, da le takrat, ko so položeni na kolesnice in ko znaša potlačena debelina teh vsaj 10-15 cm.

Po rezultatih sodeč lahko zaključimo, da so bili stroji na objektu v GE Mirna gora primerni. Zaradi dobro nosilnih tal, so bile tu poškodbe zmerne.

Ker je bila povprečna globina kolesnic na prvi in tretji vlaki večja kot 20 cm, ocenujemo, da so poškodbe tal zaradi tega prevelike, stroji pa neprimerni. Za ta teren bi morali izbrati lažje stroje. Ena od možnih rešitev bi bilo spravilo lesa z goseničarjem.

8 SUMMARY

Ten years have passed since a harvester has cut down a tree for the first time in our country and around five years since the presence of mechanized cutting in Slovenia owing it all to a private owner. Along with mechanized cutting, wood skidding with the forwarder also appeared in recent times. These heavy machines have caused new influences to arise, of which the most important is soil damage.

Some researches about the effects of heavy machinery on forest soil has been made abroad, especially in Scandinavian countries. In Slovenia, researches on the forest soil damage are relatively very few. Even though we are aware that the negative effects of these machines concern forest soil damage, we still have not prescribed any standards that would include the permissible level of soil damage and bearing. It is also true that foreign researches wonder how to measure the physical and other characteristics of the soil on the basis of which a selection of the most adequate machines or technology would be possible.

In September and October of 2005 we carried out field research in GE Mirna gora and GE Radeče. We divided the compartment into a number of strata. In the first stratum the forest management company Bled performed the cutting using the harvester Timberjack 1270D and wood skidding using the forwarder Timberjack 1010D. In the second stratum the cutting and skidding were carried out using the classic method: by means of the John Deere 4045 TL 272 tractor and chainsaws. At the research plot in GE Radeče a heavy Königstiger tracked harvester was used for the cutting and a Timberjack 1410D forwarder for the skidding.

The aim of the research was to test the methods of assessment of soil damage. We were able to gather data on the basis of which we later on analyzed and studied the factors that affect soil damage and estimated the adequacy of the usage of these machines on these facilities.

Before the cutting and the skidding was performed , we systematically placed in GE Mirna gora 133 profiles at a range of 10 and 50 m respectively of which approximately a quarter

came out. After the cutting and the skidding, with the aid of a penetrometer, we obtained a reading on these profiles called the cone index. This index is a very good indicator of the soil bearing capacity.

Furthermore, we recorded the configuration of the terrain and the characteristic points of the profiles aided by the laser water balance, the logger's tape and the measuring lath. In GE Radeče we carried out measurements using the same method, but only after the cutting and skidding, where we recorded profiles and later analyzed the rut depth on three skid trails. The measurements in GE Mirna gora took 9 days and 2 days in GE Radeče

The average value of the cone index amounted to 2024 kPa on the ridge, 1974 kPa on other soils and 1775 kPa in the sinkhole. The analysis of variance indicated that the influence of the soil type on the cone index and thus on the soil bearing capacity is typical. The reasons for that are to be attributed in great extent to soil depth, although we have not measured it.

Using the Student test "t" we found out that the differences in the soil bearing capacity before and after the cutting and skidding are significant. The average values of the cone index increased for around 10% in the sinkhole and for 17% in other soils.

Even though we have not proven the effect of direction on the bearing capacity, we proved the differences in the soil bearing capacity during the direction of skidding up and down using the "post hoc" Kruskal Wallis test.

Relying on theory we assumed that the values of the cone index would be higher in the skidding direction up, as, due to the greater pressure on the back axis, the soil during skidding up is being increasingly compacted. However, we obtained opposite results. The average value of the cone index in the skidding direction up amounted to 1853 kPa and 2013 kPa in the skidding direction down. 37% of profiles in the skidding direction up were positioned in the sinkhole, where the soil is generally softer and less bearing. This is the argument with which we can explain in the simplest way our opposing results.

The influence of the terrain inclination on the soil bearing capacity was not proven. On the other hand we confirm the hypothesis that the influence of the terrain inclination on the soil damage is statistically typical. Along with terrain inclination the pressure on the soil at travel loaded is increased. Because of this, we can expect a higher level of soil damage on steeper terrains. We have not proven the influences of other independent variables like the soil covering and the amount of residues on skid trails, the distance of the profile from the forest path and the skid trail's width.

We have not found any distinctive influence on the bearing capacity and soil damage in the second stratum. By carrying out a test we discovered differences in the soil bearing capacity between the first and second stratum, therefore differences between technologies. Built skid trails in the second stratum mean a more bearing soil, although we could not prove the influences of technology on soil damage.

By analysis of variance we determined that the influence of the skid trail on the soil bearing capacity in GE Radeče is significant. This was expected, for on skid trail 2 the harvester left residues. Because of this the bearing capacity of the grounding was much better. However, the results have not supported our first assumptions, as the average value of the cone index on the second skid trail was not the least.

The value after the cutting and skidding on the first skid trail amounted to 1494 kPa, 1512 kPa on the second skid trail, where the residues laid, and 1717 kPa on the third skid trail. When we determined that the bearing capacity of natural soil is the highest right on the second skid trail, it has suddenly become clear to us that the measurements after the cutting and skidding are not the right indicator. Therefore we tested the differences between the values of the cone index of the natural soil and the soil after the wood skidding. The average values of the cone index after the cutting and skidding on the first skid trail increased for 46%, 34% on the third skid trail and 6% on the second skid trail.

The average rut depth on the first skid trail was 22 cm, 13 cm on the second skid trail and 23 cm on the third. By analysys of variance we have proven the influence of the skid trail on the depth. Residues have a beneficial effect on soil compaction, although Košir and

Robek (2000) indicate that only happens when residues are laid on the rut and their compacted thickness amounts to 10-15 cm.

Judging by the results we are able to conclude that the machines in the compartment in GE Mirna gora were adequate. Due to the good level of soil bearing capacity the damage was here moderate.

Since the average rut depth on the first and third skid trail was greater than 20 cm, we estimate that the soil damage was because of this significant and the machines inadequate. Lighter machines should have been used for this type of terrain. One possible solution is to skid wood using a caterpillar.

9 VIRI

Bartol T. in sod. 2001. Navodila za oblikovanje pisnih diplomskeih in poddiplomskeih izdelkov na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 23 str.

Bygden G., Eliasson L., Wästerlund I. 2004. Rut depth, soil compaction and rolling resistance when using bogie tracks. *Journal of Terramechanics*, 40: 179-190

Carter E., Rummer B., Stokes B. 1997. Site disturbances associated with alternative prescriptions in an upland hardwood forest of northern Alabama. An ASAE meeting presentation, paper no. 975013: 11 str.

Diaci J., Magajna B. 2002. Nekatere 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

Držaj A. 2005. Strojna sečnja v sestojih listavcev: delavnica o strojni sečnji, Točka 1, Oddelek 3, Gozdnogospodarska enota Mirna gora, Krajevna enota Črnomelj, Območna enota Novo mesto, 16.9.2005. Novo mesto, Zavod za gozdove

Duiker S. W. 2002. Diagnosing soil compaction using a penetrometer. Pennsylvania state college of agricultural science research: 3 str.

Ekwue E. I., Stone R. J., Ramphalie S. 2002. Engineering properties of some wetland soils in Trinidad. *Journal of Agricultural Engineers Research*, 18, 1: 37-45

Froehlich H. A. 1989. Soil damage, tree growth, and mechanization of forest operations. V: Proceedings of the seminar on the Impact of mechanization of forest operations to the soil. Louvain-la-Neuve, Belgija, 11-15 September. Brussels, Ministry of agriculture: 77-82

Gozdnogojitveni in sečnospravilni načrt za Magolnik, Odsek 08022, Gozdnogospodarska enota Radeče, Krajevna enota Radeče. 2005. Brežice, Zavod za gozdove Slovenije, Krajevna enota Radeče, Območna enota Brežice. September

Grunwald S., Lowery B., Rooney D. J., McSweeney. 2001. Profile cone penetrometer data used to distinguish between soil materials. Soil and Tillage Research, 62: 27-40

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. 2002a. Tehnološke možnosti strojne sečnje. V: Strojna sečnja v Sloveniji – zbornik ob posvetovanju. Ljubljana, Gospodarska zbornica Slovenije, Združenje za gozdarstvo: 7-20

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

Košir B., Marenč J., Jejčič V., Poje T. 2005. Določanje tehničnih značilnosti pri traktorskem spravilu – osnova za izbiro traktroja. V: Formec 2005. Ljubljana, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire – Biotehniška fakulteta: 43-55

Kotar M. 2005. Zgradba, rast in donos gozda na ekoloških in fizioloških osnovah. Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije in Zavod za gozdove Slovenije: 500 str.

Kotar M. 1977. Statistične metode. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo: 374 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

Leung Y., Meyer K. 2003. Soil compaction as indicated by penetration resistance: a comparison of two types of penetrometers. Tehnology for Resource Management: 370-375

Motavalli P. P., Anderson S. H., Penghamkeerati 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

McDonald T. P., Seixas F. 1997. Effect of slash on forwarder soil compaction. Journal of Forest Engineering, 8, 2: 15-26

Normativi gozdnih del. Odredba o določitvi normativov za dela v gozdovih. Ur.l. RS št. 11-512/99

Richard G., Boizard H., Roger-Estrade J., Boiffin J., Guérif J. 1999. Field study of soil compaction due to traffic in northern France: pore space and morphological analysis of the compacted zones. Soil and Tillage Research, 51: 151-160

Saarilahti M. 2002. Soil interaction model. Project deliverable D2 (Work package No. 1) of the Development of protocol for ecoefficient wood harvesting on sensitive sites (ECOWOOD). EU 5th Framework Project (Quality of life and management of living resources contract No. QLK5-1999-00991 (1999-2002): 61-67

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

Šušnjar M. 2005. Istraživanje međusobne ovisnosti značajki tla traktorske vlake i vučne značajke skidera: disertacija. (Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet) Zagreb, samozal.: 146 str.

Ucin Z. 2004. Sečnja debelega drevja s strojem za sečnjo Königstiger: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire) Ljubljana, samozal.: 101 str.

Vaz C. M. P., Bassoi L. H., Hopmans J. W. 2001. Contribution of water content and bulk density to field soil penetration resistance as measured by a combined cone penetrometer-TDR probe. Soil and Tillage Research: 60: 35-42

Vaz C. M. P. 2003. Use of a combined penetrometer-TDR moisture probe for soil compaction studies. College on soil physics Trieste: 451-457

John Deere: spletna stran podjetja

<http://www.deere.com> (26.2.2006)

Dickey John: spletna stran podjetja

<http://www.dickey-john.com> (27.2.2006)

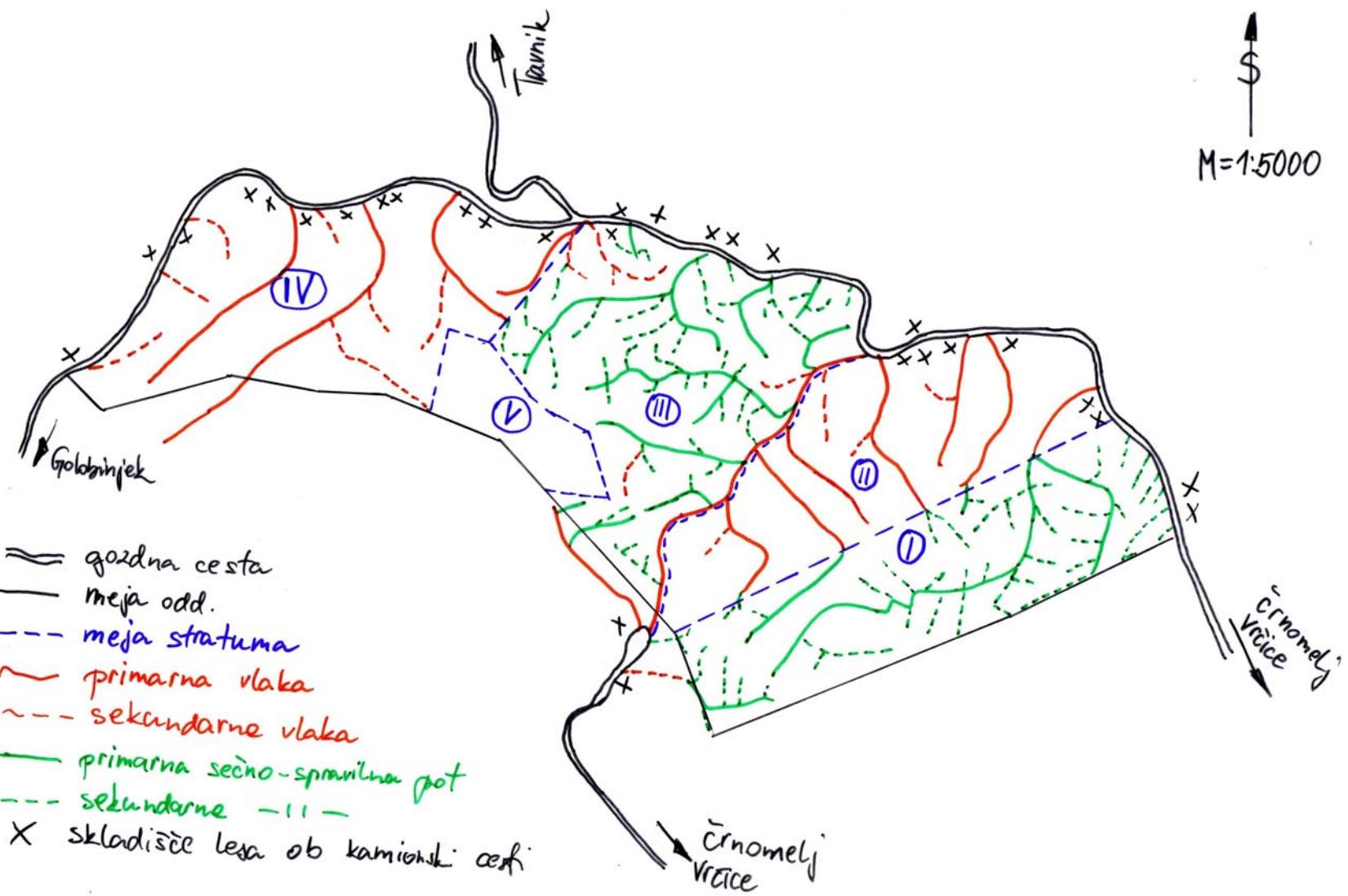
ZAHVALA

Zahvaljujem se svojemu mentorju prof. dr. Boštjanu Koširju za strokovno vodenje pri diplomskem delu. Za pomoč pri terenskih meritvah se zahvaljujem dipl. inž. Jožetu Primožiču. Zahvala gre vsem, ki so mi kakorkoli pomagali pri nastajanju dela.

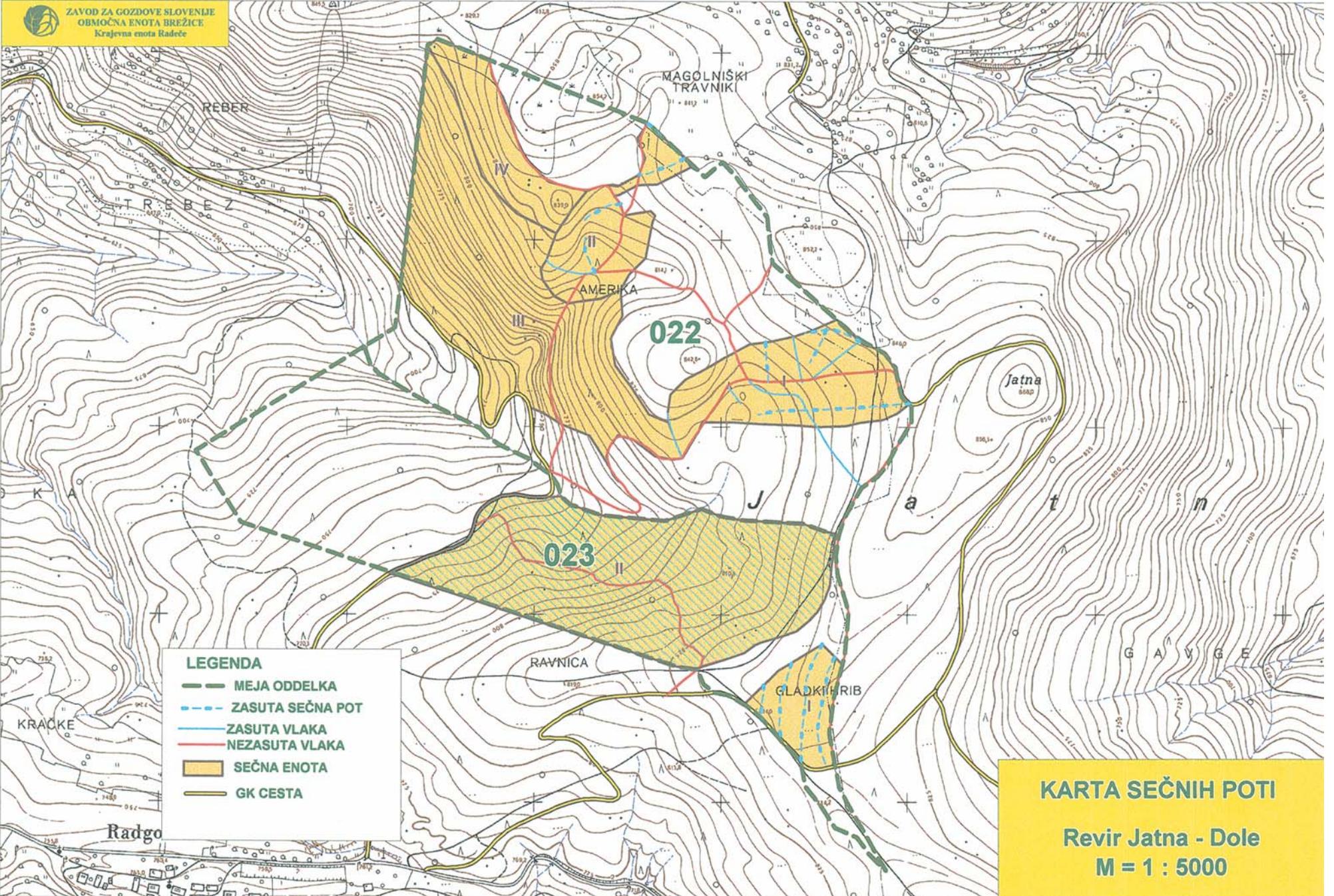
Posebej se moram zahvaliti svojem staršem, ki so mi v času študija stali ob strani.

PRILOGE

Priloga A: Karta raziskovalnega objekta v GE Mirna gora v merilu 1:5.000



Priloga B: Karta raziskovalnega objekta v GE Radeče v merilu 1:5.000



Priloga C: Snemalni list za popis prečnih profilov

Popis preseka	Datum:
Stratum:	
Številka preseka:	
Številka popisa tega preseka:	
Smer: Ravno; Gor; Dol	
Grajena,Negrajena, Sečna, Pobeg	
Število prehodov/smer spravila	
Stroj za sečnjo	
Zgibni polpričičar-prazen	
Zgibni polpričičar-poln	
Pokritost z ostanki % ($\pm 5m$)	
Količina ostankov cm ($\pm 5m$)	
Naklon osi v smeri spravila $\pm 5m$ %	
Naklon osi v smeri gozda $\pm 5m$ %	
Naklon terena Desno $\pm 5m$ %	
Naklon terena Levo $\pm 5m$ %	
Naklon preseka - prečni %	
Razdalja kol – drevo m	

Opombe:

Tipična točka	Hor.razd. xi cm	Lata yi cm	Tla 20cm PSI
Naravna tla (50cm od zač. vlake)			
Začetek grebena D kolesnice			
Vrh desnega grebena D kolesnice			
Začetek ugreznine D kolesnice			
Največja globina D kolesnice			
Globina blata D kol.			
Konec ugreznine D kolesnice			
Vrh levega grebena D kolesnice			
Konec desn. grebena D kolesnice			
Sredina med kolesnicama			
Začetek desn. grebena L kol.			
Vrh desn. grebena L kolesnice			
Začetek ugreznine L kolesnice			
Največja globina L kolesnice			
Globina blata L kol.			
Konec ugreznine L kolesnice			
Vrh levega grebena L kolesnice			
Konec levega grebena L kolesnice			
Naravna tla (50cm od zač. vlake)			
Vrsta in kakovost podlage:			

Skica