

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

Mateja INTIHAR

**POŠKODBE TAL PO SEČNJI IN SPRAVILU S
KOMBINIRANIM STROJEM HSM 805F**

MAGISTRSKO DELO

Magistrski študij – 2. stopnja

Ljubljana, 2014

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

Mateja INTIHAR

**POŠKODBE TAL PO SEČNJI IN SPRAVILU S KOMBINIRANIM
STROJEM HSM 805F**

MAGISTRSKO DELO
Magistrski študij – 2. stopnja

**ASSESSING SOIL DISTURBANCE AFTER FOREST HARVESTING
WITH A COMBINED MACHINE HSM 805F**

M. Sc. Thesis
Master Study Programmes

Ljubljana, 2014

Magistrsko delo je zaključek II. stopnje magistrskega študijskega programa Gozdarstvo in upravljanje gozdnih ekosistemov, Gozdarsko podjetništvo in inženirstvo. Opravljeno je bilo na Katedri za gozdno tehniko in ekonomiko Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Terenski del diplomske naloge je potekal v gozdnogospodarskem območju Slovenj Gradec.

Študijska komisija Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire je na seji dne 28. 8. 2012 za mentorja diplomskega dela imenovala doc. dr. Jurija Marenčeta, za somentorja diplomskega dela pa izr. prof. dr. Boštjana Koširja.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Član:

Datum zagovora:

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

Mateja Intihar, ing. gozd.

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Du2
DK	GDK 36/37+114.53+46(497.4Mislinja)(043.2)=163.6
KG	poškodbe tal/kombinirani stroj za sečnjo/CI/vlažnost/kolesnice/sečni ostanki
KK	
AV	INTIHAR, Mateja
SA	MARENČE, Jurij (mentor) / KOŠIR, Boštjan (somentor)
KZ	SI – 1000 Ljubljana, Večna pot 83
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire
LI	2014
IN	POŠKODBE TAL PO SEČNJI IN SPRAVILU S KOMBINIRANIM STROJEM HSM 805F
TD	magistrsko delo (magistrski študij – 2. stopnja)
OP	XII, 139 str., 38 pregl., 55 sl., 1 pril., 50 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	

Namen magistrske naloge je bil, da se ugotovi, kateri so ključni dejavniki, ki vplivajo na velikost poškodb tal, ter kako oz. s kakšnimi ukrepi te poškodbe zmanjšati na minimum. Raziskava je potekala na dveh objektih v Gozdnogospodarski enoti Mislinja. Na objektu 1 je potekala sečnja kratkega lesa, na objektu 2 pa sečnja dolgega lesa. Skupno je bilo na obeh objektih postavljenih 132 prečnih profilov, na katerih so bili pobrani podatki o konusnem indeksu, vlažnosti, in karakteristične točke, na podlagi katerih smo kasneje izračunali poškodbe tal. Ocenjevali smo tudi debelino in pokritost s sečnimi ostanki. To je bilo narejeno za vse tri faze dela: sečnjo s strojem za sečnjo, spravilom lesa z zgibnim polprikoličarjem in vožnji lesa s sedlastim traktorjem. Ugotovljeno je bilo, da so pri sečnji s strojem za sečnjo in spravilu z zgibnim polprikoličarjem vrednosti CI višje, kot pri spravilu s sedlastim traktorjem – tla so bila pri metodi kratkega lesa bolj obremenjena kot pri metodi dolgega lesa. Širina sečne poti pri sečnji je bila manjša (298,65 cm) kot širina sečne poti pri spravilu (319,98 cm). Širina sečnih poti se je potem, ko je bilo spravilo lesa opravljeno, v kar 63,53 % spremenila. Pri spravilu lesa je bila povprečna širina sečne poti 337 cm. Povprečna širina sečne poti je bila največja pri spravilu lesa. Bila je kar 38 cm širša od povprečne sečne poti pri sečnji s sečnim strojem in 17 cm širša od povprečne sečne poti pri spravilu z zgibnim polprikoličarjem. Največji delež kolesnic je pri vseh treh fazah dela v prvih treh tipih kolesnic. Najbolj je kritično spravilo lesa s sedlastim traktorjem, saj je precejšen delež kolesnic v tipu Nedovoljeno (5,21 %). Nedovoljene kolesnice so bile zabeležene v petih primerih – globine le-teh so bile 60,20 cm, 47,46 cm, 60,39 cm, 42,83 cm ter 46,53 cm. V raziskavi je bil ugotovljen tudi pozitiven vpliv sečnih ostankov na nastanek kolesnic – narinjene kolesnice so nastale tam, kjer je bil delež sečnih ostankov najvišji; najgloblje kolesnice pa na tistih profilih, kjer ni bilo sečnih ostankov, ali pa le-teh zelo malo. Ukrepi za zmanjšanje poškodb tal morajo biti usmerjeni predvsem k pravilnemu načrtovanju, pravi izbiri stroja ter prilagajanju okolju.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN	Du2
DC	FDC 36/37+114.53+46(497.4Mislinja)(043.2)=163.6
CX	soil damage/harwarder/CI/soil moisture/logging residues
AU	INTIHAR, Mateja
AA	MARENČE, Jurij (supervisor) / KOŠIR, Boštjan (co-advisor)
PP	SI – Ljubljana, Večna pot 83
PB	University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Department of Forestry and Renewable Forest Resources
PY	2014
TI	ASSESSING SOIL DISTURBANCE AFTER FOREST HARVESTING WITH A COMBINED MACHINE HSM 805F
DT	M. Sc. Thesis (Master Study Programmes)
NO	XII, 139 p., 38 tab., 55 fig., 1 ann., 5 ref.
LA	sl
AL	sl/en
AB	

The purpose of the master's thesis was to determine which are the key factors that determine the size of the soil damage and which are the actions how to reduce the damage to a minimum. The study was conducted at two research objects in the Forest Management Unit Mislinja. In total, there were 132 profiles. On these profiles data of CI, soil moisture and the characteristic points were collected. Also, the thickness and coverage of the logging residues were assessed. This was done for all three work processes: cutting with harvester, skidding with forwarder and skidding with Clambunk. It was found that the values were higher on research object 1 (cutting short timber) than on research object 2 (cutting long timber) - the forest floor was more compressed on research object 1. The width of the skidding trail after harvester was narrower (298,65 cm) than the width of skidding trail after forwarder (319,98 cm). The width of the skidding trail after the process of harvesting was changed in 63,53 %. When skidding with Clambunk the average width of the skidding trail was 337 cm. The average width of the skidding trail was the highest in skidding with Clambunk. It was about 38 cm wider than the average skidding trail of harvester and 17 cm wider than the average of skidding trail of forwarder. The largest share of ruts was in the first three types of ruts (for all three processes). The most critical was the process of skidding with Clambunk (5,21%). Not acceptable ruts were observed in five cases - the depths of these were 60,20 cm, 47,46 cm, 60,39 cm, 42,83 cm and 46,53 cm. The study also found out the positive impact of logging residues on the ruts - thrust rut occurred where there was the highest share of logging residues; deepest ruts were created in those sections where there were no logging residues, or only a few. Actions to reduce the soil damage should be minimized by proper planning, the right choice of the machine and adjusting to the environment.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	III
KAZALO VSEBINE.....	V
KAZALO PREGLEDNIC.....	VIII
KAZALO SLIK.....	X
KAZALO PRILOG	XII
1 UVOD	1
2 NAMEN NALOGE.....	3
3 PREGLED OBJAV	4
3.1 MOŽNOSTI ZA STROJNO SEČNJO V SLOVENIJI.....	4
3.1.1 Zakoni in predpisi.....	4
3.1.2 Drevesna in debelinska sestava sestojev in mešanost razvojnih faz	5
3.1.3 Posestna struktura.....	5
3.1.4 Terenske značilnosti	5
3.1.5 Gozdarska infrastruktura – odprtost z gozdnimi cestami.....	6
3.2 KOMBINIRANI STROJ ZA SEČNJO IN SPRAVILO – HARWARDER	7
3.3 ZNAČILNOSTI GOZDNIH TAL.....	9
NOSILNOST TAL.....	10
TRDNOST TAL.....	13
GOSTOTA TAL	16
VLAŽNOST TAL	17
3.4 POŠKODBE GOZDNIH TAL	19
3.4.1 Kolesnice.....	19
3.4.2 Poškodbe korenin	22
3.4.3 Premeščanje tal.....	25
3.4.4 Erozija tal.....	26
3.5 INTERAKCIJE MED STROJEM IN TLEMI	27
3.6 METODE ZA UGOTAVLJANJE POŠKODOVANOSTI TAL	29
4 HIPOTEZE	33
5 METODE DELA	34
5.1 OPIS STROJA – HSM 805F.....	34
5.2 OPIS OBJEKTOV RAZISKAVE	41
5.2.1 Raziskovalni objekt v GE Mislinja	41
5.2.2.1 Matična podlaga in tla	43
TLA	44
5.2.2.3 Odsek 1120 B	45
5.3 METODE DELA.....	45
5.3.1 Sečnja kratkega lesa – sortimentna metoda.....	47
5.3.1.1 Snemanje poškodovanosti tal na prečnih profilih po sečnji	51

5.3.1.2	Snemanje poškodovanosti tal na prečnih profilih po spravilu	57
5.3.1.3	Merjenje nosilnosti tal	58
5.3.1.4	Merjenje vlage v tleh	60
5.3.2	Sečnja dolgega lesa – debelna oz. pol debelna metoda.....	62
5.3.2.1	Snemanje poškodovanosti tal na prečnih profilih po sečnji in spravilu.....	64
5.3.2.2	Merjenje nosilnosti tal	65
5.3.2.3	Merjenje vlage v tleh	66
5.4	OBDELAVA PRIDOBILJENIH PODATKOV	66
6	REZULTATI	67
6.1	SEČNJA KRATKEGA LESA - SORTIMENTNA METODA	67
6.1.1	Konusni indeks	67
6.1.2	Vlažnost tal.....	68
6.1.3	Širina sečnih poti in svetlih profilov	69
6.1.4	Globina kolesnic	72
6.1.4.1	Risanje prečnih profilov	72
6.1.4.2	Računanje globine kolesnic.....	72
6.1.4.3	Vpliv sečnih ostankov na globino	76
6.1.5	Primerjava vzorčenja podatkov na različnih razdaljah	86
6.1.5.1	Širina sečnih poti	87
6.1.5.2	Globina kolesnic.....	87
6.1.5.3	Debelina in pokritost s sečnimi ostanki.....	88
6.2	SEČNJA DOLGEGA LESA – DEBELNA OZ. POLDEBELNA METODA	90
6.2.1	Konusni indeks	90
6.2.2	Vlažnost tal.....	91
6.2.3	Širina sečnih poti in svetlih profilov	93
6.2.4	Globina kolesnic	94
6.2.4.1	Risanje prečnih profilov	94
6.2.4.2	Računanje globine kolesnic.....	94
6.2.4.3	Vpliv sečnih ostankov na globino kolesnic.....	96
6.2.5	Primerjava vzorčenja podatkov na različnih razdaljah	100
6.2.5.1	Širina sečnih poti	100
6.2.5.2	Globina kolesnic.....	101
6.2.5.3	Debelina in pokritost sečnih poti s sečnimi ostanki	101
6.3	PRIMERJAVA SEČNJE KRATKEGA LESA S SEČNJO DOLGEGA LESA.....	102
6.3.1	Konusni indeks	102
6.3.2	Vlažnost tal.....	104
6.3.2	Širina sečnih poti in svetlih profilov	105
6.3.4	Globina kolesnic	107
6.3.4.1	Vpliv sečnih ostankov na globino kolesnic.....	108
7	RAZPRAVA	113
7.1	KONUSNI INDEKS (CI).....	113
7.2	VLAŽNOST TAL	114
7.3	ŠIRINA SEČNIH POTI IN SVETLIH PROFILOV	115
7.4	GLOBINA KOLESNIC	116

7.4.1	Vpliv sečnih ostankov na globino	118
7.5	PRIMERJAVA VZORČENJA PODATKOV NA RAZLIČNIH RAZDALJAH	121
8	SKLEPI	123
9	POVZETEK	127
9.1	POVZETEK	127
9.2	SUMMARY	130
10	VIRI	134
ZAHVALA		
PRILOGE		

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Vrednosti CI v kPa	68
Preglednica 2: Vlažnost tal v %	68
Preglednica 3: Povprečne vrednosti CI glede na razred vlažnosti tal	69
Preglednica 4: Širine sečni poti in širine svetlih profilov	70
Preglednica 5: Primerjava širin sečnih poti med sečnjo in pravilom lesa z Wilcoxon testom	70
Preglednica 6: Število in delež profilov glede na spremembo širine sečne poti in svetlih profilov po fazi sprava lesa	70
Preglednica 7: Koeficient širine sečne poti po fazah dela glede na širino stroja	71
Preglednica 8: Delež motene površine po sečnji in po pravilu.....	71
Preglednica 9: Razpored kolesnic v tipe	73
Preglednica 10: Narasle in stisnjene kolesnice glede na faze dela.....	75
Preglednica 11: Primerjava globine kolesnic med sečnjo in pravilom lesa z Wilcoxon testom	76
Preglednica 12: Analiza povezav s Spearmanovim koeficientom korelacije med globino kolesnic in debelino sečnih ostankov ter globino kolesnic in pokritostjo s sečnimi ostanki	83
Preglednica 13: Vpliv neodvisnih spremenljivk na odvisno spremenljivko (globino kolesnic)	86
Preglednica 14: Preverjanje razlik v širini sečnih poti z ANOVO.....	87
Preglednica 15: Preverjanje razlik v globini kolesnic z ANOVO.....	87
Preglednica 16: Preverjanje razlik v debelini in pokritosti sečnih poti s sečnimi ostanki z ANOVO	88
Preglednica 17: Statistična značilnost glede na razdaljo vzorčenja (primer širine sečnih poti)	89
Preglednica 18: Vrednost CI v kPa na globini 10 in 20 cm	91
Preglednica 19: Vlažnost tal v %	91
Preglednica 20: Povprečne vrednosti CI glede na razred vlažnosti tal	92
Preglednica 21: Širine sečnih poti in svetlih profilov	93
Preglednica 22: Koeficient širine sečne poti glede na širino stroja.....	93
Preglednica 23: Delež motene površine na objektu po pravilu	93
Preglednica 24: Narasle in stisnjene kolesnice po sečnji	95
Preglednica 25: Analiza povezav s Spearmanovim koeficientom korelacije med globino kolesnic ter debelino in globino kolesnic ter pokritostjo s sečnimi ostanki.....	97

Preglednica 26: Vpliv neodvisnih spremenljivk na odvisno spremenljivko (globino kolesnic)	100
Preglednica 27: Preverjanje razlik v širini sečnih poti z ANOVO	101
Preglednica 28: Preverjanje razlik v globini kolesnic z ANOVO	101
Preglednica 29: Preverjanje razlik v debelini in pokritosti sečnih poti s sečnimi ostanki z ANOVO.....	102
Preglednica 30: Vrednosti CI v kPa po metodah.....	103
Preglednica 31: Primerjava CI med objektoma z Mann-Whitney U testom	104
Preglednica 32: Vlažnost v % po metodah.....	104
Preglednica 33: Primerjava vlažnosti med objektoma z Mann-Whitney U testom.....	105
Preglednica 34: Širina sečnih poti in svetlih profilov.....	105
Preglednica 35: Koeficient širine sečne poti glede na širino stroja.....	106
Preglednica 36: Delež motene površine po fazah dela	106
Preglednica 37:Primerjava širine sečnih poti med objektoma z Mann-Whitney U testom	107
Preglednica 38: Primerjava naraslih in stisnjenih kolesnic med fazami dela.....	107

KAZALO SLIK

Slika 1: Kombinirani stroj za sečnjo HSM 805F v obliki zgibnega polprikoličarja foto: Mateja Intihar)	34
Slika 2: Kombinirani stroj za sečnjo HSM 805F v obliki stroja za sečnjo (foto: Mateja Intihar)	35
Slika 3: Kombinirani stroj za sečnjo HSM 805F v obliki sedlastega traktorja (foto: Matevž Mihelič)	35
Slika 4: Vitel Adler (foto: Mateja Intihar)	37
Slika 5: Vitel je na zadnjem delu stroja (foto: Mateja Intihar)	38
Slika 6: Procesorska glava CTL 453	40
Slika 7: Procesorska glava pri delu (foto: Mateja Intihar)	41
Slika 8: Sečnja lesa s strojem za sečnjo (foto: Mateja Intihar)	46
Slika 9: Vožnja lesa z zgibnim polprikoličarjem (foto: Mateja Intihar)	47
Slika 10: Objekt 1 – razvojna faza drogovnjak (foto: Mateja Intihar)	48
Slika 11: Označevanje drevja za posek – drevje za posek označeno s piko in prsnim premerom (18 cm) (foto: Mateja Intihar)	48
Slika 12: Redčenje v drogovnjaku (foto: Mateja Intihar)	49
Slika 13: Vožnja lesa z zgibnim polprikoličarjem in sortiranje lesa (foto: Mateja Intihar)	50
Slika 14: Sortiranje lesa na skladišču po debelini in kakovosti (foto: Mateja Intihar)	50
Slika 15: BOSCH križni linijski nivelirni laser (foto: Mateja Intihar)	52
Slika 16: Merilni trak dolžine 50 m in sekaški meter (foto: Mateja Intihar)	53
Slika 17: Dlančnik Trimble (foto: Mateja Intihar)	54
Slika 18: Leseni količki, dolžine 25 cm. Prva številka (1) označuje številko sečne poti, druga pa številko prečnega profila (4) (foto: Mateja Intihar)	55
Slika 19: Beleženje podatkov po prečnih profilih (laser, sekaški meter, trasirka in dlančnik) (foto: Mateja Intihar)	57
Slika 20: Penetrometer FieldScout SC900 (foto: Mateja Intihar)	59
Slika 21: Penetrometer FieldScout SC900 zaslon (foto: Mateja Intihar)	59
Slika 22: Vlagomer FieldScout TDR 300 (foto: Mateja Intihar)	61
Slika 23: Objekt 2 – sestoj v obnovi (foto: Mateja Intihar)	62
Slika 24: Klešče (foto: Mateja Intihar)	63
Slika 25: Spravilo s sedlastim traktorjem (foto: Matevž Mihelič)	63
Slika 26: Spravilo lesa s sedlastim traktorjem (foto: Matevž Mihelič)	64
Slika 27: Nakladanje tovara na sedlasti traktor (foto: Matevž Mihelič)	65

Slika 28: Povprečne vrednosti konusnega indeksa (CI) glede na globino tal	67
Slika 29: Vlažnost tal glede na vrednosti konusnega indeksa (CI)	69
Slika 30: Globine kolesnic (delež) glede na fazo dela.....	74
Slika 31: Kolesnice in sečni ostanki po sečnji in spravilu pri sortimentni metodi (foto: Mateja Intihar).....	75
Slika 32: Debelina sečnih ostankov na kolesnici po sečnji glede na tip kolesnice po sečnji.....	77
Slika 33: Pokritost s sečnimi ostanki na kolesnici po sečnji glede na tip kolesnice po sečnji.....	78
Slika 34: Debelina sečnih ostankov na kolesnici po spravilu glede na tip kolesnice po spravilu	79
Slika 35: Pokritost s sečnimi ostanki na kolesnici po spravilu glede na tip kolesnice po spravilu	80
Slika 36: Debelina sečnih ostankov na kolesnici po sečnji glede na tip kolesnice po spravilu	81
Slika 37: Pokritost s sečnimi ostanki na kolesnici po sečnji glede na tip kolesnice po spravilu	82
Slika 38: Sečni ostanki na sečnospravični poti na objektu 1 (foto: Mateja Intihar).....	83
Slika 39: Debelina (delež) sečnih ostankov glede na fazo dela in mesto na sečni poti.....	84
Slika 40: Pokritost s sečnimi ostanki (delež) glede na fazo dela in mesto na sečni poti.....	85
Slika 41: Povprečne vrednosti konusnega indeksa (CI) glede na globino tal	90
Slika 42: Vlažnost tal glede na vrednosti konusnega indeksa (CI)	92
Slika 43: Globine kolesnic (delež) glede na fazo dela.....	94
Slika 44 : Kolesnice po spravilu lesa s sedlastim traktorjem	95
Slika 45: Debelina sečnih ostankov (delež) na kolesnicah glede na tip kolesnice	96
Slika 46: Pokritost s sečnimi ostanki (delež) na kolesnicah glede na tip kolesnice	97
Slika 47: Debelina sečnih ostankov (delež) po spravilu glede na mesto na sečni poti.....	98
Slika 48: Pokritost s sečnimi ostanki (delež) po spravilu glede na mesto na sečni poti.....	99
Slika 49: Primerjava vrednosti konusnega indeksa (CI) glede na globino tal.....	103
Slika 50: Primerjava vlažnosti tal glede na vrednosti konusnega indeksa (CI).....	104
Slika 51: Primerjava globine kolesnic med fazami dela.....	108
Slika 52: Primerjava debeline sečnih ostankov med fazami dela glede na tip kolesnic...	109
Slika 53: Primerjava pokritosti s sečnimi ostanki med fazami dela glede na tip kolesnice.....	110
Slika 54: Primerjava debeline sečnih ostankov med fazami dela glede na mesto na kolesnici.....	111

Slika 55: Primerjava pokritosti s sečnimi ostanki med fazami dela glede na mesto na kolesnici	112
---	-----

KAZALO PRILOG

Priloga A: Pregledna karta objektov	
-------------------------------------	--

1 UVOD

Zgodovina razvoja strojne sečnje se je pričela v deželah severa, kjer so tedaj gospodarili velikopovršinsko golosečno, v pretežno iglastih gozdovih manjših dimenzij, vendar najdemo danes sodobne tehnologije kratkega lesa tudi v deželah, kjer prevladujejo listavci, pri redčenjih, celo v manjši gozdni posesti, v alpskih deželah pa tudi na strmih terenih (Košir, 2002).

V Sloveniji se gozdarstvo ravna po treh poglavitnih načelih: načelo trajnosti, načelo sonaravnosti in načelo večnamenskosti. Ta tri načela nam dajejo občutek, da strojna sečnja nekako ne sodi v naš prostor. Vendar pa je strojna sečnja dandanes zaradi velikega tehnološkega napredka nekaj povsem vsakdanjega.

Strojna sečnja ni primerna le za velikopovršinsko golosečno gospodarjenje. V Sloveniji, kjer je golosečnja prepovedana z zakonom, stroje za sečnjo uporabljamo predvsem za redčenja v iglavcih, zadnja leta pa je pogosta tudi sečnja in redčenje v listavcih.

Kot vsaka tehnologija, ima tudi strojna sečnja prednosti, pa tudi slabosti. Stroji za sečnjo in spravilo so postali zelo učinkoviti z ekonomskega stališča, saj dosegajo višje učinke v krajšem času, kot druge oblike dela. Dobra stran strojne sečnje (z ekonomskega vidika) je tudi ta, da lahko stroj dela v več izmenah in v skoraj vseh vremenskih razmerah. Z razvojem so stroji postali tudi ergonomsko bolj primerni in seveda varnejši, saj je strojnik zaščiten pred zunanjimi vplivi. Strojna sečnja je tudi najbolj primerna oblika dela pri sanacijah vetrolomov, kjer je delo še posebej nevarno zaradi podrtega drevja. Seveda pa se kot pri drugih oblikah dela, tudi tu pojavljajo negativne posledice, predvsem za okolje. Ena izmed najbolj pogostih poškodb, ki jih povzroča strojna sečnja, so poškodbe tal, ki nastanejo zaradi velike mase strojev in njihove velikosti. Stroji lahko povzročijo globoke kolesnice, ki na gozdna tla vplivajo negativno (erozija, premeščanje tal, poškodbe korenin, zmanjšanje rastnosti dreves ...), zmanjšuje pa se tudi obseg rastne površine, saj je zaradi majhnega dosega dvigala, gostota sečnih poti zelo velika. Za strojno sečnjo pa so značilne še druge poškodbe, kot so na primer poškodbe stoječega drevja.

Vplive strojne sečnje je potrebno preučiti z vseh vidikov. Pri tem ni pomembno le, koliko naredi posamezen stroj, temveč tudi vsi drugi vidiki, od varstva pri delu do vpliva na gozdni sestoj. Tu nam manjka še precej znanja, saj tujih izkušenj ne moremo neposredno prenašati v prostor (Košir, 2002).

2 NAMEN NALOGE

V naši raziskavi smo se osredotočili na poškodbe tal, ki jih povzročajo stroji za sečnjo. V tujini, predvsem v skandinavskih državah, kot so Švedska in Finska, je bilo narejenih že veliko raziskav na to temo. V slovenskih gozdovih smo prvi stroj za sečnjo uporabili leta 1996, od takrat se število le-teh vztrajno povečuje.

V dosedanjih raziskavah so večinoma preučevali klasične oblike strojne sečnje; to je stroj za sečnjo (harvester) in zgibni polprikoličar (forwarder). V naši raziskavi pa smo imeli opravka s kombiniranim strojem za sečnjo HSM 805F.

Od prvega dela s strojem za sečnjo do danes je minilo že dobrih 17 let, vendar o poškodbah, ki jih povzročajo veliki stroji, vemo malo. Potrebni je čim več raziskav na to temo, da bi ugotovili kateri so bistveni dejavniki, ki vplivajo na nastanek poškodb tal. Le tako bomo lahko izluščili, katere so omejitve, pogoji in zahteve, ki jih predstavlja strojna sečnja.

S kombiniranim strojem za sečnjo smo izvajali 3 različne delovne faze: sečnjo, spravilo kratkega lesa in spravilo dolgega lesa s kleščami (sedlasti traktor). Namen naše raziskave je, da z vidika poškodb tal, ugotovimo, katera oblika je bolj primerna za naše gozdove (za redčenja) ter kako oz. s kakšnimi ukrepi te poškodbe čimbolj zmanjšati. Strojna sečnja naj stremi k cilju, da bo naše delo z gozdom čim bolj okolju prijazno in, da bodo izpolnjena vsa tri načela gospodarjenja z gozdom: trajnost, sonaravnost in večnamenskost.

3 PREGLED OBJAV

3.1 MOŽNOSTI ZA STROJNO SEČNJO V SLOVENIJI

Pri uvajanju novih tehnologij pridobivanja okroglega lesa Slovenija močno zaostaja, čeprav smo tudi pri nas že zabeležili več primerov uporabe strojne sečnje. Doslej smo že marsikje uporabili stroje za sečnjo in stroje za izdelavo. Posebnosti Slovenije, ki jih moramo upoštevati pri uvajanju novih tehnologij strojne sečnje so zlasti (Košir, 2002):

- zakoni in predpisi,
- drevesna in debelinska sestava sestojev in mešanost razvojnih faz,
- posestna struktura ter
- terenske značilnosti in gozdna infrastruktura.

3.1.1 Zakoni in predpisi

Zakoni in predpisi ne prepovedujejo nobene od znanih tehnologij pridobivanja okroglega lesa, pač pa mora vsaka od uporabljenih tehnologij zadostiti določenim zahtevam. Če pustimo ob strani splošna načela gospodarjenja z gozdovi, ki z uvedbo novih tehnologij niso ogrožena, so posebnosti iz predpisov zlasti naslednje (Košir, 2002):

1. Praktično je potrebno rešiti zahteve glede gozdnega reda pri iglavcih, kar bi pri nekaterih tehnologijah lahko predstavljalo težavo, s katero se sosednje države ne srečujejo. Pri sečnji s stroji za sečnjo npr. drugod zahtevajo, da strojnik polaga predse sečne ostanke, ker s tem bistveno zmanjšuje poškodbe tal.
2. Potrebno bi bilo prilagojeno razlagati zahteve pravilnika o gradnji in vzdrževanju gozdnih prometnic, ki določa najvišjo možno gostoto vlak. Ta je pri nekaterih tehnologijah strojne sečnje obvezno bistveno višja, če uvrstimo površine vožnje po brezpotju med vlake.

3.1.2 Drevesna in debelinska sestava sestojev in mešanost razvojnih faz

Drevesna in debelinska sestava sestojev in mešanost razvojnih faz vpliva na izbiro strojev in tehnologij. V primeru uporabe strojev za sečnjo, ko govorimo o tehnologijah izdelave sortimentov v sečišču, je potrebno izbrati takšne, ki so sposobni sečnje iglavcev in listavcev do določene debeline. Vedeti je potrebno, da je pri večini teh strojev maksimalni premer drevesa, ki ga lahko obdelujejo pri iglavcih okoli dvakrat večji od optimalnega. Pri listavcih je ta razlika lahko še večja. V začetni fazi uvajanja novih strojev bi lahko postavili zgornjo mejo maksimalnega premera okoli 50 cm. S takšnimi stroji bi lahko pokrili vsa redčenja drogovnjakov in tanjših debeljakov iglavcev ter prav tako mlajše razvojne faze listavcev (optimalni premer dreves bi bil med 22 in 28 cm). Če bi stroji delali predvsem v zgodnjih redčenjih, bi se maksimalni premer lahko gibal okoli 40 cm. Optimalni premer dreves bi bil v tem primeru med 12 in 20 cm. Mešanost razvojnih faz je prostorski problem, ki ga lahko uspešno rešujemo z organizacijskimi prijemi, kot je podrobno gozdnogojitveno in sečnospravilno načrtovanje (Košir, 2002).

3.1.3 Posestna struktura

Posestna struktura je poseben problem, ki ga na hitro ni mogoče rešiti. V začetni fazi uvajanja strojne sečnje bi bila ta zagotovo vezana na enolastniško večje komplekse gozdov ali vsaj na večje parcele, kasneje pa je mogoče računati, da se bodo za novo cenejšo ponudbo storitev pričeli zanimati tudi srednje veliki in manjši posestniki, ki sami ne delajo v gozdu (Košir, 2002).

3.1.4 Terenske značilnosti

Med terenskimi posebnostmi je za uvajanje strojne sečnje pomemben naklon terena in skalovitost, v določenih razmerah pa tudi nosilnost gozdnih tal. Stroji za sečnjo so danes sposobni premagovati zelo velike naklone terena (do 60 %) in premagovati velike površinske ovire (prehodnost je okoli 60 cm), vendar je tu meja, prek katere je njihova uporaba zelo otežena, neekonomična ali nemogoča, še posebej kadar več zaviralnih

dejavnikov deluje istočasno. V začetni fazi uvajanja teh strojev k sreči to ne bi bil odločilni problem, saj bi lahko našli terene (npr. do naklonov 35 %) z ne preveč skalovitosti, kjer bi stroji lahko uspešno delali. Na težkih terenih obstaja še druga možnost: da uporabimo stroje za izdelavo (procesorje) in uvedemo drevesno metodo. Podiranje dreves bi potekalo z motorno žago, spravilo lesa pa z gozdno žičnico. Stroj za izdelavo bi delal v kombinaciji z žičnico na gozdni cesti.

Krč (2002) pa podaja tale merila za uporabo strojev za sečnjo: za strojno sečnjo so primerni tereni, kjer povprečni naklon terena v odseku ne presega 30 %, imajo v sestojih nad 70 % iglavcev, povprečna skalovitost terena ne presega 50 % in ne gre za vrtačast teren, ki bi močno oviral premikanje strojev za sečnjo lesa. Površine in možni poseki se razlikujejo po gozdnogospodarskih območjih. Skupni delež je večji v državnih gozdovih in tam, kjer imajo večji delež iglavcev. Po sedanjem stanju sestojev je pri izbranih vrednostih vplivnih dejavnikov 8 % površine slovenskih gozdov primerne za strojno sečnjo lesa. Na tej površini je predvidena 1/5 skupnega možnega poseka iglavcev.

3.1.5 Gozdarska infrastruktura – odprtost z gozdnimi cestami

Glede gozdarske infrastrukture je strojna sečnja v primerih, ko les vozimo, s stroškovnega vidika manj občutljiva od tehnologij, pri katerih les vlačimo. Res pa je, da v teh primerih potrebujemo tudi ustrezno omrežje gozdnih vlak oz. terene, pri katerih je mogoča vožnja po brezpotju. V primerih, ko les najprej vlačimo in šele nato izdelamo sotrimente s stroji za izdelavo (npr. ob gozdni cesti), pa so razlike le v tem, da morajo elementi vlak oz. koridorji žičnic omogočati vlačenje celih dreves (Košir, 2002). Vožnja po brezpotju je pri spravilu lesa in tudi pri vožnji z zgibnimi polprikoličarji (forwarderji) zelo pogosta. Z organizacijskega vidika, še posebej z vidika ekološke priprave dela je seveda nujno, da so takšne negrajene vlake in poti vnaprej označene in morajo biti po potrebi tudi odstranjene večje ovire, kot so štori in večje skale (Košir, 1997).

3.2 KOMBINIRANI STROJ ZA SEČNJO IN SPRAVILO – HARWARDER

Kombinirani stroji za sečnjo so se pojavili pred nekaj leti kot tehnološki poizkus racionalizacije strojne sečnje in spravila lesa. Koncept je bil zanimiv in je pokazal več prednosti pred starejšimi sistemi, pri katerih so uporabljali pri strojni sečnji dva stroja: enega za sečnjo in drugega za spravilo lesa. Sistem enega samega kombiniranega stroja zahteva manjša vlaganja v nabavo stroja in v samo organizacijo dela (Košir, 2004).

Kombinirani stroji za sečnjo in spravilo lesa združujejo funkcije strojev za sečnjo in zgibnih polprikoličarjev. Tudi njihova sestava kaže na podobnosti z obema skupinama strojev. Namen njihovega razvoja je, da se nadomesti dva stroja z enim, ki bi opravljal vse funkcije stroja za sečnjo in zgibnega polprikoličarja. Vsi so zgibne konstrukcije. Zadnji del ja namenjen bremenu in je podoben zadnjemu delu zgibnega polprikoličarja. Na prvem delu so namestili vrtljivo kabino z dvigalom in glavo za sečnjo in motor. Ti stroji lahko posekajo in izdelajo sortimente, opravijo nakladanje na prostor za tovor in nato les odpeljejo do gozdne ceste, kjer ga razložijo oz. sortirajo v skladovnice. Težava pri tem razvoju je bila sprememba glave za sečnjo, ki prvotno ni namenjena prekladanju lesa, čeprav je mogoče z noži za kleščenje posamezne kose lesa tudi preložiti. Glava za sečnjo pri kombiniranih strojih ima torej dva namena: posekati drevo in izdelati sortimente in biti hkrati dovolj učinkovita pri nakladanju oz. razkladanju lesa (Košir, 2004).

Nakladanje in razkladanje lesa je pri teh strojih kritično opravilo, ki je zamudnejše kot pri zgibnih polprikoličarjih, ki imajo klešče prirejene za ta namen. Razvoj kombinirane sečne glave zato zanesljivo še ni končan (Košir, 2004).

Poleg posebne sečne glave, se spreminja tudi nakladalni prostor. Ta je lahko gibljev v vertikalni in horizontalni smeri tako, da se nekoliko prilagaja smeri osi podrtega drevesa, ki ga sečna glava obdeluje. Ta možnost pomeni, da lahko sečna glava hkrati s kleščenjem drevesa izdelane sortimente naklada neposredno na prostor za tovor. Sortimenti ne padajo na tla ob stroju kot pri običajni strojni sečnji, od koder jih je potrebno nato spet pobirati in naložiti, temveč padajo neposredno na prostor za tovor (Košir, 2004).

Seveda ima tak način dela tudi slabosti. Primeren je predvsem za sestoje, kjer ne pričakujemo zelo veliko število različnih sortimentov kot so npr. zgodnejša redčenja ali enomerni sestoji brez velike mešanosti drevesnih vrst. Težave nastanejo namreč pri sortiranju, ki mora biti končano ob kamionski cesti, od koder les vozimo neposredno do kupca. Glava za sečnjo je sicer prirejena tudi za prekladanje sortimentov, vendar je pri tem manj učinkovita od navadnega grabež zgibnih polprikoličarjev. Sortiranje sortimentov iz tovara, v katerem je žagarska hlodovina iglavcev in listavcev naključno zmešana z drugimi sortimenti, je zamudno in manj učinkovito, kot to delo opravljajo zgibni polprikoličarji. Ti povečini sortirajo sortimente že v gozdu in vozijo iz gozda najprej hlodovino in nato kakšen drug sortiment. Pri nekaterih kombiniranih strojih poskušajo to slabost odpraviti tako, da pri izdelavi drevesa in nakladanju sortimentov pazijo na kateri del prostora za tovor naložijo posamezno vrsto sortimenta (Košir, 2004).

Če primerjamo kombinirane stoje s posebnimi stroji za sečnjo in spravilo lesa lahko opazimo, da so si sorodni oz. podobni. Vidimo, da je moč teh strojev bližje moči motorjev zgibnih polprikoličarjev. Enako velja tudi za njihovo dolžino, saj pretežni del te dolžine zavzame tovor. Pri primerjavi mase strojev ugotovimo, da so bližje strojem za sečnjo oz., da so nekje med povprečno maso zgibnih polprikoličarjev in strojev za sečnjo. Njihove delovne hitrosti so podobne strojem za sečnjo, zgibni polprikoličarji so nekaj hitrejši. Dejanske delovne hitrosti so seveda odvisne od delovnih razmer in jih ne poznamo, dokler ne opravimo ustreznih meritev in primerjav. Cestna hitrost pri teh strojih ni najvažnejši podatek, saj jo lahko uporabijo le v primernih pogojih in le redko uporabljajo največje možne cestne hitrosti (Košir, 2004).

Pomembnejša je primerjava dosega dvigala. Ta je med povprečnim dosegom dvigala zgibnih polprikoličarjev in strojev za sečnjo, vendar moramo vedeti, da sta doseg dvigala in lastnosti sečne glave soodvisni značilnosti, ki sta pri večini proizvajalcev na izbiro kot različici istega osnovnega stroja. Pričakujemo lahko, da bo šel po eni strani razvoj kombiniranih strojev v smeri približevanja strojem za sečnjo, torej povečevanju dosega dvigala in zmogljivosti sečne glave in po drugi strani povečevanju največjega tovara, ki je danes povprečno manjše, kot pri zgibnih polprikoličarjih. Tak razvoj bo zahteval

povečanje mase stroja za kakšno tono ali več in izziv konstruktorjem je, kako bodo uspeli pri tem zmanjšati statični tlak na tla kombiniranega stroja (Košir, 2004).

Pri prevozu lesa je nosilnost stroja (zgibnega polprikoličarja ali kombiniranega stroja) odvisna od prostora za tovor in od stabilnosti stroja na neravnem terenu, kjer je odločilen prečni naklon. Prostor za tovor je mogoče spremeniti in pri nekaterih zgibnih polprikoličarjih poznamo rešitve, pri katerih je prostor za tovor spremenljiv (širši ali ožji pri istem stroju). Glede na to, da je pravilne smeri največkrat zelo težko prilagajati terenu (npr. težnja po padničnih smereh, kjer je prečni naklon majhen), lahko razmišljamo tudi pri kombiniranih strojih o spreminjanju nakladalnega prostora. To bi pomenilo, da bi tudi ti stroji na ravnih terenih oz. primernih poteh lahko nakladali precej več, v prečni smeri nagnjenih terenih pa manj. Spremenljiva širina in gibljiv prostor za nakladanje bo tem strojem omogočil izenačitev števila voženj pri odvozu lesa s številom voženj, ki ga potrebujejo zgibni polprikoličarji (Košir, 2004).

Prednosti kombiniranih strojev so manjši stroški usposabljanja in servisiranja, manjši stroški premikov s prevozom strojev, manjša občutljivost na koncentracijo delovišč, manjši stroški delavcev (pol manjša ekipa). Tudi investicija je manjša, preprostejša je organizacija dela. Primernejši od sistema dveh strojev so za manjše organizacije ali celo podjetnike. Slabosti so v tem, da vse opravlja en stroj, pri samem delu pa več časa porabijo za prekladanje lesa kot zgibni polprikoličarji. Nerešene so tudi težave s sortiranjem sortimentov (Košir, 2004).

3.3 ZNAČILNOSTI GOZDNIH TAL

Tla so dinamičen sistem, ki opravljajo veliko vlog, ki so odločilnega pomena za pridobivanje lesa in delovanje ekosistema. Degradacija tal je lahko zelo hitra, medtem ko sta nastajanje in regeneracija tal izjemno počasna procesa. Uporaba težke mehanizacije je v Sloveniji prisotna že več desetletij, vendar je bila do nedavnega omejena pretežno na stalne ali grajene vlake. Na negrajenih prometnicah prihaja do največjih motenj v gozdnih tleh, posledice so največkrat nastanek kolesnic, zbitost in premeščanje tal. Vidne, površinske

poškodbe se lahko sanirajo, težje pa je zaznati globinske poškodbe tal, ki lahko potencialno negativno vplivajo na delovanje sistema tal (Železnik in sod., 2011).

NOSILNOST TAL

Obstaja več različnih definicij nosilne zmogljivosti tal, ki so odvisne od testiranja tal in metod modeliranja. V gozdarstvu je nosilna zmogljivost tal običajno smatrana kot maksimalni dovoljeni pritisk kolesa na tla. Zapisana je v kPa. Kontaktni tlak na tla je težko oceniti, ker je dotikalna površina odvisna od lastnosti stroja in lastnosti tal. Po WES metodi je nosilna zmogljivost tal direktno povezana z odpornostjo tal proti penetriranju, konusni indeks (CI) pa je indikator nosilne zmogljivosti tal. Nosilnost tal je odvisna tudi od kohezije tal in notranjega trenja tal (Saarilahti, 2002).

Nosilnost tal je mehanska lastnost tal, ki predstavlja zmožnost tal, da se uprejo zunanjim silam. Določena je z ravnotežjem tal ter s težo bremena (Šušnjar in sod., 2006).

Glede spremembe gostote v talnem profilu se spreminja tudi nosilnost tal oz. odpornost proti zbijanju v različnih slojih. Seveda so dogajanja v tleh najbolj odvisna od vrste tal, trenutnih vremenskih razmer (vlažnosti, temperatura) in vrste obremenitev. Nosilnost gozdnih tal izražamo v kPa ali MPa (po starem $1 \text{ kg/cm}^2 = 100 \text{ kPa}$) in je različna za razne vrste podlage in vlažnosti (Košir, 1997).

Človeško stopalo pritiska v povprečju na tla s 30-40 kPa, odrasel konj (550 kg) z okoli 170 kPa, kolesni traktor z 70-300 kPa. Moderni zgibni polprikoličar ima tlak med 60-160 kPa, stroj za sečnjo 50-100 kPa (vir: Tractor & Construction Plant Wiki), vendar imajo najnovejše izvedbe (večje število osi, primerne gume) že tlak, ki je blizu goseničarjem. Cilj konstruktorjev je izdelati sodoben stroj s tlakom, kot ga ima človeško stopalo. Ta prizadevanja so že skoraj uspela (npr. hodeči harvester). Tlak na podlago je odvisen od konstrukcije in mase stroja. Pomembno vprašanje je, kolikšen tlak zdržijo tla brez pomembnejših deformacij (Košir, 1997).

Nosilnost tal ugotavljamo na več načinov, pri čemer so tudi rezultati lahko različni. Poznamo analitične in empirične metode ter kombinacije enih in drugih. Za potrebo v gozdarstvu, kjer poznamo veliko variabilnosti tal, se je empirična metoda izkazala za primernejšo, čeprav je zamudnejša in zato nepraktična. Starejša metoda (Bekker, 1960) je prav tako nepraktična, težko izvedljiva za gozdarske namene in ne pride v poštev za hitro operativno rabo. Priročnejša je WES metoda, ki so jo razvili pri US Army Corps of Engineering Research Centre oz. Waterway Experimental Station (Anttila, 1998, Saarilahti, 2002b, 2002c), pri kateri izmerimo odpor tal proti prodiranju konusa določenih dimenzij (konusni indeks – CI, Conus Index, ASAE 1998).

Nosilnost tal je meril tudi Mali (2006) v diplomski nalogi. Na grebenu so izračunali, da je povprečna vrednost konusnega indeksa 2024 kPa, na ostalih tleh 1974 kPa in v vrtači 1775 kPa. Tla na grebenu so ponavadi bolj plitva in zaradi tega tudi najbolj nosilna. V vrtači je zaradi površinskega odtekanja vode po pobočju plast zemlje debelejša, s tem pa nosilnost tal najmanjša. Ugotovili so, 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 %. 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 so 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.

Stroji za sečnjo in spravilo so zelo težki in s svojo vožnjo spreminjajo tla. Tla z nosilnostjo od 100 kPa naprej, so označena kot »dobra« tla (t.j. suha mineralna tla), za »slaba« tla pa veljajo tla z nosilnostjo pod 20 kPa (t.j. mokra šotna tla). Stroji so različni in povzročajo nominalni tlak na tla od minimalnega 30 kPa in vse tja do 100 kPa. Pri delu v gozdu naj kontaktni tlak, ki ga povzročajo vozila ne preseže nosilne zmogljivosti tal. To pomeni, da moramo glede na nosilnost tal izbrati primeren stroj. Velikost stroja je povezana tudi z razvojno fazo gozda. Čas sečnje je tudi pomemben oz. kritičen faktor, saj nosilna zmogljivost tal tekom leta niha v povezavi z vlažnostjo, še posebej tam, kjer so tla še posebej občutljiva (primer: šotna tla – nosilna zmogljivost tal v suhem obdobju (poleti) je 80 kPa, v deževnem obdobju pa se nosilnost tal zmanjša na 20 kPa) (Owende in sod., 2002).

Kakovost talne podlage za gibanje strojev (in tudi nosilnost tal) določajo naslednje značilnosti (Suhadolc in sod., 2005 cit. po Košir, 2010):

- delež skeleta (skelet: večji od 2 mm),
- tekstura tal oz. velikostna struktura delcev (teksturni trikotnik),
- poroznost (velikost in razporeditev por),
- struktura tal,
- vlažnost tal.

Za nosilnost tal je pomembna tudi prekoreninjenost tal, ki je na eni strani pomembna armatura in vpliva na nosilnost tal, na drugi strani pa je del ranljivega sestoja. Za nosilnost tal je skelet ključen, saj praviloma omogoči večje tlake na tla brez občutnih sprememb. Ločimo več vrst skeleta glede na velikost delcev: zelo majhen skelet (med 2 in 6 mm), majhen skelet (med 6 in 20 mm), srednje velik skelet (med 20 in 60 mm), velik skelet (med 60 mm in 20 cm), zelo velik skelet (med 20 in 60 cm) ter skale (nad 60 cm). Glede na vsebnost skeleta pa ločimo malo skeletna tla z manj kot 10 % skeleta, srednje skeletna tla (od 10 do 50 % skeleta) ter močno skeletna tla (nad 50 % skeleta). Prav tako je pomembna

vsebnost gline, ki je v suhem stanju dobro nosilna za prehode strojev, vendar izgubi to lastnost z večanjem vlažnosti (Košir, 2010).

Med mnogimi lastnostmi tal, ki jih lahko ugotavljamo v laboratorijih in vplivajo na nosilnost tal in s tem tudi na stopnjo poškodovanosti zaradi spravila lesa so:

- trdnost tal,
- gostota tal,
- vlažnost tal.

TRDNOST TAL

Trdnost tal določa nosilno zmogljivost tal in določa tudi prevoznost terena. V gozdarstvu je nosilna zmogljivost tal razumljena kot maksimalni dovoljeni pritisk kolesa na tla. Tlak kolesa je težko natančno določiti, saj je kontaktna površina odvisna od tipa pnevmatike in lastnosti tal (Saarilahti, 2002A).

Leta 1911 je švedski raziskovalec Atterberg razvil klasifikacijski sistem in metodo za določitev različnih stadijev konsistence. Metoda temelji na določitvi vsebnosti vode v tleh glede na različna konsistenčna stanja in se jo izračuna tako, da se maso vode deli z suho maso tal. Ta konsistenčna stanja so definirana kot tekoče, plastično in trdno stanje. Vrednosti teh različnih stanj so odvisne od večih talnih parametrov kot je npr. velikost talnih delcev, porazdelitve talnih delcev ter specifična površina delcev, ki vpijajo vodo. Ocena trdnosti tal je določena z indeksom plastičnosti in indeksom konsistence (Poršinsky in sod., 2006).

V mehaniki tal, ki se ukvarja z odzivom tal na fizični stres, je bilo razvitih več sistemov klasifikacije za primernost tal za vožnjo s težkimi stroji. Glavni problem je odvisnost trdnosti tal od tipa tal oz vrste tal in vlažnosti tal (vremenskih razmer). Konusni indeks (CI), strižna trdnost (τ) in modul deformacije so parametri, ki se jih uporablja pri klasifikaciji trdnosti tal, ki je bila razvita v EcoWood Operations Protocol for eco-efficient

wood harvesting on sensitive sites (Ward in Lyons, 2000, Owende in sod. 2002, Ward in Owende, 2003). Vsak od teh parametrov je dokaj lahko izmerljiv na terenu z prenosno opremo. Tla so uvrščena v kategorije trdnosti tal bazirana glede na najmanjši skupni imenovalec, t.j. vrednost parametra, ki pade v najnižjo kategorijo trdnosti tal. Trdnost tal določa nosilno zmogljivost tal in vlečno zmogljivost koles in s tem zmožnost prevoznosti tal. EcoWood klasifikacija trdnosti tal: čvrsta tla, povprečno čvrsta tla, občutljiva oz. mehka tla (Poršinsky in sod., 2006). Trdnost tal nad 480 kPa je meja, ki loči prevozna tla od neprevoznih tal oz. terenov (Eichrodt, 2003 cit. po Poršinsky in sod., 2006).

Trdnost tal, ki se jo meri z konusnimi penetrometri (cone penetrometer) je odvisna od večih parametrov, najbolj pa od vsebnosti vode v tleh in gostote tal (Vaz in sod., 2001). Tudi Han in sod. (2009) poročajo, da je najpomembnejši faktor, ki vpliva na odpornost tal proti penetriranju, vlažnost tal (Bennie in Burger, 1988).

Kot večina avtorjev, tudi Saarilahti (2002) navaja, da je najboljši instrument za merjenje odpornosti tal konusni penetrometer. Trdnost tal je v neposredni povezavi z odpornostjo tal proti penetraciji. Odpornost tal proti penetraciji je zelo odvisna od kota penetriranja in sile s katero penetriramo. Penetrometer je široko uporaben na terenskih raziskavah. Odpornost tal proti penetraciji je pri večini vrst tal odvisna tudi od globine, do katere penetriramo (penetracijske globine). Avtor izpostavlja tri metode za merjenje talnih parametrov: WES metoda, kjer se odpornost tal proti penetriranju meri s standardnim konusnim penetrometrom. Bekker metoda in tudi matematična metoda pa sta bolj komplicirani kot WES metoda.

Tudi Košir (2010) navaja, da je za trdnost tal priročnejša WES metoda, ki so jo razvili pri US Army Corps of Engineering Research Centre oz. Waterway Experimental Station (Anttila, 1998, Saarilahti, 2002b, 2002c), pri kateri izmerimo odpor tal proti prodiranju konusa določenih dimenzij (konusni indeks – CI, Conus Index, ASAE 1998). Za to metodo potrebujemo standardizirane penetrometre. Izračunamo več značilnosti kolesa in s primerjavo z izmerjenimi CI ocenimo prehodnost terena (Košir, 2010). CI se razlikuje med vrstami tal, se spreminja z globino in z njo praviloma narašča. Za transport lesa je

važen CI v vrhnjih plasteh tal, pri čemer vemo, da je za lažji stroj ta plast manjša, za večji pa debelejša. Povprečni CI izračunamo z naslednjo enačbo (Košir, 2010):

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

Kjer je:

CI konusni indeks (kPa),

CI₁₀ konusni indeks v globini 10 cm (kPa),

CI₂₀ konusni indeks v globini 20 cm (kPa).

Stopnja zbitosti tal, ki nastane zaradi sečnje in spravila, je odvisna o trdnosti tal in gostote tal. Odnos med trdnostjo tal in gostoto tal je pozitiven. Največji porast gostote tal in trdnosti tal se pojavi v prvih nekaj prehodih stroja. Obe tudi naraščata z globino tal. Han in sod. (2005 cit. po Akay in sod., 2006) poročajo, da stroji znatno povečajo trdnost tal v prvih 10-20 cm globine, v globini tal 30 cm je bila trdnost tal skoraj nespremenjena (Akay in sod., 2006).

Akay in sod. (2006) so v svoji raziskavi preučevali vpliv gozdarskih strojev na tla. Trdnost tal in gostoto tal so pobirali na raziskovalnih ploskvah; na vsaki ploskvi so pobrali 10 vzorcev oz. podatkov. Za ugotavljanje trdnosti tal so uporabili: FieldScout SC 900 Soil Compaction Meter. Merili so trdnost tal v dveh globinah in sicer 10 in 20 cm. Povprečna vlaga v času raziskav je bila 7,5 %. Vrednosti nemotene trdnosti tal v globini 10 cm je bila okoli 835 kPa. Glede na začetno trdnost tal se je po prvem, petem in desetem prehodu stroja trdnost tal povečala za 43, 106 in 139 %. V globini 20 cm je bila vrednost začetne trdnosti tal okoli 960 kPa. Glede na začetno trdnost tal se je po prvem, petem in desetem prehodu stroja trdnost tal povečala za 46, 99 in 111%. Po petem in desetem prehodu stroja, je bil porast vrednosti trdnosti tal pri globini 10 cm večji kot v globini 20 cm. Han in sod. (2005) so tudi poročali o tem, da je največji porast trdnosti tal v 10 cm globine, nato v 20 in nato v 30 cm globine. Po enem prehodu stroja, pa so porasti trdnosti tal v 10 cm globine nekoliko manjši kot pri 20 cm. Rezultati nakazujejo, da je bil porast trdnosti tal značilen od prvega do petega prehoda v 10 cm globine. Trdnost tal je manjša, če pod stroj pokladamo

sečne ostanke, če je število prehodov manjše, vse to pa je odvisno od tipa tal. Kolesni stroji ponavadi povzročijo večje zbijanje tal, kar vodi do povečanja trdnosti tal in gostote tal.

GOSTOTA TAL

Gostota tal igra pomembno vlogo pri prevoznosti tal (Saarilahti, 2002).

Zunanji izgled brezpotja, po katerem traktor vlači les, nam pokaže zablateno površino z raztrganim zgornjim slojem tal, znotraj tal pa je pomembno zbijanje tal oz. spremembe gostote tal na račun zmanjšanja prostornine por v tleh (Košir, 1997).

Gostoto tal lahko izrazimo z navidezno gostoto tal. To je prostorninska masa tal, ki jo ugotavljamo kot razmerje med maso suhih tal (105 °C) in njihovo prostornino v neporušenem stanju (kg/m^3). Navidezna je odvisna od vrste tal – zlasti od talne sestave in je pri istih tleh odvisna od vlažnosti (Froelich, McNabb, 1983 cit. po Košir, 1997). Navidezna gostota z vlažnostjo narašča, pri veliki vlažnosti pa ponovno upade. Večja gostota tal pomeni tudi večjo nosilnost. Nosilnost tal z gostoto hitro narašča, kar pomeni, da ravno prav vlažna ali zbita gozdna tla bolje prenašajo vožnjo. Peščena ilovica ima npr. največjo navidezno gostoto pri 20 % vlažnosti in s tem največjo nosilnost okrog 5,50 MPa (Košir, 1997).

Spet podobno ugotavlja Vaz (2003, cit. po Mali, 2006), da navidezna gostota, ki vpliva na odpornost tal, pada, ko vlažnost tal narašča.

Gostoto tal lahko izračunamo po naslednji enačbi (Akay, 2006):

$$\rho_d = ((W_d - W_c) / V_c) \quad \dots(2)$$

kjer je ρ_d = gostota tal (g/cm^3), W_c = masa cilindra (g), W_d = masa suhega vzorca (g), V_c = volumen cilindra (cm^3).

Gerasimov in Katarov (2010) sta v svoji raziskavi preučevala vpliv gosenic in sečnih ostankov na nastanek kolesnic in zbijanje tal na občutljivih tleh. Ocenjevali so tudi gostoto tal. Zanimalo jih je, koliko se spremeni gostota tal po vožnji po mokrih tleh in po vožnji po suhih tleh. Vzorce tal so pobrali s cilindrom premera 4 cm in dolžine 4 cm. Ugotovili so, da se gostota tal ni pomembno spreminjala.

McDonald in Seixas (1997) sta v svoji raziskavi ugotavljala vpliv sečnih ostankov na zbitost tal. Zbitost tal je bila analizirana glede na spremembe v gostoti tal in trdnosti tal. Vzorci tal za ugotavljanje gostote tal so bili pobrani z cilindrom z premerom 5 cm in dolžine 5 cm. Vzorce so nato sušili 72 ur v pečici pri 105 °C in tako določili gostoto tal kot težo na volumen (t/m^3). Na vsaki ploskvi so pobrali deset vzorcev v treh globinah tal (0-5, 7,5-12,5, in 15-20 cm). To so naredili pred delom in po opravljenem delu. Začetna gostota tal je bila visoka, vse vrednosti so bile 1,8 t/m^3 ali večje, v globini večji od 7,5 cm. Gostota tal v 15 do 20 cm globini je bila povprečno 1,95 t/m . Naraščanje gostote tal je bilo značilno v vseh tretmajih v globini (0-5 cm). Naraščanja gostote tal ni bilo v globini od 15 do 20 cm. Gostota je naraščala zaradi večanja prehodov stroja. Gostota tal je narasla že po enem prehodu in je še vedno naraščala po petem prehodu. Po petih prehodih je bila gostota tal na golih tleh skoraj dvakrat večja kot na tleh pokritih s sečnimi ostanki. Ta rezultat nakazuje (za suhe razmere), da plast sečnih ostankov vpliva na manjšo gostoto tal.

VLAŽNOST TAL

Dejavnik, ki vpliva na nosilnost tal je predvsem vlažnost tal.

Vlažnost tal igra pomembno vlogo pri prevoznosti terena oz. njegovi prehodnosti (Saarilahti, 2002).

Ko se stroji vozijo po gozdu ima vlažnost tal velik vpliv na zmanjšanje in razporeditev prostora por, če so tla zbita (Adams in Froelich, 1984). Suha tla so bolj odporna na spremembe in velikost por in njihove razporeditve, vendar je ta odpornost hitro zmanjšana

če vlažnost tal naraste (McDonald in Seixas, 1997; Han in sod., 2006 cit. po Han in sod. 2009).

Han in sod. (2006) so raziskovali vpliv vlažnosti tal na zbijanje tal pri sortimentni metodi po strojni sečnji. Ugotovili so, da je bila vlažnost tal poglavitni faktor, ki je vplival na zbitost tal. Zbijanje tal je pogosta posledica dela s težko gozdarsko mehanizacijo, še posebej, če je vlažnost tal visoka (okoli 30 %).

Pandur in sod. (2010) poročajo, da je v nekaterih hrvaških gozdovih, kjer je veliko vode, vlažnost tal ključnega pomena za nosilno zmogljivost in s tem tudi zmožnosti opravljanja dela v gozdu. Povečana vlažnost tal pomeni zmanjšano nosilnost tal, rezultat tega je zmanjšana mobilnost strojev in s tem zmanjšana produkcija oz. negospodarnost, ter tudi povečan delež poškodb tal v obliki zbijanja tal in nastanka kolesnic. Zaradi povečane vlažnosti tal preko celega leta, spadajo ti gozdovi v razred občutljivih tal.

Richard in sod. (1999) so preučevali zbijanje tal po strojni sečnji. Ugotovili so, da je zbitost variirala z vlažnostjo tal in z obliko mehanizacije (tovor in širina pnevmatik). Celostni vpliv vlažnosti tal na zbijanje tal je odvisen od deformacije tal, stresa, ki ga povzroča stroj in območja stika med pnevmatikami in tlemi. Bolj kot so tla suha, manjša je možnost deformacije, boljše se stres prenaša iz stroja na tla in manjša je kontaktna površina (Soehne, 1958). Poročnost tal pada, če vlažnost tal narašča (Soehne, 1958; GueÂrif, 1982; Gupta and Larson, 1982).

Tudi Cerjak (2011) je v svoji diplomski nalogi ugotavljal povezanost vlažnosti tal z nosilnostjo tal. Na objektih je potekala meritev vlažnosti tal na dva načina. Z vlagomerom so izmerili vlažnost tal na vsakem profilu, merjenje vlažnosti tal z Kopeckijevimi cilindri pa so izvedli le na določenih profilih. Ugotovitve so pokazale, da sta si izmerjeni vlažnosti po obeh metodah dokaj podobni na Pohorju, medtem ko je na Goričkem razlika večja. S testom so preverili, ali obstajajo statistično značilne razlike med izmerjeno vlažnostjo po eni in po drugi metodi. Test je potrdil, da za objekt na Pohorju razlike niso statistično značilne, medtem ko so na Goričkem razlike statistično značilne na nivoju 5 %. Na posameznem profilu so primerjali izmerjeno vlažnost tal in CI. Trend kaže na to, da se z

višjo vlažnostjo, vrednosti CI manjšajo. Vendar pa je pri majhni spremembi vlažnosti razmeroma širok raztros vrednosti konusnega indeksa.

3.4 POŠKODBE GOZDNIH TAL

3.4.1 Kolesnice

Pri delu v gozdu z težko gozdarsko mehanizacijo po sečnji in spravilu v tleh pustimo sledi koles; včasih komaj vidne, včasih kot globoke rane v tleh. Zaradi te očitne vidnosti v okolju, je globina kolesnic postala eno izmed meril uspešnosti gospodarjenja z gozdovi. Globina kolesnic ima na področju mehanike tal drugačno interpretacijo kot v ekologiji. Pri mehaniki tal je globina kolesnic definirana z potopom kolesa v tla v določeni točki ali sekciji, v ekologiji se opazuje kolesnice po opravljenem delu (Saarilahti, 2002).

Nastanek kolesnic je pojav, ki je tesno povezan z mehкими tlemi kot je šota ali glej. Na večini teh tal pojav kolesnic postopoma narašča z vsakim prehodom stroja, vendar je najbolj izrazita pri prvem ali drugem prehodu. V ekstremnih primerih, kjer je uporabljena neprimerna mehanizacija, je lahko struktura tal tako poškodovana, da se spremeni v tekočo obliko (Owende in sod., 2002).

Poškodbe tal, ki nastanejo zaradi kolesnic je Košir (2010) razdelil v 3 razrede:

- tip vlake 1: Plitva kolesnica je neizrazita in globoka do 10 cm, včasih komaj zaznavna, prevladujejo elastične deformacije. Tak tip je značilen za dobro nosilna tla, malo prehodov in lažje stroje. Zbitost, povečana gostota tal in zmanjšan volumen por v tleh se pojavi le v zgornjih horizontih.
- tip vlake 2: Srednje globoka kolesnica, pri taki poškodbi je zmešan ali premaknjen vrhnji (humusni) horizont. V naših razmerah se v ta tip uvršča globine do 20 cm, v ta tip uvrščajo izrazite kolesnice z globinami pretežno do 10 cm. Vrhnja plast je plastično deformirana, prevladujoča poškodba je zbitost, na meji plastične deformacije, velika je verjetnost deformacij globljih horizontov, vendar niso premaknjeni. V vrhnjih horizontih je poroznost tal močno zmanjšana.

- tip vlake 3: Globoka kolesnica, pri tem tipu se pojavijo plastične deformacije oziroma viskozno tečenje tal. Tla se lomijo. Tlak na tla in strižne sile so zmešale talne horizonte v viskozno (prašno) maso. Na območju pogrezanja so tla porušena, globine kolesnic so med 20 in 30 cm. Možne so globlje kolesnice (v skrajnih primerih stroj nasede), a so ekološko in tehnično-ekonomsko nesprejemljive.

Cerjak (2011) je raziskoval poškodbe tal po strojni sečnji in spravilu v redčenjih. Sem sodi tudi pojav kolesnic. V raziskavi so ugotovili, da so si bile poškodbe tal po obeh fazah na obeh objektih zelo podobne, kar je v nasprotju s pričakovanji, saj so predvidevali, da nastanejo pri izvozu večje kolesnice kot pri sečnji. Zanimiva je bila tudi razporeditev poškodb. Presenetljivo velik delež kolesnic je narinjen, pri tem tipu pa se ne more govoriti o poškodbah, saj ni prišlo do zbijanja tal. Ostala večina kolesnic je zavzela globine do 5 in do 10 cm, kar jih še uvršča med manjše poškodbe tal. Le manjši deleži kolesnic so bili globlji, ki pa na Pohorju niso presegli 20 cm globine, na Goričkem pa le na posameznih profilih. Wilcoxon test je potrdil, da razlike v globini kolesnic po sečnji in po spravilu niso statistično značilne na nobenem objektu. Z testom Mann-Whitney za globine kolesnic med objektoma so ugotovili, da so le pri sečnji statistično značilne razlike med objektoma, in sicer na nivoju 5 %. Pri izvozu lesa pa razlike v globinah kolesnic med objektoma niso bile statistično značilne.

Na podoben način je globino kolesnic v svoji diplomski nalogi ugotavljal tudi Mali (2006). Po analizi globin kolesnic so 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. Iz analize nosilnosti tal in globin kolesnic na teh vlakah so ugotovili, da sečni ostanki ugodno vplivajo proti zbijanju tal. Ti so še bolj pomembni na vlažnih in slabše nosilnih tleh. Glede na dobljene rezultate so tudi ocenili, da so bili stroji na objektu v GE Mirna gora primerni, saj so bile poškodbe tal zaradi dobro nosilnih tal zmerne. Tega pa niso mogli potrditi 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.

Žlogar (2007) je v svoji diplomski nalogi primerjal poškodbe tal med dvema pravilnima tehnologijama, in sicer med pravilom z zgibnim polprikoličarjem in traktorjem. Ugotovil je, da globine kolesnic zaradi velike skalovitosti tal niso bile velike. Nekoliko večje globine so se pojavile samo v vrtačah. Opazna je bila tudi razlika v globinah kolesnic med obema pravilnima tehnologijama. Kolesnice na pravilnih poteh po katerih je potekalo spravilo z zgibnim polprikoličarjem so bile globlje za približno 1,5 cm, od kolesnic na traktorskih vlakih. Globina kolesnic se je spreminjala tudi pri različnih talnih strukturah.

V tujini je pojav kolesnic raziskovalo več avtorjev.

Nugent in sod. (2003) trdijo, da začetna moč tal pomembno vpliva na pojav in globino kolesnic. V svoji raziskavi so ugotovili, da je 5 % izmerjenih kolesnic preseglo mejno vrednost 21,5 cm (mejna vrednost je 15 % premera kolesa stroja). Taka globina že povzroči omejeno gibanje stroja po sestoji.

Gerasimov in Katarov (2010) sta raziskovala zbitost tal na mehkih terenih. Kolesnice so ugotavljali na t. i. mokrih tleh (93 % vlažnost tal) in vlažnih tleh (80 % vlažnost tal). V svojih raziskavi so ugotovili, da je v primeru kolesnega stroja (brez gosenic) na mokrih tleh globina kolesnic hitro naraščala vse tja do 0,71 m; globina kolesnic je naraščala večinoma v prvih petih prehodih. V primeru stroja opremljenega z gosenicami pa je globina kolesnic naraščala tja do 0,48 m in je bila dosežena v prvih treh prehodih. V primeru vlažnih tal je globina kolesnic v primeru kolesnega stroja (brez gosenic) hitro narastla v prvih sedmih prehodih do 0,40 m, pri stroju opremljenem z gosenicami pa je enakomerno naraščala do 0,22 m. Ugotovili so, da dobljeni rezultati ne ustrezajo ekološkim predpisom, ki zahtevajo globino kolesnic manj kot 0,15 m.

Sakai in sod. (2008) so v svoji raziskavi ugotovili, da je globina kolesnic manjša z manjšo frekvenco prehodov stroja. Ko so bile kolesnice enkrat že oblikovane, je ponavljanje prehodov poglobilo kolesnice. Ko je stroj (zgibni polprikoličar) zapeljal čez štor ali po majhnem naklonu navzdol, so nenadni porasti tlaka v pnevmatiki povečali zbijanje tal, kar je naknadno povzročilo tudi nastajanje kolesnic. Ugotovili so, da pnevmatike z visokim tlakom niso praktične, in da so gosenice najboljša alternativa. Glede na rezultate so tudi ocenili, da kolesnice globine 10 cm povečajo poroznost tal za 7 %.

Na Finskem je največja dovoljena globina kolesnic 0,1 m na 10 % celotne sečne poti (Saarilahti, 2002). Za klasifikacijo kolesnic sta uporabna le dva razreda: sprejemljivo in nesprejemljivo. Kvaliteta dela je sprejemljiva, če povprečna globina kolesnic ne preseže 0,1 m na 10 % celotne dolžine vlake oz. sečne poti. Lahko so kolesnice tudi globlje kot 0,1 m, vendar mora biti delež kolesnic manjši od 10 % (Saarilahti, 2002). Kvaliteta sečnje in spravila je »odlična«, če je delež kolesnic globljih od 0,1 manjši od 5 % na celotni sečni poti (Saarilahti in Anttila, 1999).

Nastanek kolesnic je najbolj zaskrbljujoč tam, kjer globina kolesnic presega 0,1 m globine na več kot 10 % celotne sečne poti (Owende in sod., 2002).

Z okoljskega vidika je modeliranje poškodb tal, zbijanja tal in nastanka kolesnic bistvenega pomena, saj zmanjšanje prostora por v tleh zveča nastanek kolesnic, globoke kolesnice poškodujejo korenine rastočih dreves in služijo kot odtočni jaški za vodo in prispevajo k večji eroziji tal (Saarilahti, 2002).

3.4.2 Poškodbe korenin

Poškodbe korenin se nanašajo na poškodbe na koreninskem sistemu živega drevesa, ki je nastal zaradi mehanskih sil ali zmanjšanje rasti korenin zaradi zbitosti tal. Forestry Development Center (Finska) definira poškodbe korenin kot poškodbe pod korenničnikom in v krogu 1 metra od središča drevesa. Poškodba, ki nastane dlje kot v krogu 1 metra, je smatrana kot ekonomsko nepomembna (Owende in sod., 2002).

Poškodbe korenin pri kolesnicah nastanejo zaradi strižnih sil, ki lahko zlomijo korenine ali jih olupijo in s tem povzročijo izpostavljenost drevesa za napad gliv. Poškodbe korenin oz. dela korenin lahko zmanjša rast drevesa, vendar je šele napad gliv bistven za ekonomsko škodo. Bilo je dokazano, da se rast korenin zmanjša s povečano zbitostjo tal. V odraslih gozdovih, kjer je zbijanje tal na površini manjše, je pričakovano, da so vplivi na rast korenin manjši (Owende in sod., 2002).

Nemški raziskovalci (Matthies, 2002) so poškodbe korenin zaradi težke gozdarske mehanizacije razdelili v sistem 5 razredov (Owende in sod., 2002):

- površinske motnje,
- površinska olupljenost, vendar brez poškodb na glavnem delu korenin,
- površinske in podpovršinske poškodbe, vključno z posameznimi redkimi razpokami,
- površinske in podpovršinske poškodbe, vključno z razpokami in raztrganinami,
- resne poškodbe – poškodovanje glavne korenine.

Zbijanje tal lahko omeji rast korenin, kar lahko tudi močno zmanjša rast dreves. Naraščanje uporabe težke mehanizacije pri sečnji in spravilu povzroča večje negativne vplive na gozdne ekosisteme (Akay in sod., 2006).

McNeel in Ballard (1992) navajata, da lahko velika poškodovanost korenin na vlaki oziroma sečni poti zmanjša rast dreves ob sečni poti za 40 %.

V več študijah je bilo prikazano, da se rast korenin zmanjšuje z naraščanjem gostote tal. Bolj rodovitna tla, kjer je poroznost tal visoka, so bolj dovzetna na zbijanje tal, kot bolj nosilna tla z večjo gostoto tal. Raziskave, kjer so uporabljali stroje z različnimi tlaki v pnevmatikah, so pokazale, da imajo spremembe v tlaku v pnevmatikah le majhen vpliv na rast korenin (Saarilahti, 2002).

V Sloveniji so Železnik in sod. (2011) raziskovali vpliv težke mehanizacije na tla in drobne korenine. Raziskovalna ploskev na Osankarici je bila zasnovana v začetku leta 2008, ko so na kontrolnih ploskvah vstavili minirizotrone. Strojna sečnja je bila izvedena v začetku leta 2009, po njej so v zemljo vstavili še vrstne mrežice. Metoda minirizotronov temelji na prosojnih ceveh, ki se jih vstavi v tla skozi celotni profil do matične podlage. V njih se s posebno kamero opazuje rast in razvoj korenin.

Metoda vrstnih mrežic omogoča preučevanje drobnih korenin, tj. korenin, tanjših od 2 oz. 1 mm, ki opravljajo funkcijo privzema vode in hranil. Drobne korenine iz okolice mrežice

neovirano vraščajo skozi odprtine v posodo. Porozno posodo se po določenem času odstrani iz zemlje in analizira se prisotnost korenin. Iz vzorcev zemlje se izločijo korenine s pomočjo sistema različnih sit in spiranja z vodo. Korenine se nato po morfoloških značilnostih razdelijo na korenine lesnih in nelesnih vrst. Korenine lesnih vrst se razdeli na vitalne in na stare neturgescentne korenine. Slike obeh skupin korenin se zajamejo na optičnem čitalcu in obdelajo s programom WinRhizo, ki avtomatsko izmeri parametre korenin. Korenine se nato posuši in stehta ter meritve uporabi za izračune različnih indeksov. Vrstne mrežice in minirizotrone so vstavili v štirih ponovitvah: kontrola v nedotaknjenih tleh, mrežice v bližini sečne poti, mrežice na sečni poti, kjer je vozil stroj za sečnjo, mrežice na sečni poti, kjer sta vozila tako stroj za sečnjo kot tudi zgibni polprikoličar. Rezultati raziskave so pokazali, da med premeri korenin v vseh ponovitvah ni bilo statistično značilnih razlik. Glede na to so sklepali, da se v poskusu opazuje korenine s podobnimi fiziološkimi funkcijami, tj. s koreninami, ki imajo v osnovi podobno dinamiko razvoja in rasti. Povprečni premer korenin iz vzorcev je približno 0,6 mm. Opazovani koreninski parametri se značilno razlikujejo med ponovitvama vzorčenja. V splošnem so bile vrednosti parametrov v mrežicah, izpostavljenih dve rastni sezoni, večje od vrednosti parametrov v mrežicah, izpostavljenih eno rastno sezono. To ne drži v primeru sečne poti, kjer ni značilnih razlik med osnovnimi parametri. Zaznali so le trend povečevanja števila koreninskih vršičkov po drugi rastni sezoni.

Izvedena parametra SRL in TL, ki nakazujeta na arhitekturne lastnosti koreninskih sistemov, pa kažeta drugačno sliko. SRL ali specifična dolžina korenin je količnik med dolžino drobnih korenin v vzorcu in njihovo suho težo. Večja kot je vrednost SRL, tanjše korenine imamo v vzorcu oz. tanjše so korenine v vrstnih mrežicah. Iz tega lahko sklepamo, da je bila okolica vrstne mrežice na začetku rastne sezone slabo prekoreninjena, oz. so korenine zaradi neugodnih talnih razmer ostajale zelo tanke. Med vrednostmi SRL v vzorcih niso odkrili značilnih razlik, se pa nakazujejo določeni trendi. V dveh rastnih sezonah je SRL večinoma upadel, le ob sečni poti lahko opazimo velik porast. Iz tega so sklepali, da so bile korenine, ki so se tu pojavile do konca druge rastne sezone, večinoma zelo tanke, prav tako pa pri koreninah iz prve rastne sezone ni prihajalo do debelinske rasti, saj v biomasi ni bilo značilnih razlik med časom rasti skozi eno ali dve rastni sezoni. Ob tem se ne sme zanemariti, da je koreninska biomasa drobnih korenin v

vzorcih na sečni poti dosegala le 7 % povprečne biomase korenin na drugih ploskvah oz. 1% povprečne dolžine korenin na ploskvah. Prikazane rezultate so podprli še z rezultati meritev v minirizotronih. V minirizotronih prav tako niso ugotovili značilnih razlik med parametri na podploskvah. V minirizotronske ceve na sečni poti pa kratkih korenin, vsaj do pomladi 2010, ni bilo. Rast drobnih korenin je bila zmanjšana na celotnem profilu tal.

Raziskave na gozdnih tleh so pokazale, da ima prekoreninjenost tal značilen vpliv na strižno trdnost tal (od 20 – 50 %). Ker so korenine navadno pogoste v zgornjih slojih tal, je priporočeno, da se poškodbi le-teh poskušamo izogniti (Bygdén in Wästerlund, 2007).

3.4.3 Premeščanje tal

Premeščanje tal je pojav, ko se organska snov v tleh v zgornjih 30 cm zmanjša za več kot 15 % od naravnih razmer. Prizadene dovolj veliko površino, da se potencial produktivnosti zemljišča zmanjša (Powers, 2002).

Zbijanje tal in premeščanje tal imata značilen vpliv na erodibilnost gozdnih tal; odvisna sta od faktorjev kot so tip tal, naklon terena in drugih pogojev. V nekaterih primerih lahko povečana zgostitev tal naredi tla bolj odporna na erozijo, ker z zgostitvijo talni delci postanejo bolj odporni na gibanje (Greacen in Sands 1980, cit. po Parker, 2001). V drugih primerih, imata zbijanje tal in premeščanje lahko tudi obraten vpliv in povzročata večjo erozijo, kar povzroči izgubo organske snovi v zgornjih plasteh, zmanjša se poroznost tal in poveča odtok površinske vode (Dyrness 1965, Shetron et al. 1988, cit po Parker, 2001). Sečne poti in skladišča, ki so pogosto prevožena in so bila zbita, so pogosto žrtve velikih količin premeščanj tal, ki ga povzroči gozdna mehanizacija. Je pa tudi nekaj pozitivnih stvari. Pri manjših količinah premeščanja tal, kjer se izpostavlja mineralni del tal, lahko pričakujemo naravno nasemenitev tal. Seveda pa lahko premeščanje tal vodi tudi do pospešene erozije, izgube produktivnosti in motenj v biološkem procesu, ki so pomembne za kroženje hranil (Clayton, 1990, cit. po Parker, 2001). Težki gozdarski stroji ne le zbijejo in premeščajo tla, ampak tudi spremenijo površino tal – meša in spreminja se

debelina A horizonta, kar vodi v večjo erozijo (Helms and Hipkins 1986, cit. po Parker, 2001).

Zmanjšano produktivnost tal zaradi premeščanja tal je težko kvantificirati (dokazati), pozna se v bolj dolgoročnih vplivih (Harvey in sod. 1989, cit. po Parker, 2001).

Horn in sod. (2007) so raziskovali vpliv modernih strojev na fizične značilnosti tal. Merili so napetosti oz. obremenitve in premeščanje tal v profilih tal. Napetost tal oz. obremenjenost tal in premeščanje tal so določali z senzorji stresa (SST – stress state transducer system) in senzorji premeščanja (DTS – displacement transducer system) v dveh globinah tal, 20 in 40 cm. Premeščanje tal pod strojem za sečnjo Hanibalom in brez zaščitne plasti sečnih ostankov je bila največja. Globina kolesnic je bila 20 cm, medtem, ko se je vertikalno premeščanje spodnjih delov tal pojavilo v globinah večjih od 36 cm. Raziskave so pokazale, da se po prehodu Hanibala in Hanibala + zgibni polprikoličar, kjer so bili položeni sečni ostanki, zmanjša premeščanje tal, vendar so absolutne vrednosti še vedno visoke. Zgibni polprikoličar je povzročil večje deformacije tal z manjšim premeščanjem tal.

3.4.4 Erozija tal

Erozija ima pomembno vlogo pri degradaciji tal (Powers, 2002).

Splošno je znano, da je tveganje zaradi erozije v nordijskih deželah manj pomembno kot na aluvialnih tropskih tleh ali pa v gorskih razmerah. Kljub temu mora biti tveganje zaradi erozije vključeno v načrtovalski proces sečnje in spravila. To pomeni, da morajo biti načrtovalci seznanjeni, kje so območja, kjer je tveganje zaradi erozije veliko (Saarilahti, 2002). V principu tveganje zaradi erozija tal narašča (Saarilahti, 2002):

- 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.

To pomeni, da je tveganje zaradi erozije izrazito v gorskih razmerah, ob obilnih in dolgotrajnih padavinah in na zrnatih tleh, kjer so izkrčene večje površine vegetacije. Delovni načrt mora vsebovati analizo tveganja za okolje in priporočila za vzpostavitev okrevanja tal (Saarilahti, 2002).

Erozija tal lahko predstavlja značilno okoljsko tveganje, ko se izvaja sečnja in spravilo s težko gozdarsko mehanizacijo na terenih z velikim naklonom, predvsem v suhih klimatskih razmerah (mediteranskih predelih). Pravilna izbira pravilnih strojev je bistvena za zmanjšanje tega tveganja. S trganjem tal se izgubi površinski sloj tal, pojavi se erozija vetra in erozija zaradi dežja. Huda erozija se lahko pojavi v vročih suhih podnebjih, kjer v kratkem času padejo velike količine dežja (mediteranske dežele so izpostavljene kratkim obdobjem močnega dežja, ki lahko hitro izpere vrhnje sloje tal) (Owende in sod., 2002).

3.5 INTERAKCIJE MED STROJEM IN TLEMI

Interakcije med strojem in tlemi je v svoji diplomski nalogi podrobneje opisal Cerjak (2011). Tehnične značilnosti med kolesom in tlemi je razdelil v naslednje skupine:

- tlak na podlago,
- dotikalna površina kolesa in podlage,
- nominalni tlak na podlago (NGP),
- vožnja in strižna napetost,
- kotalni upor,
- zdrs,
- indeks kolesa.

Tlak strojev na gozdna tla je odvisen od njihove mase, vrste prenosa sil na tla, dimenzij pnevmatik oz. gosenic, števila osi in razporeditve obremenitve osi. Ta tlak se giblje v

širokih mejah in je najmanjši pri goseničnih traktorjih, največji pa pri prilagojenih kolesnih traktorjih (Košir, 1997).

Velikost dotikalne površine je težko natančno določiti, odvisna je od dimenzij kolesa, značilnosti kolesnih in talnih deformacij. Deformacija kolesa je pod vplivom tlaka v kolesu in obremenjenosti kolesa (polmer se spreminja z obremenjenostjo), zato je težko določljiva. Pri konstantnem tlaku v pnevmatiki je velikost dotikalne površine odvisna od nosilnosti tal (Saarilahti, 2002 cit. po Cerjak, 2011).

Nominalni tlak na podlago (NGP) je določen z razmerjem med težo kolesa in dotikalno površino izračunano po Mellgrenu (1980, cit. po Košir, 2010 cit. po Cerjak, 2011). Izračun je ločen za kolesne stroje in stroje s polgosenicami. Nominalni tlak na podlago daje grobo idejo o minimalnem tlaku na podlago, ki ga lahko razvije kolo na zelo mehkih podlagah. Lahko se uporablja za primerjavo ekološko varnega dela različnih strojev s približno enakimi pnevmatikami in tlaki v njih (Saarilahti, 2002 cit. po Cerjak, 2011).

Ko se začne kolo vrteti, ustvarja strižne sile proti tlom. Obstajata dva tipa določitve strižne trdnosti. V rahlo zbitih tleh se strižna trdnost razvija asimptotično do maksimuma. V večini tal se strižna trdnost razvije do določenega maksimuma, nato pride do razpada kohezivnih sil in strižna trdnost se zruši na stopnjo preostale trdnosti (Saarilahti, 2002 cit. po Cerjak, 2011).

Pri premikanju kolesa prihaja do kotalnega upora, ki ga opredeljuje vodoravna sila potrebna za zbijanje tal do globine, kjer se nosilnost tal in teža stroja izenačita. Kotalni upor je odvisen od ugreza kolesa, ki je povezan z obremenitvijo pnevmatike, deformacijo pnevmatike in nosilnostjo tal. Kotalni upor se povečuje v obratni odvisnosti nosilnosti tal, velik kotalni upor izraža slabo prehodnost terena in slabo mobilnost stroja (Saarilahti, 2002 cit. po Cerjak, 2011).

Zdrs kolesa traktorja predstavlja razliko med njegovo opravljeno potjo in dejansko prevoženo razdaljo (Marenče, 2005). Celotna energija prenesena v tla se povečuje v odvisnosti od povečevanja zdrsa, ki povzroča večje poškodbe tal brez značilnega

povečanja vlečne sile. Za zmanjšanje zdrsa na slabši in spolzki podlagi so priporočene verige ali gosenice (Saarilahti, 2002 cit. po Cerjak, 2011). Pri velikem zdrsu v povezavi z kotalnim uporom se zmanjšajo učinki, poveča se poraba goriva in posledično se povečajo stroški (Košir, 2010 cit. po Cerjak, 2011).

Indeks kolesa je parameter, ki opisuje delovanje med kolesom in tlemi (Saarilahti, 2002 cit. po Cerjak, 2011). Indeks kolesa je razmerje med izmerjenim tlakom pri prodiranju penetrometra in predvidenim tlakom stroja na tla ter neposredno vpliva na globino kolesnic (Poršinsky in Horvat, 2005, cit. po Košir, 2010 cit. po Cerjak, 2011). Problem pri izračunu indeksa kolesa je težavnost natančnega izračuna dotikalne površine koles na podlago. Glede na izračune dotikalne površine po različnih izrazih, je posledično več kot 5x razlika med najmanjšo in največjo vrednostjo indeksa kolesa (Pandur in sod., 2010 cit po Cerjak, 2011).

3.6 METODE ZA UGOTAVLJANJE POŠKODOVANOSTI TAL

Naravno stanje gozdnih tal je slojevitost organsko-mineralnih horizontov tal ter pokritost površja s plastjo organske snovi oziroma določene stopnje kamnitosti. Spremembe tal pri pridobivanju lesa so najbolj izrazite na prometnicah in okoli njih, saj nastajajo kot posledica delovanja sil stroja in bremena na naravna tla (Standish, Commandeur, Smith, 1988, cit. po Košir in Robek, 2000). Vidne spremembe površja gozdnih tal so nezanesljiva ocena poškodovanosti tal pri delu v gozdu, razen če popis površja tal izvajamo neposredno po končanem delu. V tem primeru je površina spremenjenega površja tal ocena obsega površin z neposredno ali posredno spremenjenimi pogoji rasti vegetacije (Hildebrand 1991, 1994 cit. po Košir in Robek, 2000). Ker spremembe tal pri gradnji prometnic in vožnji po naravnih tleh praviloma zmanjšujejo rodovitnost tal in povečujejo ekološko tveganje, govorimo o poškodovanih tleh (Robek, 1994, cit. po Košir in Robek, 2000).

Za merjenje poškodovanosti tal, ki nastanejo zaradi gibanja strojev po brezpotju, obstaja več metod. V praksi ni nekih standardiziranih metod za meritev poškodb tal, temveč se v

literaturi opisuje merjenje širine kolovoza, globine kolesnic ali površine preseka poškodovanega profila tal (Šušnjar, 2005).

Košir in Robek (2000) sta ugotavljala poškodovanost tal po naslednjem postopku: Na vzorcu petih 50 – metrskih slučajnostno izbranih odsekov v vsaki kategoriji vlak so po končani proizvodnji popisali zunanjo morfologijo tal in sečne ostanke na vlaki ter okoli nje. Odsek vlake so merili vedno po osi od priključka vlake na cesto ali prometnico višje kategorije ter tako zajeli priključek in površine, ki so značilne za posamezne kategorije vlak. Vsak odsek vlake so pri popisu razčlenili na 10 petmetrskih pododsekov, na njih pa opredelili naslednje tri pasove: 1. kolesnice, ki zajemajo površino obeh vidnih kolesnic; 2. vmesni prostor, ki zajema površino med kolesnicama; 3. okolico vlake, ki zajema delovni doseg stroja za sečnjo levo in desno od vlake. Na pododseku so nato merili: širino pododseka v dm (merjeno z vzmetnim metrom od začetka zunanjega roba leve kolesnice – gledano v sesto – do zunanjega roba desne kolesnice); širino vmesnega prostora med kolesnicama v dm (od začetka notranjega roba leve kolesnice do notranjega roba desne kolesnice); največjo globino kolesnice v cm (na meji med dvema pododsekom). Na pododseku so še ocenjevali: odstotni razred površine (na 10 % natančno) štirih kategorij tal (ločeno na kolesnicah in med kolesnicami) in sicer raščenih skal, s sečnimi ostanki pokritih tal, s sečnimi ostanki nepokritih in neerodiranih tal ter erodiranih tal; površino sečnih ostankov levo in desno na dolžini pododseka v m². Sečne ostanke zunaj vlake in v dosegu stroja za sečnjo so »v mislih« razgrnili na okvirno potlačeno debelino 10 cm in ocenili površino take podlage. Čeprav so površino posameznih kategorij tal ocenjevali, je bila zaradi majhnega predmeta vsakokratnega opazovanja napaka relativno majhna. Vse meritve in ocene je v strnjenem obdobju opravil isti merilec, kar je povečalo relativno zanesljivost ocen.

Mali (2006) je v svoji raziskavi preizkusil metodo ugotavljanja poškodb tal po strojni sečnji ter spravilu lesa z zgibnim polprikolničarjem. Delo je temeljilo na terenskem snemanju podatkov poškodb tal. Na raziskovalnem objektu v GE Mirna gora so oddelek 3 razdelili na 4 homogene enote-stratume, ki hkrati predstavljajo sečnospravilno enoto. V stratumu II in III so pred sečnjo in spraviлом sistematično postavili prečne profile. Na njih so izmerili konusni indeks, ki je zelo dober pokazatelj nosilnosti tal, reliefne lastnosti tal

ter različne naklone. Enake podatke so posneli tudi po opravljeni sečnji in spravilu ter ocenili še delež in količino sečnih ostankov na profilih. Na raziskovalnem objektu v GE Radeče so po strojni sečnji in spravilu na enak način posneli profile na treh vlakih in izmerili nosilnost tal. Posneli so profile pred začetkom dela ter nato še po sečnji in po spravilu. V stratumu so na poskusni površini sistematično na razdalji 10 metrov postavili 114 prečnih profilov. Predhodno so izdelali karto zastavljene poskusne površine z načrtovanimi in nenačrtovanimi sekundarnimi prometnicami. Za snemanje profila so uporabili vodoravni žarek laserja, lato s centimetrsko skalo, trasirko ter sekaški meter. Žarek libele, ki je bila na stojalu so usmerili pravokotno na pot ter vklopili laser. Pod laser so desno v smeri spravila zabili količek ter nanj napisali zaporedno številko profila. Na količek so zataknili sekaški meter in ga vzporedno z laserskim žarkom potegnili pravokotno na pot do drevesa, ki ni bilo odkazano. Tudi nanj so napisali zaporedno številko profila ter izmerili razdaljo do drevesa. Ker so te profile postavili na predvideni sečni vlaki, so vedeli, da bodo določeni količki povoženi, zasuti ali izgubljeni. Z oznako na drevesu in količku ter izmerjeno razdaljo so določili profil, ki tako ni bil izgubljen. Po končani strojni sečnji in spravilu so kasneje odšli še na drugo snemanje profilov. S pomočjo karte in popisnih listov so našli iste prečne profile. Nekaterih količkov, kot so že prej predvidevali, niso našli, večino pa. Tokrat niso snemali prečnega profila sistematično po 50 cm, temveč so opravili izmero karakterističnih točk na profilu. Te karakteristične točke so bile gledano od leve proti desni: naravna tla, začetek grebena leve kolesnice, vrh grebena, konec grebena leve kolesnice, začetek ugreznine leve kolesnice, največja globina leve kolesnice itn. Zopet so potegnili sekaški meter in na enak način kot pri prvem snemanju profila izmerili horizontalno in vertikalno razdaljo teh točk.

Podobno metodo za ugotavljanje poškodovanosti tal v svoji diplomski nalogi omenja Cerjak (2011). Snemanje profilov so opravili s pomočjo dlančnika znamke Trimble, ki je bil opremljen s programom Terrasync, v katerega so vnašali izmerjene podatke prečnih profilov. Za snemanje prečnih profilov so uporabili naslednjo opremo: križni linijski laser znamke Bosch s samodejnim niveliranjem, pritrjen na trinožno stojalo, sekaški meter, trasirko, s centimetrsko merilno skalo, dlančnik Trimble, lesene količke, dolžine cca 25 cm, enoročno sekiro. Pred sečnjo so količke zabili ob predvidene sečne poti, razmak med njimi je bil povsod enak 10 m, saj so bile v smeri sečnih poti raznolikosti objekta

minimalne. Količki so označevali mesto profila. Pri zabijanju količkov ob predvidene sečne poti so morali biti pozorni, da so bili dovolj odmaknjeni od poti in zavarovani pred povozom stroja ali založitvijo s sortimenti, ki jih stroj polaga ob sečno pot. Včasih lahko strojnik ob poti podre tudi neodkazano drevo, da si zaradi lažje vožnje razširi sečno pot in tako povozi nepravilno postavljen količek. Količki morajo biti od same poti odmaknjeni tudi zato, ker že sama metoda zahteva meritev nepoškodovanih tal ob poti. Po opravljeni sečnji so nad zabitim količkom postavili linijski laser, katerega žarek so usmerili pravokotno na sečno pot. Trinožno stojalo je moralo biti dovolj raztegnjeno, da je bil žarek višji od sečnih ostankov na poti ali kupa hlodov ob poti. V količek so zapičili sekaški meter in ga pod žarkom raztegnili na nasprotno stran sečne poti. Merili so horizontalne in vertikalne razdalje karakterističnih točk na 1 cm natančno. Horizontalne razdalje so odčitavali s sekaškega metra, predstavljale so razdaljo od količka do karakteristične točke sečne poti. Vertikalne razdalje so odčitavali s trasirke, pomenile so višino od tal do laserskega žarka. Merjene karakteristične točke so si sledile po vrsti: višina ob količku, raščena tla levo, rob kolesnice levo, leva kolesnica, os poti, desna kolesnica, rob kolesnice desno in raščena tla desno. Ko so naredili te izmere, je sledila še izmera višine odeje sečnih ostankov in ocena njihove pokrovnosti na osi in na obeh kolesnicah. Vse karakteristične točke so vidne tudi v prilogi. Delo sta opravljala merilec, ki je odčitaval razdalje in popisovalec, ki jih je sproti vnašal v dlančnik. To metodo so uporabili za vse profile na vseh sečnih poteh na obeh objektih. Na Pohorju je bilo na linijah 1, 2, 4 in 6 postavljenih po 7 profilov, 8 na liniji 3 in 6 profilov na liniji 5. Tako je bilo na tem objektu skupno postavljenih 42 profilov. Na Goričkem je bilo na vseh linijah po 10 profilov, le na liniji 2 jih je bilo 9. Skupno število postavljenih profilov na Goričkem je znašalo 59.

V tujini zagovarjajo malce drugačno metodo. Za merjenje globine kolesnic se na terenu postavi sistematični vzorec na podlagi kvadratne mreže. Večja kot je intenziteta meritev večja je gostota točk v mreži. Določiti je potrebno »točko nič«, ki je začetek položene zamišljene mreže. Meritve se naredijo na vlaki, ki je najbližji točki nič. Od te točke se nato vzdolž vlake na vsakih 15 m levo in desno izmeri poškodovanost tal. Globina kolesnic se deli na 2 razreda: sprejemljiva (pod 10 cm) in nesprejemljiva (nad 10 cm) globina kolesnic (Saarilahti 2002).

4 HIPOTEZE

1. Poškodbe tal po sečnji s kombiniranim strojem HSM 805F so manjše, kot v primeru uporabe ostale mehanizacije pri strojni sečnji.
2. Poškodbe tal pri strojni sečnji so manjše, če je plast sečnih ostankov na vlaki debelejša.
3. Poškodbe tal so manjše pri tehnologiji kratkega lesa kot pri tehnologiji dolgega lesa.
4. Pri merjenju poškodb tal pride do razlik, če pobiramo podatke o poškodovanost tal na medsebojnih razdaljah 5, 10, 15 in 20 m.
5. Kombinirani stroj za sečnjo je z vidika poškodb tal primeren za delo v redčenjih.

5 METODE DELA

5.1 OPIS STROJA – HSM 805F

HSM 805F je kombinirani stroj za sečnjo in spravilo in je na voljo v različnih razredih moči in izvedbah. HSM 805F se lahko uporablja za dolg ali kratek les iglavcev ali listavcev, debelo ali tanko drevje. Na voljo sta dve različici in sicer HSM 805 F za vožnjo kratkega lesa s prikolico (možna je »kratka« in »dolga« različica), ter HSM 805 F za vožnjo dolgega lesa s kleščami (vir: HSM Forstmaschinen).



Slika 1: Kombinirani stroj za sečnjo HSM 805F v obliki zgibnega polprikoličarja (foto: Mateja Intihar)



Slika 2: Kombinirani stroj za sečnjo HSM 805F v obliki stroja za sečnjo (foto: Mateja Intihar)



Slika 3: Kombinirani stroj za sečnjo HSM 805F v obliki sedlastega traktorja (foto: Matevž Mihelič)

Lastnosti stroja:

- dolžina: 8,3 m,
- širina: 2,6 m,
- višina: 3,2 m,
- masa: 13800 kg,
- motor:
 - Mercedes Benz 4 cyl.,
 - Turbo Diesel,
 - moč: 129 kW (175PS) = 173 KM,
 - max. navor: 675 Nm pri 1200-1600 vrt /min,
 - prostornina: 4250 ccm,
- menjalnik:
 - Walterscheid pogon,
 - ICVD MO,
 - 2. Stopenjski,
- osi:
 - NAF planetarni prednja os s 100-odstotno zaporo diferenciala,
 - NAF tandem os zadaj s 100-odstotno zaporo diferenciala,
- pnevmatike:
 - spredaj: 23,1 x 26 Galaxy,
 - zadaj: 710/40-22 Nokian, 5 TRS L2,
 - širina: 2550 mm,
- žerjav (serija):
 - Epsilon M70 F80,
 - razpon: 8,0 m,
 - dvižni moment: kNm 102 bruto,
 - navor vrtenja: 26 kNm,
 - prijemalo: FG36,
 - (ostali na zahtevo),

- vitel:
 - Adler dvo-bobenski vitel,
 - HY 16/2 x 80 kN,
 - hidrostatski pogon,
 - po višini nastavljiv,
 - Roller blok,



Slika 4: Vitel Adler (foto: Mateja Intihar)



Slika 5: Vitel je na zadnjem delu stroja (foto: Mateja Intihar)

- nakladalni del (prikolica):
 - snemljiv in premični zadnji steber,
 - različica "kratka" za 1,85 m, 2,65 m in 3,25 m,
 - različica "dolga" na 2,40 m, 3,20 m in 3,70 m,
 - nosilnost: od 9 ton
- procesorska glava CTL 453 (Vir: Ctl-technology):
 - premer podiranja max. 530 mm,
 - premer kleščanja:
 - max: 450 mm,
 - min: 60 mm,
 - delovna sila: 20 Kn,
 - delovni pritisk: 200-230 bar,
 - količina olja: 160-180 l/min,
 - masa: 650 kg,
 - hitrost pomika: 4,5 m/s,
 - hitrost verige: 45 m/s,
 - korak verige: 0.404",
 - dolžina meča motorne žage: 640 mm,

- nadzor: Motomit IT,
- primerna za vse drevesne vrste in proizvode - do 30 % povečanje uspešnosti,
- izredno zanesljiv hidravlični sistem,
- zaščitene hidravlične cevi - manjša obraba, manjši stroški in boljše varovanje okolja,
- uporaba zanesljivega vodila CAN (4-vrstični) sistema - manjše električne motnje in preprosto ugotavljanje napak,
- enostavno se prilagaja dolžinam in premerom drevja,
- prenos podatkov s pomočjo pomnilniške kartice ali kabla,
- mogoče je natisniti vse proizvodne podatke, sezname lesa, strojne in systemske nastavitve,
- visoka zanesljivost in zelo enostavno vzdrževanje zaradi jasne strukture,
- izjemno stabilna konstrukcija,
- optimizirana zasnova rezila za čisto in učinkovito klešččenje v celotnem premeru,
- kaljeni valji za boljši oprijem in minimalne poškodbe lesa,



Slika 6: Procesorska glava CTL 453 (foto: Mateja Intihar)



Slika 7: Procesorska glava pri delu (foto: Mateja Intihar)

5.2 OPIS OBJEKTOV RAZISKAVE

Opis objektov raziskave je povzet iz Gozdnogospodarskega načrta gozdnogospodarske enote Mislinja za leto 2005-2014.

5.2.1 Raziskovalni objekt v GE Mislinja

Raziskave so potekale v gozdnogospodarskem območju Slovenj Gradec, natančneje v gozdnogospodarski enoti Mislinja, v odseku 1120 B.

Gozdnogospodarska enota Mislinja zajema gozdove na južnih pobočjih zahodnega Pohorja zgornjega dela mislinjske doline. Površina celotne GGE meri 7.659,95 ha in v celoti leži v

Občini Mislinja. Upravno spada področje GGE pod UE Slovenj Gradec (Gozdnogospodarski načrt Mislinja, 2005 – 2014).

Najvišja točka v GGE je Črni vrh s 1.543 m NV. Samo 504 m NV pa meri najnižja točka v GGE pri Pačnikovem mlinu (nad Robnikom v potoku Škodnica).

Po fitoklimatski razčlenitvi spada v preddinarsko in predpanonsko cono. Padavine in temperature nakazujejo na srednjeevropsko klimo, v zgornjih - višjih predelih celo visokogorsko klimo. Količina letnih padavin se giblje od 1.050 mm do 1.570 mm, količina padavin narašča z nadmorsko višino. Povprečne letne temperature se gibljejo od + 3,6 °C v višjih predelih (Ribniška koča) do + 7,4 °C v nižjih predelih (Mislinja).

Veter je v GGE pogost. Malo število dni v letu je brez vetra. Najpogostejši so severni vetrovi. Posebej nevarni so severovzhodni vetrovi, ki so vlažni in povzročajo ob ostalih izpolnjenih klimatskih pogojih pogoste lome drevja zaradi snega in vetra.

Za vodo nepropustna kameninska podlaga in obilne padavine se odražajo na vodni izdatnosti potočkov, potokov in rek. Številni potoki na južni strani Pohorja imajo hudourniški značaj. V GGE je evidentiranih 71,2 km vodotokov.

Mislinjski gozdovi so od vseh gozdov v OE najbolj temeljito spremenjeni. Več stoletij trajajoč antropogen vpliv, ki je dosegel vrhunec v zadnjih dveh stoletjih (rudarjenje, izdelava oglja in pepelike, velikopovršinsko fratarjenje s požiganjem sečnih ostankov ter sejanjem in sadnjo smreke, nemška šola gojenja z direktnim zatiranjem listavcev), so temeljito spremenili naravno sestavo gozdov. Nastali so enodobni, večinoma (skoraj) čisti smrekovi sestoji (smrekove monokulture). To velja predvsem za bivše veleposestniške – današnje državne gozdove. Zasebni gozdovi so ravno tako zasmrečeni, le starostna struktura je nekoliko pestrejša.

Ohranjenih rastišč in sestojev z naravno sestavo rastlinskih vrst praktično ni več. Prevladujejo sekundarne, antropogeno pogojene gozdne združbe. Pestrost gozdnih združb je velika. Evidentiranih je 17 gozdnih združb na področju obravnavane GGE.

Lahko rečemo, da je površina gozdov v GGE konstantna že od samega začetka kontinuiranega urejanja mislinjskih gozdov v letu 1955 in sedaj znaša 5.820,98 ha. V GGE prevladujejo zasebni gozdovi, ki jih je 54,65 % , državnih gozdov je 45,35 % gozdnih površin enote. Državni gozdovi (bivši Pergerjevi gozdovi) v GGE predstavljajo večjo strnjeno površino gozdov. Povprečna gozdnatost enote je 76 %.

Produktivnih gozdnih cest je 119,00 km, povezovalnih gozdnih cest pa 27,40 km, produktivnih javnih cest je 30,30 km. Skupaj v GGE je za gozdno proizvodnjo pomembnih 176,70 km cest. Gostota gozdnih cest je 31,39 m/ha. Gostota stalnih gozdnih vlak se je od 68,80 m/ha v zadnjem desetletju povečala za 4,35 m/ha in znaša 73,15 m/ha na 5.079,80 ha gospodarskih gozdov.

V GGE je v trenutnih razmerah možno spraviti les iz gozda s pomočjo traktorja, z žičnim žerjavom, ročno in v raznih kombinacijah omenjenih načinov spravila na 99,89 % gozdne površine gospodarskih gozdov (5.607,37 ha).

5.2.2.1 Matična podlaga in tla

Matična podlaga

Kamninska sestava v GGE Mislinja se deli na štiri skupine:

- skupina 1 = dolomit,
- skupina 2 = karbonat,
- skupina 3 = zmerno kisle in
- skupina 4 = močno kisle, revne kamnine.

Močno prevladujejo kamnine iz skupine 3 in 4, ki predstavljajo skupaj več kot 93 % gozdne površine – to so silikatne kamnine - predvsem metamorforizirane kamnine.

TLA

Matična podlaga in z njo povezane oblike tal so precej enolične. Močno prevladujejo silikati. Velik delež smreke in dolgotrajno šablonsko gospodarjenje v prid njenega pospeševanja je naravno pestrost rastlinskega, posredno pa tudi živalskega sveta, močno zmanjšalo. To se gotovo pozna tudi na talnih oblikah in procesih, ki tečejo v tleh. V odvisnosti predvsem od orografskih razmer ter od njih odvisne mezoklime, močno acidofilne kamnine (skupina 4) pogojujejo uspevanje acidofilnim GZD. Tukaj imamo opraviti s kislimi rjavimi tlemi (distrični kambisol) s sekundarno GZD (npr.: *Luzulo silvaticae* - *Piceetum*) z močnim slojem surovega humusa. Neugodne talne in klimatske razmere omogočajo bujno uspevanje travam – specialistom (gozdna bekica, dlakava in gozdna šašuljica), ki s svojim razsežnim razraščanjem izredno otežuje obnovo gozdov. Nekoliko bogatejši silikati (skupina 3) omogočajo uspevanje GZD *Luzulo* - *Fagetum*, v višjih legah GZD *Luzulo Abieti* - *Fagetum* itd. Tudi tukaj imamo opravka z manj ali bolj globokimi kislimi rjavimi tlemi, s prhninasto do sprsteninasto obliko humusa. Aceretalna rastišča se pojavljajo na obrečnih tleh z visoko, cedečo se podtalnico, razpotegnjena vzdolž vodotokov. Rastišča črne jelše se pojavljajo na zaglejenih tleh z značilnim več ali manj za vodo nepropustnim slojem, kjer se izmenoma vršijo redukcijski in oksidacijski procesi (marogavost in marmoriziranost) predvsem ob nižinskih vodotokih, depresijah z zastajajočo vodo, močvirjih. Poseben talni tip so koluvijalna tla, ki so nastala pretežno v spodnjih delih strmejših pobočij. Značilno zanje je stalno premeščanje talnih horizontov, tako da imajo tla precej enotni izgled brez oblikovanih talnih horizontov. Tla so kislja, vendar zelo dobro preskrbljena s hranili, rudninskimi snovmi in vlago, tako da spadajo med najproduktivnejša rastišča. Ta tla so domena acidofilnega jelovega gozda ter jih tudi dolgotrajnejša zasmrečenost ne degradira. Na karbonatih prevladujeta dve talni obliki in sicer razvita rjava pokarbonatna tla, pretežno na apnencih, v manjši meri na dolomitnih kameninah ugodnejših reliefnih oblik ter plitvejše rendzine različnih oblik pretežno na dolomitih in neugodnejših reliefnih oblikah na apnencu. Tla na karbonatu, zlasti še rjava pokarbonatna tla so po svojem nastanku reliktna tla, nastala so v dolgotrajnih tlotvornih procesih. Z ekstremnostjo je povezana tudi globina tal, sušnost rastišča in lastnosti humusa.

5.2.2.3 Odsek 1120 B

Raziskave so potekale v GGE Mislinja v odseku 1120 B. Krajevno ime, kjer se odsek nahaja je Zaloh. Odsek 1120 B meri 76,78 ha; to so državni gozdovi. Spada v gospodarski razred visokogorski smrekovi gozdovi. GR zajema gozdove višinskega dela GGE. V glavnem so to sekundarna rastišča smreke v zgornjem visokogorskem pasu. Odsek se nahaja se na nadmorski višini 1110 do 1310 m, na pobočju. Relief je valovit, ekspozicija severozahodna, naklon je 20 stopinj, skalovitosti ni, matična kamnina je gnajs. V odseku sta pomembni dve gozdni združbi *Luzulo sylvaticae* – *Piceetum*, zastopan z 71 % ter *Luzulo albidae* – *Piceetum* z 29 %. Delež iglavcev je zelo visok. To je raznodoben smrekov gozd s posamezno primešanim macesnom. Delež listavcev je pičel. Prevladujejo enomerni sestoji. V pasu nad 1300 m NV je v preredčenih sestojih zelo razbohoten zeliščni sloj, ki v kombinaciji z drugimi dejavniki v dobri meri preprečuje naravno pomlajevanje. To je pas gozdov, ki je zelo ogrožen po vetrolomih in snegolomih. Gozdovi so spremenjeni (31 do 70 %). Lesna zaloga odseka je 472 m³/ha, od tega je 462 m³/ha iglevcev in 10 m³/ha listavcev. V odseku prevladuje smreka z 90 %, sledi macesen s 7 %, ter bukev z 2 %. Površina mladovja in pomladka je 11,39 ha, najdemo smreko, jelko, bukev in gorski javor. Razvojne faze v odseku so debeljak z največnim deležem, 58 %, sledi sestoj v obnovi z 37 %, ter drogovnjak z 5 %. Pomembne funkcije v odseku so biotopska, varaovanje gozdnih zemljišč in sestojev, rekreacijska, turistična, varovanje naravne dediščine, ter poučna. Spravilo lesa poteka s traktorjem, pravilna razdalja je 400 m, delež odprte površine je 100 %.

5.3 METODE DELA

V naši raziskavi smo preučevali dve metodi dela. Na objektu 1 smo preučevali strojno sečnjo, kjer se je izvajala sečnja kratkega lesa – sortimentna metoda. Na objektu 2 pa smo preučevali poškodbe tal po strojni sečnji dolgega lesa – debelna oz. poldebelna metoda. Strojna sečnja v obeh primerih ni potekala tako, kot je za kombinirane stroje za sečnjo običajno. Stroj s katerim je delo potekalo, ni imel niti ustreznih komand, niti ustrezne sečne glave, ki bi omogočala nakladanje drevesa oz. sortimentov nase, ko stroj drevo podre

in oklesti. Zaradi tehničnih pomanjkljivosti stroja oz. sečne glave, je delo potekalo na klasičen način. S strojem za sečnjo je bilo potrebno najprej les posekati. Po končani sečnji se je stroj moral odpeljati do skladišča in sečno glavo zamenjati z nakladalnimi kleščami ter vilicami (prikolico) ali kleščami (tovorno sedlo). Delo je bilo zato zamudnejše kot pri običajni strojni sečnji, kjer se les poseka s strojem za sečnjo in vozi z zgibnim polprikoličarjem (HV+FW).



Slika 8: Sečnja lesa s strojem za sečnjo (foto: Mateja Intihar)



Slika 9: Vožnja lesa z zgibnim polprikoličarjem (foto: Mateja Intihar)

5.3.1 Sečnja kratkega lesa – sortimentna metoda

Na objektu 1 smo v drogovnjaku izvajali drugo redčenje. Objekt je meril 2,35 ha. Pred posekom je bilo potrebno drevje za posek odkazati. Z znakom X je bilo označeno drevje tam, kjer je potekala sečna pot, drevje za posek pa je bilo označeno s piko in na njem je bil napisan tudi prsni premer drevesa v cm.



Slika 10: Objekt 1 – razvojna faza drogovnjak (foto: Mateja Intihar)



Slika 11: Označevanje drevja za posek – drevje za posek označeno s piko in prsnim premerom (18 cm) (foto: Mateja Intihar)

Sečnja kratkega lesa ni potekala tako, kot je običajno za kombinirane stroje za sečnjo in spravilo, ko stroj les poseka in ga naloži na nakladalni prostor. Sečnjo smo opravili na način običajne strojne sečnje – stroj je najprej ves les posekal, nato pa se je začela vožnja lesa (kot klasična oblika strojne sečnje (HV + FW)). V tem primeru je šlo za sečnjo kratkega lesa, to je sortimentno metodo; hlodovina je merila 4 m.



Slika 12: Redčenje v drogovnjaku (foto: Mateja Intihar)



Slika 13: Vožnja lesa z zgibnim polprikoličarjem in sortiranje lesa (foto: Mateja Intihar)

Ko je stroj za sečnjo les posekal, se je začela vožnja lesa. Zgibni polprikoličar je les naložil nase in ga pripeljal do skladišča, kjer ga je sortiral po kakovosti in debelini.



Slika 14: Sortiranje lesa na skladišču po debelini in kakovosti (foto: Mateja Intihar)

5.3.1.1 Snemanje poškodovanosti tal na prečnih profilih po sečnji

Ko smo končali s pripravi na objektu, je gozdnogospodarstvo Slovenj Gradec začelo s sečnjo na načrtovanih sečnospravih poteh. Ko je stroj posekal eno predvideno linijo in se premaknil na drugo, smo na liniji, kjer je bil les že posekan, pričeli z delom. Trudili smo se, da smo čim manj ovirali delo. Podatke, ki smo jih potrebovali, da bi ugotovili poškodbe tal, smo snemali z dlančnikom Trimble, ki je bil opremljen z računalniškim programom Terrasync. Z dlančnikom pa je bila povezana tudi antena, s pomočjo katere smo beležili tudi koordinate sečnospravih poti. Dlančnik nam je delo zelo olajšal in nam prihranil veliko časa, saj smo podatke vnašali neposredno v elektronsko obliko in nam prihranil poznejše vnašanje v računalnik. Za delo sta bila potrebna dva, saj bi bilo delo enega samega merilca zelo zamudno.

Za pridobivanje podatkov na prečnih profilih oz. za ugotavljanje poškodovanosti tal smo potrebovali naslednjo opremo:

- BOSCH križni linijski nivelirni laser s samodejnim niveliranjem, ki smo ga pritrdili na trinožno stojalo,
- sekaški meter,
- trasirko, ki je bila opremljena s centimetrsko mersko skalo,
- dlančnik Trimble z anteno,
- enoročno sekiro,
- lesene količke dolžine 25 cm.



Slika 15: BOSCH križni linijski nivelirni laser (foto: Mateja Intihar)



Slika 16: Merilni trak dolžine 50 m in sekaški meter (foto: Mateja Intihar)



Slika 17: Dlančnik Trimble (foto: Mateja Intihar)

Po končani sečnji na liniji smo ob sečnospravih poteh v tla zabili količke. Količki so pomenili mesto prečnega profila. Na količke smo napisali številko vlake in številko profila. Na sečnospravih poteh 2 in 5 smo podatke na prečnih profilih pobirali na vsakih 5 metrov. Na sečnospravih poteh 4 in 6 pa smo podatke pobirali na 10 metrov. Količke smo zabijali vedno na isto stran sečnospravih poti, pri tem pa smo morali biti pozorni, da smo količke zabili dovolj stran od sečnospravih poti, in da so bili zavarovani pred spravih lesa. Med spravih lesa lahko stroj zaradi lažjega nakladanja hlodovine rahlo zapelje iz sečnospravih poti in povozi količke ali pa jih med nakladanjem hlodovine zakrije s sečnimi ostanki ali zemljo. Količke smo predhodno tudi pobarvali z oranžno barvo, da smo jih kasneje, ko smo začeli beležiti podatke lažje in hitreje našli. Količki morajo biti od sečnospravih poti odmaknjeni tudi zato, ker to narekuje že sama metoda merjenja poškodovanosti tal. Potrebno je zmeriti tudi nepoškodovana tla ob sečnospravih poti.



Slika 18: Leseni količki, dolžine 25 cm. Prva številka (1) označuje številko sečne poti, druga pa številko prečnega profila (4) (foto: Mateja Intihar)

Ko smo po celotni sečnospravljeni poti zabili količke, smo začeli snemati podatke prečnih profilov. Pravokotno nad količek smo postavili linijski laser in ga usmerili pravokotno na sečnospravljeni pot. Linijski laser je bil pritrjen na trinožno stojalo, ki smo ga lahko prilagajali neravninam na terenu. Linijski laser pa je moral biti nameščen višje, kot so bili kupi sečnih ostankov, da smo lahko pobrali vse potrebne podatke. S pomočjo laserskega žarka smo kasneje na trasirki s centimetrsko mersko skalo, odčitavali potrebne podatke. Na vrh količka smo nato zapičili sekaški meter in ga ravno tako usmerili in raztegnili pravokotno na sečnospravljeni pot. Meter smo raztegnili malo dlje kot do konca roba sečnospravljeni poti, saj je bilo potrebno tudi na tej strani meriti nepoškodovana tla ob poti. Ko smo si pripravili laser in meter, smo začeli snemati podatke. Z dlančnikom, ki je bil pritrjen na stojalo na katerem je bila antena, smo se postavili na sredo sečnospravljeni poti (da smo beležili tudi koordinate na sredini sečnospravljeni poti). Najprej smo določili ali je to grajena ali negrajena vlaka. V našem primeru je bila to v vseh primerih negrajena vlaka.

Na vsakem prečnem profilu smo merili horizontalne in vertikalne karakteristične točke. Meritve smo delali na 1 cm natančno. Horizontalne razdalje so pomenile razdaljo od količka do karakteristične točke, kjer je bila postavljena trasirka. Horizontalne razdalje smo odčitavali s pomočjo sekaškega metra, ki smo ga predhodno položili na tla. Vertikalne karakteristične točke pa smo odčitavali s pomočjo trasirke, ki je imela centimetrsko metrsko skalo. To je pomenilo višino od tal do laserskega žarka. Merili smo naslednje karakteristične točke (od leve proti desni), kjer smo beležili dolžino in višino: višino od količka do laserja, raščena tla levo, rob kolesnice levo, sredina leve kolesnice, os sečnospravlne poti, sredina desne kolesnice, rob kolesnice desno ter raščena tla desno. Poleg teh podatkov smo ocenjevali tudi debelino in pokritost poti s sečnimi ostanki, ter višino in pokritost s panji oz. štori na kolesnicah in med kolesnicami. Delež površine pokrite s sečnimi ostanki smo podajali v odstotkih, debelino sečnih ostankov pa v cm – razdeljena v tri razrede: razred A (do 10 cm), razred B (od 10 do 40 cm) in razred C (nad 40 cm). Na isti način smo ocenjevali tudi delež in višino štorov na sečnospravljeni poti. Ponavadi se poleg teh podatkov ocenjuje še zablatenje, stopnjo oz. delež erozije in skalovitost, vendar pri nas to ni bilo potrebno, saj zablatenja, erozije in velike skalovitosti ni bilo. Isti način meritev smo uporabili na vseh sečnospravljenih poteh na objektu, tako po sečnji kot tudi po spravilu. Kot smo že zgoraj navedli, sta za meritve potrebna dva, in sicer merilec, ki je podatke odčitaval in popisovalec, ki je podatke beležil v dlančnik. Po koncu snemanja smo podatke iz dlančnika prenesli na osebni računalnik, da smo naredili prostor za nove podatke.



Slika 19: Beleženje podatkov po prečnih profilih (laser, sekaški meter, trasirka in dlančnik) (foto: Mateja Intihar)

Število prečnih profilov na sečnih poteh je bilo odvisno od dolžine linije. Na 2. in 5. sečni poti smo podatke snemali na vsakih 5 metrov, na 4. in 6 sečni poti. pa na vsakih 10 metrov. Na 2. sečni poti je bilo postavljenih 29 prečni profilov, na 5. sečni poti 34, na 4. sečni poti 15 in na 6. sečni poti 7 prečnih profilov. Skupaj je bilo na objektu 85 prečnih profilov.

5.3.1.2 Snemanje poškodovanosti tal na prečnih profilih po spravilu

Ko je bila na objektu sečnja opravljena, je gozdarska gospodarska družba pričela s spravilom. Stroj je nase pripel vilice in začel z izvozom lesa. Po izvozu lesa smo najprej preverili, če so vsi količki na svojem mestu. Kjer so količki manjkali, smo jih nadomestili z novimi. Podatke na prečnih profilih smo pobirali na isti način, kot po spravilu. Uporabili smo tudi iste pripomočke. Meritve smo izvajali na istih karakterističnih točkah. Zopet smo merili: višino od količka do laserja, raščena tla levo, rob kolesnice levo, sredina leve kolesnice, os sečnospravlne poti, sredina desne kolesnice, rob kolesnice desno ter raščena tla desno. Ponovno pa smo merili tudi delež in višino štorov ter delež in debelino sečnih

ostankov, na kolesnicah in med kolesnicami. Po končanem delu smo podatke z dlančnika prenesli na osebni računalnik ter jih shranili za nadaljnjo obdelavo.

5.3.1.3 Merjenje nosilnosti tal

Po opravljeni sečnji in spravilu smo opravili še meritve nosilnosti tal. Nosilnost tal smo merili z digitalnim penetrometrom FieldScout SC900. Nosilnost tal merimo tako, da s določeno silo potisnemo penetrometer z izbrano konico, pravokotno v tla.

Penetrometer FieldScout SC900 (vir: Spectrum Technologies, Inc.):

- ima na razpolago dvojje konic, različnih debelin (1/2 inča za bolj »fina« tla in 3/4 inča za groba tla),
- omogoča merjenje nosilnosti tal vse do globine 45 cm,
- meri nosilnost tal od 0 do 7000 kPa,
- senzorji odčitavajo nosilnost tal na vsake 2,5 cm,
- možnost priključitve na katerikoli GPS sprejemnik,
- podatki se beležijo v enotah PSI ali kPa (1 PSI = 6,9 kPa),
- lahko zabeleži do 772 meritev oz. podatkov, če je priklopljen na GPS ali DGPS pa 579 meritev,
- opremljen je z programsko opremo, ki omogoča prenos podatkov na računalnik (FieldScout software),
- natančnost: meritev globine $\pm 1,25$ cm, meritev nosilnosti ± 103 kPa,
- maksimalna hitrost potisne sile: 182 cm/min (približno 3 cm na sekundo),
- priročna torba in kovinska plošča za pomoč pri merjenju.



Slika 20: Penetrometer FieldScout SC900 (foto: Mateja Intihar)



Slika 21: Penetrometer FieldScout SC900 zaslon (foto: Mateja Intihar)

Na objektu 1 nismo merili nosilnosti tal na vsakem prečnem profilu, saj so bile terenske razmere dokaj homogene. Nosilnost tal smo merili ob prečnih profilih na zunanji strani količka. Pred meritvijo nosilnosti tal smo najprej izbrali ustrezno lokacijo. Nato smo na tla položili kovinsko ploščo, ki je imela na sredini luknjo, skozi katero smo nato potisnili penetrometer v tla. Penetrometer smo morali potiskati v tla pravokotno na tla, ter počasi in z enakomerno hitrostjo. Penetrometer je beležil nosilnost tal na vsake 2,5 cm vse do globine 45 cm, pri tem pa so se vrednosti izpisovale na digitalnem zaslonu ter shranjevale. Na objektu 1 smo s penetrometrom naredili 26 meritev nosilnosti tal.

5.3.1.4 Merjenje vlage v tleh

Poleg nosilnosti tal smo na objektu 1 merili tudi vlažnost tal. Vlažnost tal smo merili z digitalnim vlagomerom FieldScout TDR 300. Tudi vlažnost tal smo merili na podoben način kot nosilnost tal.

Vlagomer FieldScout TDR 300 (vir: Spectrum Technologies, Inc.):

- opremljen je z dvema merilnima sondama (dve kratki kovinski palici), ki merita vlažnost,
- velikost sond je lahko različna: 3,8 cm, 7,5 cm, 12 cm ali 20 cm,
- vlažnost tal je podana v odstotkih,
- priključi se lahko na katerikoli GPS sprejemnik,
- lahko zabeleži 3250 meritev, oz. 1350, če je priklopljen na GPS ali DGPS,
- opremljen je s programsko opremo, ki omogoča prenos podatkov (FieldScout software),
- natančnost meritev je $\pm 3 \%$,
- razpon meritev od 0 % pa do nasičenosti.



Slika 22: Vlagomer FieldScout TDR 300 (foto: Mateja Intihar)

Ravno tako kot pri nosilnosti tal na objektu 1 nismo merili vlažnosti tal na vseh prečnih profilih (zaradi homogenosti tal). Vlažnost tal smo merili na istih prečnih profilih kot nosilnost tal, tako da smo vlagomer počasi, z enakomerno hitrostjo potiskali v tla. Predhodno smo odstranili zgornjo humusno plast, saj je le-ta zelo rahla in nam ne poda pravih podatkov. Vlažnost tal smo merili na globini 12 cm, podatke pa smo sproti beležili v dlančnik. Sonde so morale biti v zemljo potisnjene do konca. Če je bila kakšna meritev vlažnosti dvomljiva, smo meritev ponovili.

Na objektu 1 smo naredili ravno toliko meritev vlažnosti, kot nosilnosti tal, in sicer 26 meritev.

5.3.2 Sečnja dolgega lesa – debelna oz. pol debelna metoda

Na objektu 2 smo v tanjšem debeljaku izvajali redčenje. Tudi tu ni sečnja potekala običajno, kot naj bi potekala pri kombiniranih strojih.



Slika 23: Objekt 2 – sestoj v obnovi (foto: Mateja Intihar)

Najprej je stroj za sečnjo opravil posek, nato pa se je začela vožnja lesa. Stroj je nase pripel klešče (ang. *clambunk*), s katerimi je zgrabil les in ga vlek do skladišča. V tem primeru je šlo za debelno oz. pol debelno metodo; hlodovina je v dolžino merila od 10 do 15 m.



Slika 24: Klešče (foto: Mateja Intihar)



Slika 25: Spravilo s sedlastim traktorjem (foto: Matevž Mihelič)

5.3.2.1 Snemanje poškodovanosti tal na prečnih profilih po sečnji in spravilu

Snemanje poškodovanosti tal na prečnih profilih po sečnji in spravilu je potekalo na isti način kot pri sortimentni metodi na objektu 1. Uporabili smo enako metodo in enako opremo. Razlika je bila le v tem, da smo podatke pobirali le enkrat.



Slika 26: Spravilo lesa s sedlastim traktorjem (foto: Matevž Mihelič)



Slika 27: Nakladanje tovara na sedlasti traktor (foto: Matevž Mihelič)

Tu je bila le ena načrtovana sečnospravilna pot, ki je bila označena s številko 1, imela pa je dva kraka, ki smo jih označili 1a in 1b. Ravno tako, kot na sečnospravilni poti 2 in 5, smo tudi tu prečne profile postavili na vsakih 5 metrov. Na objektu 2 smo merili iste karakteristične točke kot na objektu 1: višino od količka do laserja, raščena tla levo, rob kolesnice levo, sredina leve kolesnice, os sečnospravilne poti, sredina desne kolesnice, rob kolesnice desno ter raščena tla desno, debelino in delež sečnih ostankov ter višino in delež štorov na kolesnicah in med kolesnicami. Tudi tu sta bila potrebna dva merilca in sicer merilec, ki je odčitaval meritve in popisovalec, ki je podatke beležil v dlančnik. Kasneje smo podatke prenesli in shranili na osebni računalnik.

Na sečnospravilni poti 1 smo postavili 29 prečnih profilov, na kraku 1a 8 ter na kraku 1b 10 prečnih profilov. Skupno 47 prečnih profilov.

5.3.2.2 Merjenje nosilnosti tal

Tudi nosilnost tal smo snemali na isti način, kot na objektu, kjer smo sekali kratek les. Za merjenje nosilnosti tal smo uporabili penetrometer FieldScout SC900. Razlika je bila v

tem, da smo na objektu 2 na sečnospravljeni poti merili nosilnost tal na vsakem prečnem profilu. Kot v prvem primeru, smo tudi tu nosilnost tal merili na zunanji strani količka. Penetrometer smo počasi in z enakomerno hitrostjo potiskali v tla. Na vsakih 2,5 cm so se na digitalnem zaslonu izpisovali podatki o nosilnosti tal v kPa, ter se samodejno shranjevali.

Na objektu 2 smo tako skupno zbrali oz. naredili 47 meritev nosilnosti tal.

5.3.2.3 Merjenje vlage v tleh

Merjenje vlažnosti tal je na objektu 2 potekalo enako kot na objektu 1. Tudi tu smo za merjenje vlažnosti tal uporabili digitalni vlagomer FieldScout TDR 300. Tu smo merili vlažnost tal na vsakem prečnem profilu ob sečnospravljeni poti na zunanji strani količka. Odstranili smo zgornjo humusno plast in nato vlagomer počasi z enakomerno hitrostjo potiskali v tla. Podatke smo sproti beležili v dlančnik.

5.4 OBDELAVA PRIDOBLENIH PODATKOV

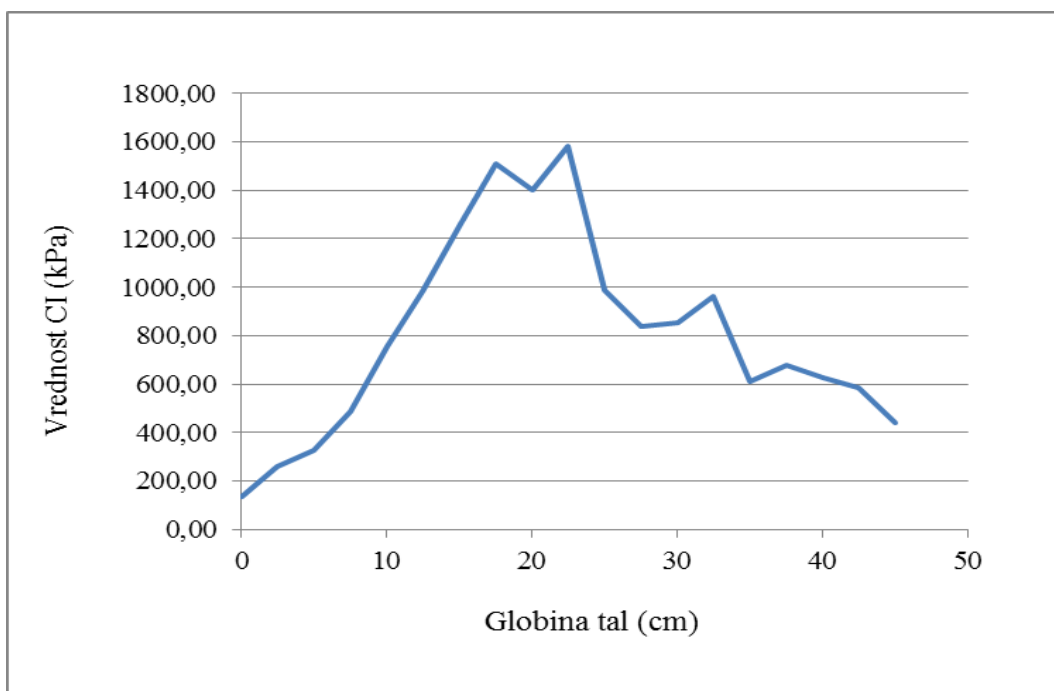
Ko smo zaključili s pobiranjem podatkov na terenu, smo pridobljene podatke preko kabla prenesli na prenosni računalnik. Zbrane podatke smo nato pripravili za nadaljnjo obdelavo. Obdelava podatkov je potekala v računalniških programih Microsoft Excel in SPSS Statistic, kjer smo uporabili različne statistične teste, kot so: Wilcoxon-ov test, Spearmanov koeficient korelacije, Mann-Whitney U test, Multiplo linearno regresijo ter Analizo variance (ANOVA).

6 REZULTATI

6.1 SEČNJA KRATKEGA LESA - SORTIMENTNA METODA

6.1.1 Konusni indeks

Nosilna zmogljivost tal je neposredno povezana z odpornostjo tal proti penetriranju, konusni indeks (CI) pa je indikator nosilne zmogljivosti tal (Saarilahti, 2002). Na objektu ena, kjer je potekala sečnja kratkega lesa smo s konusnim penetrometrom merili nosilnost gozdnih tal. Merimo jo v kPa. Spodnja slika nam prikazuje vrednosti konusnega indeksa glede na globino gozdnih tal. Opazimo lahko, da konusni indeks z globino sprva narašča, dokler ne doseže maksimuma. Največjo povprečno vrednost CI doseže med 20 in 25 cm globine (1581,77 kPa), nato pa vrednost CI z globino pada. Povprečna vrednost CI na objektu je bila 804,38 kPa.



Slika 28: Povprečne vrednosti konusnega indeksa (CI) glede na globino tal

Vrednost konusnega indeksa (CI), ki smo ga uporabili v nadaljevanju smo izračunali iz povprečnih vrednosti v globini tal 10 in 20 cm. Izračunali smo ga po naslednji enačbi:

$$CI = (CI_{10} * CI_{20})/2$$

Kjer je:

CI Konusni indeks (kPa)

CI₁₀ Konusni indeks v globini 10 cm (kPa)

CI₂₀ Konusni indeks v globini 20 cm (kPa)

Preglednica 1: Vrednosti CI v kPa

N	Aritmetična sredina	Mediana	Standardni odklon
26	1078,35	1035,25	457,99

Povprečni CI je bil 1078,35 kPa.

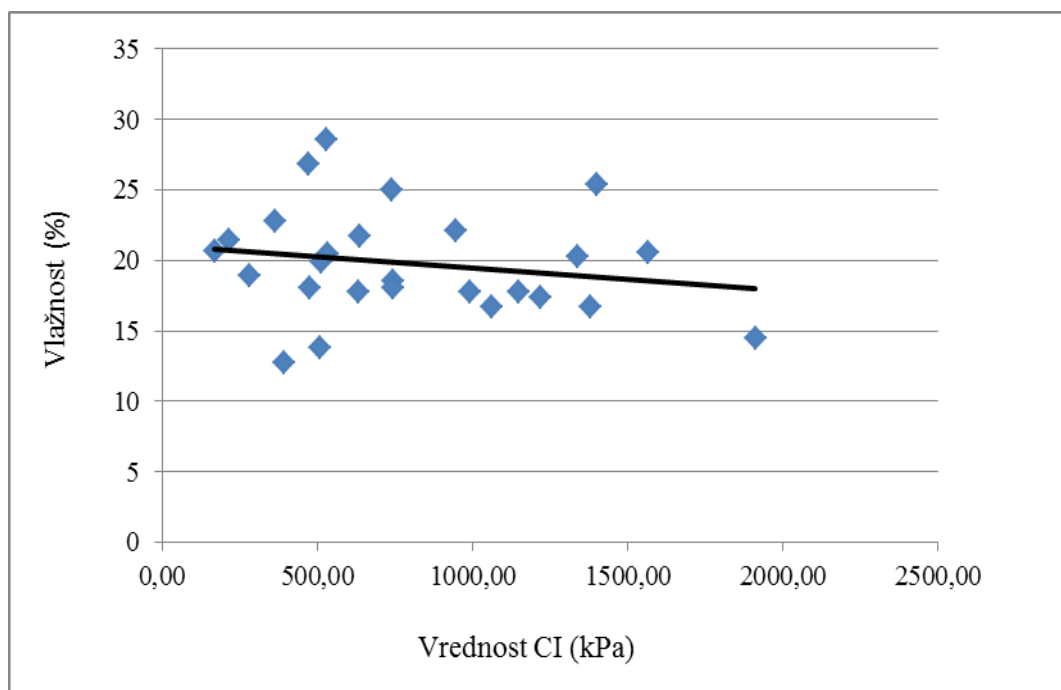
6.1.2 Vlažnost tal

V naši raziskavi smo poleg CI merili tudi vlažnost tal. Vlažnost je eden izmed dejavnikov, ki vplivajo na trdnost tal, ter igra pomembno vlogo pri prevoznosti terena oz. njegovi prehodnosti.

Preglednica 2: Vlažnost tal v %

N	Aritmetična sredina	Mediana	Standardni odklon
26	19,79	19,40	3,83

Slika 29 nam prikazuje vlažnost tal glede na vrednost CI. Opazimo, da vrednost CI z večanjem vlažnosti pada. Povprečna vlažnost tal na objektu je bila 19,79 %.



Slika 29: Vlažnost tal glede na vrednosti konusnega indeksa (CI)

Preglednica 3: Povprečne vrednosti CI glede na razred vlažnosti tal

Vlažnost (%)	Povprečni CI (kPa)	Št. profilov
10-14,9	938,21	3
15-19,9	835,78	11
20-24,9	720,51	8
25-29,9	785,36	4

Preglednica 3 nam prikazuje povprečne vrednosti CI glede na razred vlažnosti tal. Podatke smo razvrstili glede na vlažnost tal v naslednje razrede: 10-14,9 %, 15-19,9 %, 20-24,9 % in 25-29,9%. Iz podatkov lahko sklepamo, da večja kot je vlažnost tal, manjši je CI.

6.1.3 Širina sečnih poti in svetlih profilov

V nadaljevanju smo računali širino sečnih poti in širino svetlih profilov. Računali smo jih za vsak profil posebej. Širino sečnih poti, smo dobili tako, da smo od desnega roba sečne poti odšteli levi rob - izračunali smo razliko med horizontalni razdaljami obeh točk robov sečne poti. Širina svetlega profila pa nam predstavlja razliko med horizontalnima razdaljama raščenih tal na levi in desni strani sečne poti.

Preglednica 4: Širine sečni poti in širine svetlih profilov

Faza dela		n	Aritmetična sredina (cm)	Mediana (cm)	Standardni odklon (cm)
Sečnja	Širina sečne poti	85	298,65	295,00	27,46
	Širina svetlega profila	85	471,53	460,00	60,50
Spravilo	Širina sečne poti	85	319,98	303,00	55,87
	Širina svetlega profila	85	490,00	470,00	91,92

Preglednica 4 nam prikazuje širine sečnih poti in širine svetlih profilov. Kot pričakovano, je širina sečne poti pri sečnji manjša (298,65 cm) kot širina sečne poti pri spravilu (319,98 cm). Isto lahko ugotovimo pri širinah svetlih profilov - širina svetlega profila pri sečnji je manjša (471,53 cm) kot pri spravilu (490,00 cm). Širina sečnih poti po sečnji je bila za 21,33 cm manjša od sečnih poti po spravilu. Podobno smo ugotovili za širino svetlih profilov, kjer so bili svetli profili pri sečnji manjši za 18,47 cm, kot pri spravilu.

V programu SPSS Statistics smo širine sečnih poti med fazama dela primerjali z Wilcoxon testom. Test je pokazal, da obstajajo statistično značilne razlike pri sečnih poteh med fazama. To pomeni, da zgibni polprikoličar povzroči večje spremembe v širini sečnih poti.

Preglednica 5: Primerjava širin sečnih poti med sečnjo in spravilom lesa z Wilcoxon testom

Primerjava	N	Z	Značilnost
Sečnja-spravilo	85	-3,464	0,001

Preglednica 6: Število in delež profilov glede na spremembo širine sečne poti in svetlih profilov po fazi spravila lesa

Širina		Večja	Enaka	Manjša
Sečna pot	Število	54	0	31
	Delež (%)	63,53	0,00	36,47
Svetli profil	Število	45	13	27
	Delež (%)	52,94	15,29	31,76

Širina sečnih poti se je potem, ko je bila faza spravila lesa opravljena, v kar 63,53 % spremenila. Sečna pot se je povečala na kar 54 profilih od 85 merjenih, na 31 profilih pa se je celo zmanjšala (36,47 %).

Podoben trend lahko pazimo tudi pri širini svetlih profilov. Svetli profil se je povečal na 45 profilih, kar je več kot polovica (52,94 %). Na 13 profilih je ostala enaka (15,29 %), na 27 profilih pa se je zmanjšala (31,76 %).

Preglednica 7: Koeficient širine sečne poti po fazah dela glede na širino stroja

Faza dela	Povprečje
Sečnja	1,00
Spravilo	1,07

Razmerje med širino sečne poti in širino stroja določamo s koeficientom širine sečne poti. Iz dobljenih podatkov lahko sklepamo, da je bila povprečna sečna pot pri sečnji enaka širini stroja, pri spravilu pa je bila povprečna sečna pot 7 % širša od stroja s katerim smo opravljali delo.

Preglednica 8: Delež motene površine po sečnji in po spravilu

Faza dela	Dolžina (m)	Širina (m)	Površina poti (m ²)	Površina poti (%)	Gostota poti (m/ha)
Sečnja	505	2,99	1508,17	0,06	126,88
Spravilo	505	3,20	1615,88	0,07	126,88

Po končanem delu, je bilo na objektu 1 s sečnimi potmi motene 5 % površine. Na objektu s površino 2,35 m² smo merili 505 m sečnih poti. Skupaj je bilo 1615,88 m² motene površine. Med sečnjo in spravilom ni bilo velikih razlik – motene površine je bilo po spravilu za 1 % več, kot po sečnji. Gostota sečnih poti na objektu je bila 126,88 m/ha.

6.1.4 Globina kolesnic

6.1.4.1 Risanje prečnih profilov

V nadaljevanju naše raziskave je sledilo risanje prečnih profilov. Prečne profile lahko rišemo iz podatkov, ki smo jih pobirali na terenu - iz podatkov o horizontalnih in vertikalnih razdaljah merjenih karakterističnih točk. Podatke najprej preoblikujemo tako, da za vse profile na sečnih poteh določimo enako izhodiščno točko. To smo dobili tako, da smo pri vsakem posameznem profilu od vertikalne razdalje raščenih tal na levi strani odšteli vse vertikalne razdalje karakterističnih točk. Te razlike nam podajajo potek prečnega profila. Podatke smo pobirali dvakrat, in sicer, najprej po končani sečnji in nato še po končanem spravilu lesa. Tako smo lahko primerjali, kakšno je bilo stanje na prečnih profilih po fazah dela.

6.1.4.2 Računanje globine kolesnic

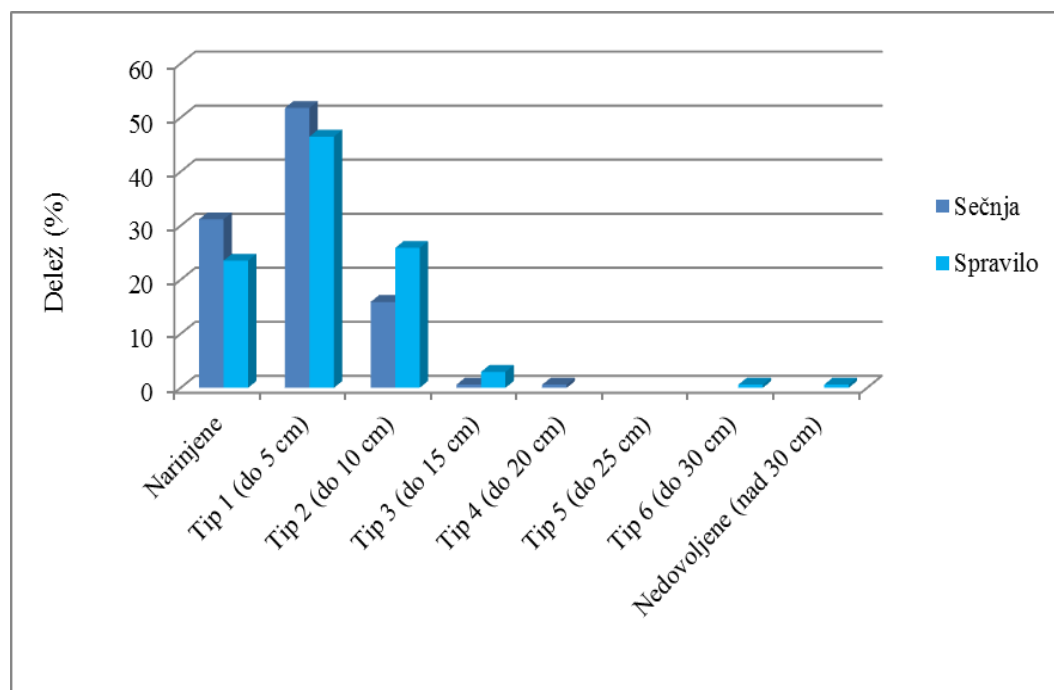
Ker nismo merili stanja na sečnih poteh pred začetkom dela, smo morali globine kolesnic najprej izračunati, saj le-teh ni bilo mogoče neposredno razbrati iz zbranih podatkov. Globine kolesnic smo računali po vsakifazi dela posebej. Pri izračunu smo si pomagali z enačbo premice. Vsakemu posameznemu profilu smo izračunali dve premici, in sicer prva premica je povezovala rob na levi stani sečne poti in os poti, druga premica pa je povezovala os sečne poti z desnim robom poti. Premici, ki smo jih izračunali, sta nam prikazovali stanje gozdnih tal pred fazama dela. Najprej je bilo potrebno izračunati vrednosti k in n za vsako kolesnico (levo in desno) na vseh profilih. Iz izračunanih vrednosti k in n , ter horizontalne razdalje kolesnic, smo nato izračunali vertikalno razdaljo nepoškodovanih tal pri kolesnici. Da smo dobili dejansko globino kolesnice smo od vertikalne razdalje nepoškodovanih tal morali odšteli vertikalno razdaljo kolesnice. To smo storili za vsako fazo dela posebej ter za vsako kolesnico – levo posebej in desno posebej, saj smo ugotovili, da so se pojavile razlike pri globini kolesnic na istem profilu.

$$y = k \cdot x + n \quad \dots(3)$$

Ko smo izračunali globine kolesnic, smo jih razporedili v 8 tipov, ki so bili v razponu 5 cm (preglednica 9). Tiste kolesnice, ki so pri obdelavi podatkov imele negativen predznak, smo razvrstili v tip Narinjeno – to so bile kolesnice, ki so bile po fazah dela višje kot pred fazama. V tipu 1 – 6 so bile kolesnice, ki so bile z vidika poškodovanosti tal še dopustne, globine kolesnic, ki pa so bile večje kot 30 cm, pa smo uvrstili v tip Nedovoljeno.

Preglednica 9: Razpored kolesnic v tipe

Tip	Globina kolesnic (cm)
Narinjeno	manj kot 0 cm
Tip 1	od 0 do vključno 5 cm
Tip 2	od 5 do vključno 10 cm
Tip 3	od 10 do vključno 15 cm
Tip 4	od 15 do vključno 20 cm
Tip 5	od 20 do vključno 25 cm
Tip 6	od 25 do vključno 30 cm
Nedovoljeno	nad 30 cm



Slika 30: Globine kolesnic (delež) glede na fazo dela

Zgornja slika (slika 30) nam glede na fazo dela prikazuje, kolikšen je delež kolesnic v posameznem tipu. Opazimo lahko, da je največji delež kolesnic v prvih treh tipih, in sicer pri obeh delovnih fazah, tako sečnji kot pri spravilu. Vidimo, da se kolesnice pri sečnji pojavijo v prvih petih tipih (v tip 3 in tip 4 je delež zelo majhen. Kolesnice, ki nastajajo pri spravilu, so bolj kritične, kar smo tudi pričakovali. Pojavijo se v skoraj vseh tipih (razen v tip 5), tudi v tipu Nedovoljene. Delež le-teh je 0,59 %, najgloblja kolesnica pa je merila kar 39,93 cm.



Slika 31: Kolesnice in sečni ostanki po sečnji in spravilu pri sortimentni metodi (foto: Mateja Intihar)

Preglednica 10: Narasle in stisnjene kolesnice glede na faze dela

Faze dela	N	Aritmetična sredina (cm)	Mediana (cm)	Standardni odklon (cm)
Narasle				
Sečnja	53	-3,14	-2,26	3,13
Spravilo	40	-2,59	-2,28	2,59
Stisnjene				
Sečnja	117	3,69	3,00	2,81
Spravilo	130	4,91	3,97	4,69

Izračunane kolesnice smo razdelili na dva dela, in sicer glede na to ali so bile narinjene ali stisnjene. Pri obeh delovnih fazah lahko opazimo, da je več stisnjenih kot naraslih kolesnic. Kolesnicam smo izračunali tudi aritmetično sredino, mediano in standardni odklon za vsako delovno fazo posebej.

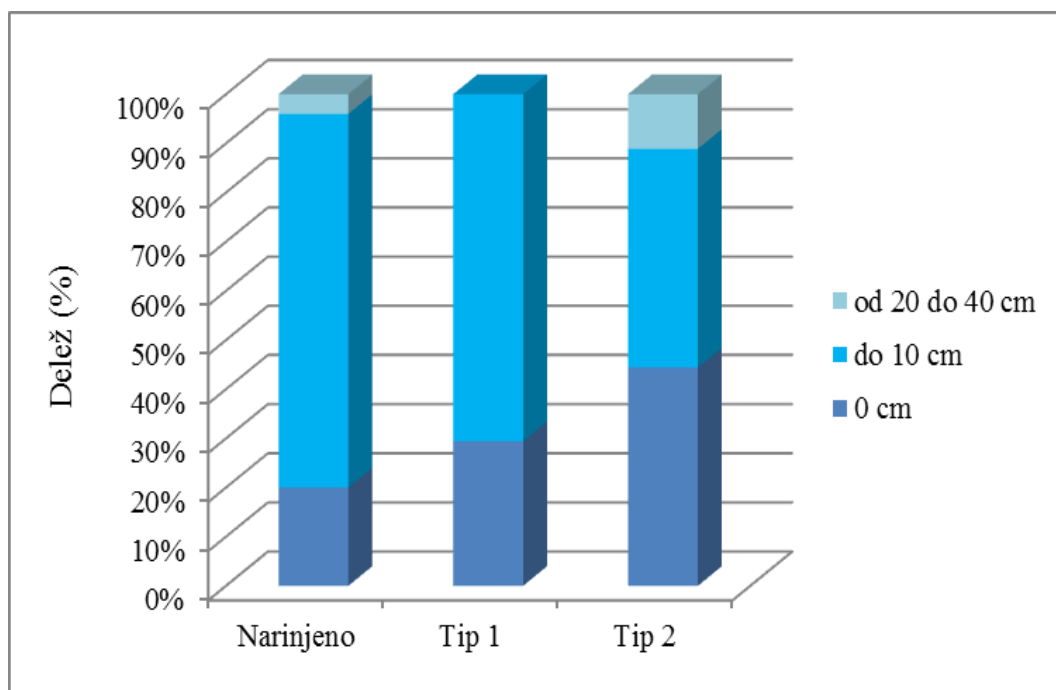
Da bi ugotovili, ali obstajajo razlike med delovnima fazama, smo z Wilcoxon testom primerjali globino kolesnic po sečnji in globino kolesnic po spravilu. Wilcoxon test je pokazal, da obstajajo statistično značilne razlike pri globini kolesnic med delovnima fazama. Test nam je potrdil domneve, da spravilo lesa z zgibnim polprikoličarjem povzroča večje kolesnice in s tem tudi večje poškodbe tal.

Preglednica 11: Primerjava globine kolesnic med sečnjo in spravilom lesa z Wilcoxon testom

Primerjava	N	Z	Značilnost
Sečnja-spravilo	170	-4,200	0,000

6.1.4.3 Vpliv sečnih ostankov na globino

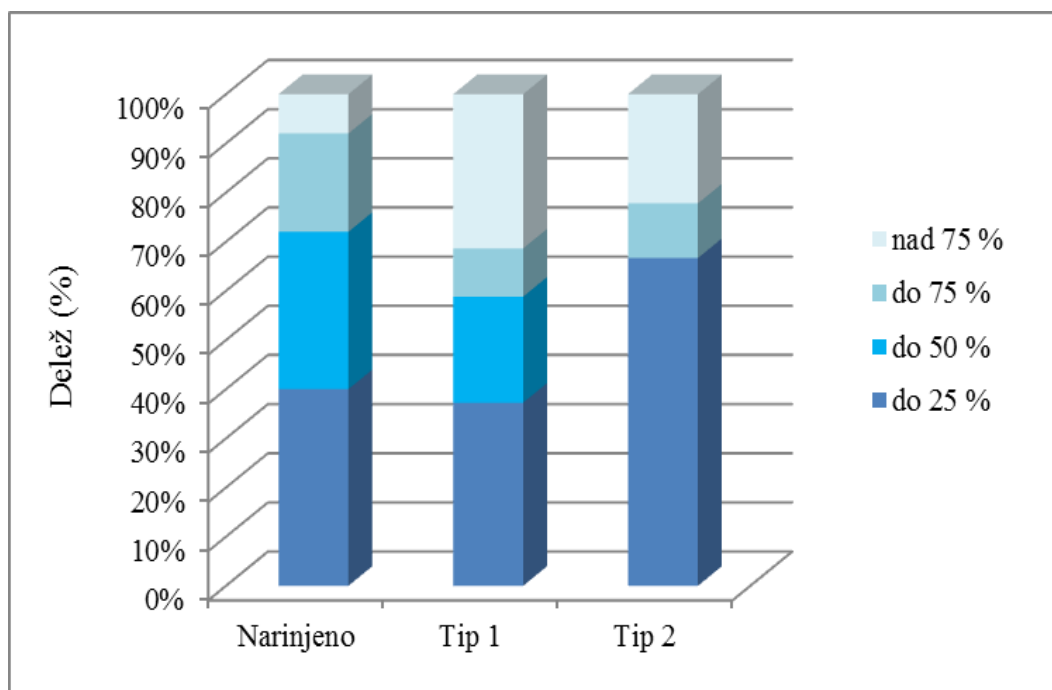
Ko smo na objektu merili razdalje karakterističnih točk, smo poleg le-teh merili tudi debelino in pokritost sečnih poti s sečnimi ostanki. Na vsakem profilu smo izmerili debelino in pokritost s sečnimi ostanki na kolesnici in na osi sečne poti. Debelino sečnih ostankov smo razdelili v štiri razrede: 0 (brez sečnih ostankov), do 10 cm (A), od 10 do 40 cm (B) in nad 40 cm (C). Ravno tako smo v razrede razdelili pokritost s sečnimi ostanki. Razdelili smo jih v 4 razrede: do 25 %, do 50 %, do 75 % in nad 75 %. S podatki o debelini in pokritosti s sečnimi ostanki smo poskušali ugotoviti, če sečni ostanki pozitivno vplivajo na nastanek oz. globino kolesnic.



Slika 32: Debelina sečnih ostankov na kolesnici po sečnji glede na tip kolesnice po sečnji

Zgornja slika (slika 32) nam prikazuje debelino sečnih ostankov na kolesnici po sečnji glede na tip kolesnice po sečnji. Tipi kolesnic so opredeljeni v poglavju 6.1.4.2 (preglednica 9). Iz slike je razvidno, da so narinjene kolesnice nastale tam, kjer je bil delež sečnih ostankov najvišji; najgloblje kolesnice pa so nastale na tistih profilih, kjer ni bilo sečnih ostankov, ali pa le bile le-teh manj (npr. tip 2).

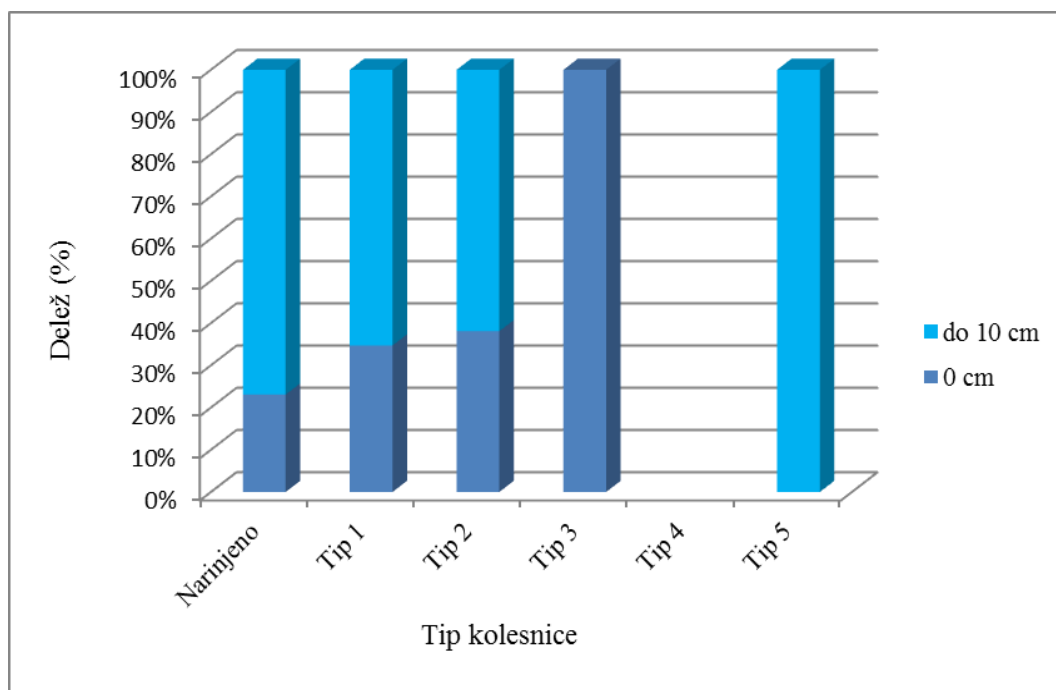
Podobno smo ugotavljali tudi za pokritost sečnih poti s sečnimi ostanki. Spodnja slika (slika 33) nam prikazuje pokritost kolesnic s sečnimi ostanki po sečnji glede na tip kolesnice po sečnji.



Slika 33: Pokritost s sečnimi ostanki na kolesnici po sečnji glede na tip kolesnice po sečnji

Dobili smo podobne rezultate, kot pri debelini sečnih ostankov; narinjene kolesnice so nastale tam, kjer je bil delež pokritosti s sečnimi ostanki največji, najgloblje kolesnice pa so nastale na tistih profilih, kjer so bili deleži pokritosti s sečnimi ostanki najmanjši (do 25 %, kar vključuje tudi profile, kjer sečnih ostankov ni bilo).

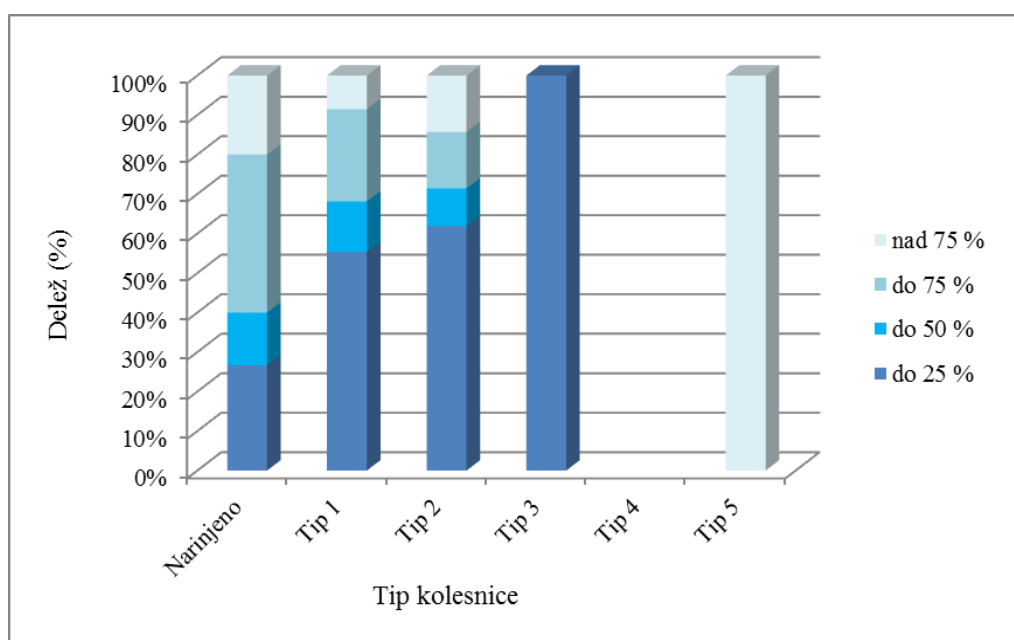
Isto smo ponovili še za fazo spravila lesa. Ravno tako, kot pri sečnji, smo tudi tu debelino in pokritost s sečnimi ostanki primerjali z globino kolesnic po spravilu.



Slika 34: Debelina sečnih ostankov na kolesnici po spravilu glede na tip kolesnice po spravilu

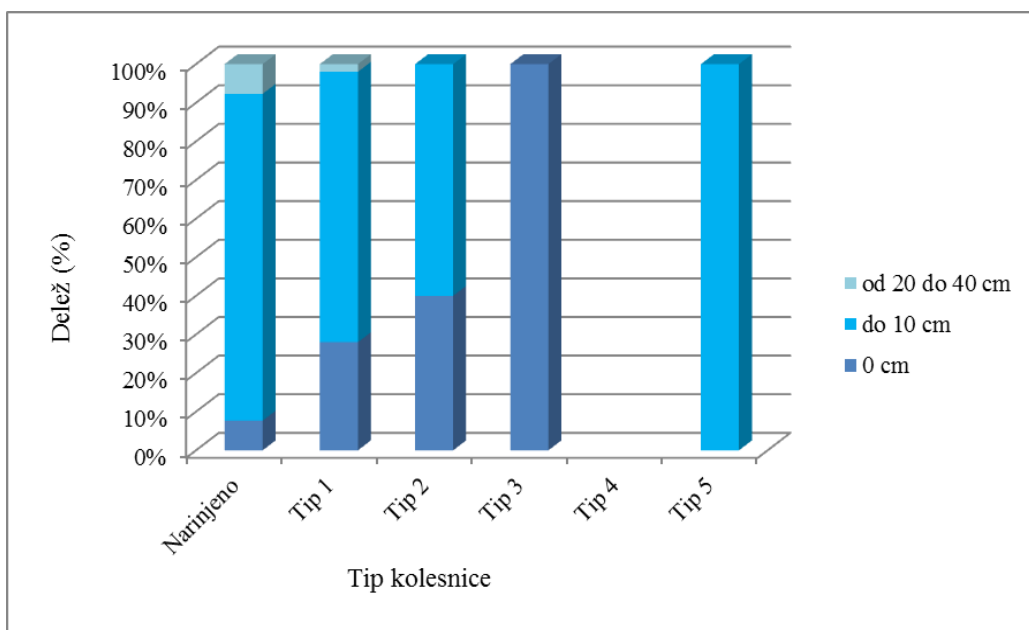
Slika 34 prikazuje debelino sečnih ostankov na kolesnici po spravilu glede na tip kolesnice po spravilu. Opazimo lahko, da je stanje precej drugačno, kot po sečnji. Tu sta definirana le dva razreda debeline sečnih ostankov, in sicer 0 cm in do 10 cm. Narinjene kolesnice so nastale tam, kjer je debelina sečnih ostankov največja. Pri tipu kolesnic tip 1 in tip 2 so v še kar precejšnjem deležu prisotni sečni ostanki, medtem, ko na profilih, kjer so nastale največje kolesnice je sečnih ostankov zelo malo (tip 5 – v ta tip je uvrščen samo en profil) ali nič (tip 3).

Ravno tako, kot pri sečnji smo tudi pri spravilu lesa ugotavljali pokritost kolesnic s sečnimi ostanki. Dobili smo podobne rezultate, kot pri debelini sečnih ostankov. Tam, kjer je bil delež sečnih ostankov največji so nastajale narinjene kolesnice. V tipu 1 in 2 se delež pokritosti s sečnimi ostanki zelo zmanjša, v tipu 3 sečnih ostankov ni. V tipu 5 pa je pokritost nad 75 %, vendar imamo v tip 5 le en profil.



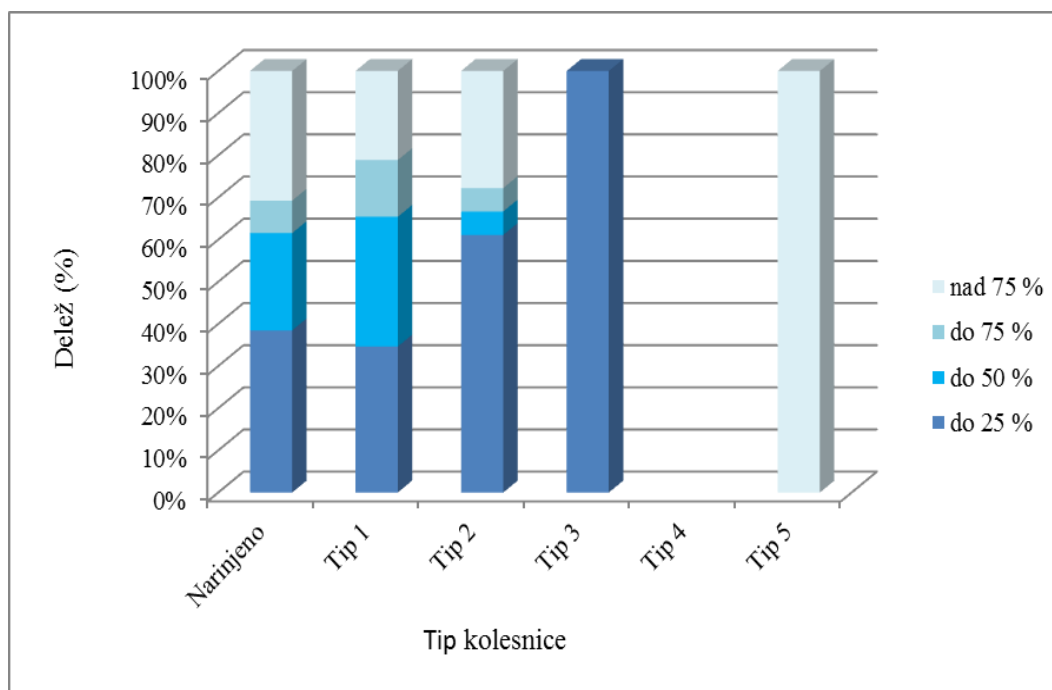
Slika 35: Pokritost s sečnimi ostanki na kolesnici po spravilu glede na tip kolesnice po spravilu

Nadalje smo raziskovali tudi debelino in pokritost sečnih ostankov na kolesnicah po sečnji glede na tip kolesnice pa spravilu.



Slika 36: Debelina sečnih ostankov na kolesnici po sečnji glede na tip kolesnice po pravilu

Tudi slika 36 potrjuje trend, da se globina kolesnic povečuje z manjšanjem sečnih ostankov. Ravno tako, kot v prejšnjih primerih, so narinjene kolesnice nastale tam, kjer je bil delež debeline sečnih ostankov večji, medtem, ko so tam, kjer je debelina sečnih ostankov manjša, nastajale globlje kolesnice.



Slika 37: Pokritost s sečnimi ostanki na kolesnici po sečnji glede na tip kolesnice po spravilu

Na sliki 37 si lahko pogledamo še delež pokritosti s sečnimi ostanki na kolesnici po sečnji. Ravno tako opazimo, da se z manjšanjem pokritosti s sečnimi ostanki večja globina kolesnic.



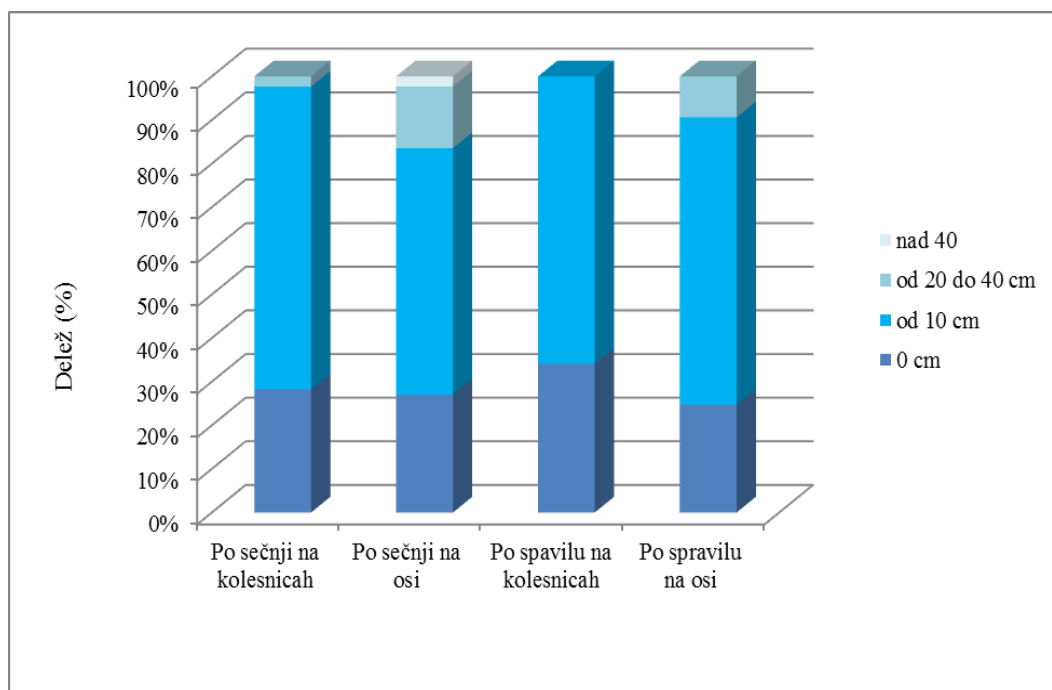
Slika 38: Sečni ostanki na sečnospravljeni poti na objektu 1 (foto: Mateja Intihar)

Preglednica 12: Analiza povezav s Spearmanovim koeficientom korelacije med globino kolesnic in debelino sečnih ostankov ter globino kolesnic in pokritostjo s sečnimi ostanki

Sečni ostanki	N	Koeficient korelacije	Značilnost	Raven povezanosti
Globina kolesnic po sečnji				
Debelina po sečnji	85	-0,159	0,073	/
Pokritost po sečnji	85	-0,061	0,289	/
Globina kolesnic po spravilu				
Debelina po sečnji	85	-0,324	0,001	0,001
Pokritost po sečnji	85	-0,098	0,187	/
Debelina po spravilu	85	-0,174	0,056	/
Pokritost po spravilu	85	-0,170	0,060	/

Z analizo povezav s Spearmanovim koeficientom korelacije med globino kolesnic in debelino sečnih ostankov ter globino in pokritostjo s sečnimi ostanki, nismo potrdili povezav med globinami kolesnic in debelino sečnih ostankov ter povezav med globino

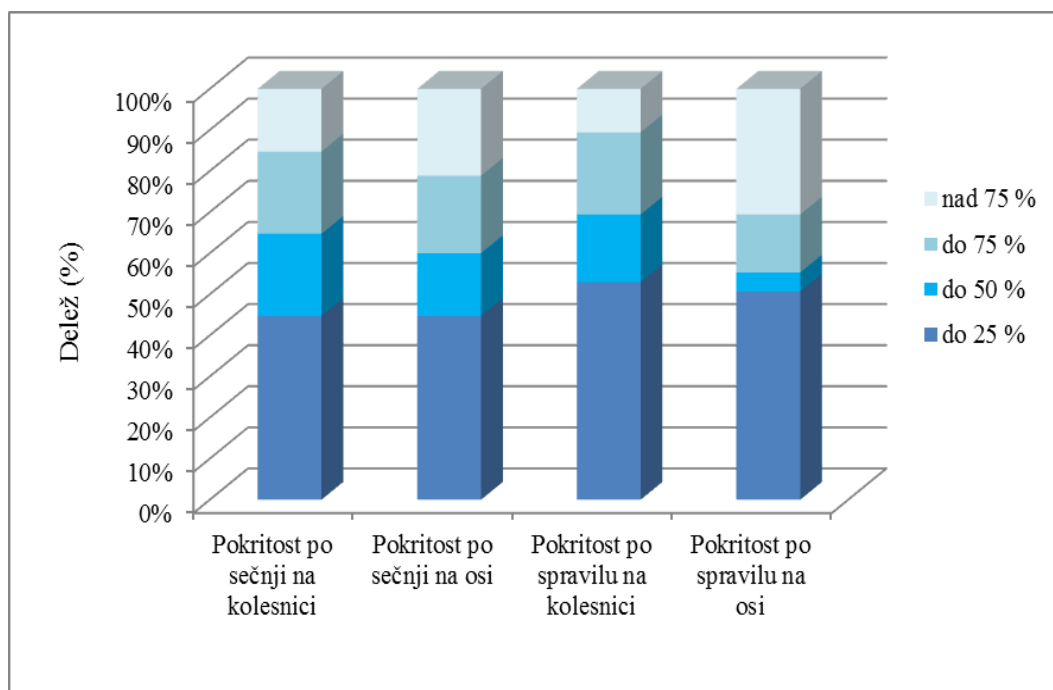
kolesnic in pokritostjo s sečnimi ostanki. Test je pokazal značilno povezavo le med globino kolesnic po spravilu in debelino sečnih ostankov po sečnji.



Slika 39: Debelina (delež) sečnih ostankov glede na fazo dela in mesto na sečni poti

Na zgornji sliki (slika 39) so prikazani deleži debeline sečnih ostankov glede na fazo dela in mesto na sečni poti. Opazimo lahko, da se debelina sečnih ostankov na sečni poti zmanjšuje s številom prehodov stroja. Velike spremembe se pojavijo na kolesnicah sečnih poti, saj se je delež sečnih ostankov po spravilu zmanjšal za 5,88 %. Na osi sečne poti pa med fazama dela ne pride do velikih sprememb v debelini sečnih ostankov.

Pogledali smo si tudi delež pokritosti sečnih poti s sečnimi ostanki (slika 40). Stanje je podobno, kot pri debelini sečnih ostankov. Večje spremembe se zopet pojavijo na predelu kolesnic – delež pokritosti s sečnimi ostanki se je po spravilu zmanjšal. Pokritost s sečnimi ostanki se zmanjšuje s številom prehodov stroja. Pri pokritosti s sečnimi ostanki na osi ni prišlo do večjih sprememb.



Slika 40: Pokritost s sečnimi ostanki (delež) glede na fazo dela in mesto na sečni poti

V nadaljevanju smo si pogledali tudi, kako določeni kazalniki vplivajo na globino kolesnic. Z linearno multiplo regresijo v programu SPSS smo si pogledali, katere neodvisne spremenljivke (konusni indeks (CI), vlažnosti tal, debelina in pokritosti s sečnimi ostanki) značilno vplivajo na odvisno spremenljivko. V našem primeru je odvisna spremenljivka globina kolesnic. Postavili smo domnevo, da je globina kolesnic statistično značilno odvisna od CI, vlažnosti tal, debeline in pokritosti s sečnimi ostanki. Pogledali smo si tudi R, ki nam pove, kako dobro te spremenljivke napovedujejo globino kolesnic. R je dokaj nizek, zato lahko sklepamo, da našete neodvisne spremenljivke ne napovedujejo dobro globine kolesnic. Ugotovili smo, da nam v našem primeru ni uspelo dokazati statistično značilnih odvisnosti globine kolesnic od naštetih neodvisnih spremenljivk. Najbolje je z globino kolesnic v obeh primerih, pri sečnji in spravilu, povezana vlažnost tal.

Preglednica 13: Vpliv neodvisnih spremenljivk na odvisno spremenljivko (globino kolesnic)

Stroj	R	Kazalnik	Značilnost
HV	0,326	CI	0,223
		Vlažnost	0,145
		Debelina	0,368
		Pokritost	0,268
FW	0,3670	CI	0,367
		Vlažnost	0,216
		Debelina	0,320
		Pokritost	0,286

6.1.5 Primerjava vzorčenja podatkov na različnih razdaljah

V nadaljevanju nas je zanimalo tudi, kakšne so razlike, če vzorčimo podatke določenih razdaljah na sečni poti. Preverjali smo, ali obstajajo razlike, če pobiramo podatke na profilih na vsakih 5 m, 10 m, 15 m in 20 m. V raziskavi smo uporabili le sečne poti, na katerih smo podatke pobirali na 5 m. V primeru sečnje s strojem za sečnjo in spravilom lesa z zgibnim polprikoličarjem sta bili to sečni poti 2 in 5. V zbranih podatkih smo najprej uporabili vse podatke (na 5 m), nato vsakega drugega (na 10 m), vsakega tretjega (na 15 m) in vsakega četrtega (na 20 m). Da smo preverili, ali prihaja do razlik, če vzorčimo podatke na vsakih 5, vsakih 10, 15 in 20 m, smo uporabili analizo variance (ANOVA). Da smo lahko izvedli ANOVO, je bilo naprej potrebno preveriti homogenost varianc in normalnost. Pri pobiranju podatkov na 5 m, je bilo število profilov 63, na 10 m 35 profilov, na 15 m 22 profilov in na 20 m 17 profilov. Preverjali smo, ali prihaja do razlik med širinami sečnih poti, globino kolesnic ter debelino in pokritostjo sečnih poti s sečnimi ostanki.

6.1.5.1 Širina sečnih poti

Najprej smo preverjali, ali pride do razlik v širini sečnih poti, če pobiramo podatke na vsakih 5, 10, 15 in 20 m. Z ANOVO smo ugotovili, da v obeh primerih, tako pri sečnji s strojem za sečnjo, kot pri spravilu z zgibnim polprikoličarjem, ni statistično značilnih razlik, če pobiramo podatke na 5, 10, 15 in 20 m. Opazimo pa lahko, da so razlike večje pri spravilu z zgibnim polprikoličarjem.

Preglednica 14: Preverjanje razlik v širini sečnih poti z ANOVO

Stroj		Na 5 m	Na 10 m	Na 15 m	Na 20 m	Skupaj	Značilnost
HV	Število profilov	63	35	22	17	137	
	Povp. širina poti (cm)	298,60	300,89	293,91	290,29		0,555
	Standardni odklon	28,14	32,56	22,15	23,77		
FW	Število profilov	63	35	22	17	137	
	Povp. širina poti (cm)	322,71	317,74	343,95	326,53		0,427
	Standardni odklon	58,11	48,24	59,34	63,41		

6.1.5.2 Globina kolesnic

Na podoben način smo preverili tudi razlike v globini kolesnic. Z ANOVO smo ugotovili, da ni statistično značilnih razlik v globini kolesnic, če vzorčimo podatke na vsakih 5, 10, 15 in 20 m.

Preglednica 15: Preverjanje razlik v globini kolesnic z ANOVO

Stroj		Na 5 m	Na 10 m	Na 15 m	Na 20 m	Skupaj	Značilnost
HV	Število profilov	63	35	22	17	137	
	Povp. globina kolesnic (cm)	1,65	1,93	1,75	1,43		0,952
	Standardni odklon	3,07	2,89	2,46	3,85		
FW	Število profilov	63	35	22	17	137	
	Povp. globina kolesnic (cm)	3,57	3,38	3,23	2,48		0,712
	Standardni odklon	3,67	2,69	4,63	1,78		

6.1.5.3 Debelina in pokritost s sečnimi ostanki

Enako smo nato storili še za debelino in pokritost sečnih vlak s sečnimi ostanki. Ravno tako smo uporabili ANOVO. Ugotovili smo podoben trend, kot pri širini sečnih poti in globini kolesnic, in sicer, da ni statistično značilnih razlik v debelini in pokritosti sečnih poti s sečnimi ostanki, če vzorčimo podatke na vsakih 5, 10, 15 in 20 m.

Preglednica 16: Preverjanje razlik v debelini in pokritosti sečnih poti s sečnimi ostanki z ANOVO

Stroj			Na 5 m	Na 10 m	Na 15 m	Na 20 m	Skupaj	Značilnost
HV	Debelina	Število profilov	63	32	22	17	134	
		Povp. debelina kolesnic (cm)	7,62	6,88	7,27	7,06		0,949
		Standardni odklon	5,30	4,71	4,56	4,70		
	Pokritost	Število profilov	63	32	22	17	134	
		Povp. pokritost kolesnic (%)	35,95	31,09	31,82	32,35		0,801
		Standardni odklon	31,24	28,98	30,61	30,47		
FW	Debelina	Število profilov	63	32	22	17	134	
		Povp. debelina kolesnic (cm)	6,67	5,94	5,45	5,88		0,744
		Standardni odklon	4,75	4,99	5,10	5,07		
	Pokritost	Število profilov	63	32	22	17	134	
		Povp. pokritost kolesnic (%)	31,90	24,84	28,41	29,12		0,793
		Standardni odklon	33,85	32,98	34,17	36,71		

V naši raziskavi smo tudi primerjali, kdaj se oz. na kolikšni razdalji vzorčenja poškodb tal se pokažejo statistično značilne razlike. Kot primer si pogledjmo širino sečnih poti za sečnjo lesa s strojem za sečnjo. Na primeru lahko opazimo, da še vedno ni statistično značilnih razlik, ko pobiramo podatke na 105 m – značilnost je 0,069; statistično značilne razlike se nam začno kazati šele, ko začnemo vzorčiti na 110 m (značilnost je 0,000). Tudi v ostalih primerih smo dobili podobne rezultate; v vseh primerih pa pride do statistično značilnih razlik, ko vzorčimo na sto metrov in več.

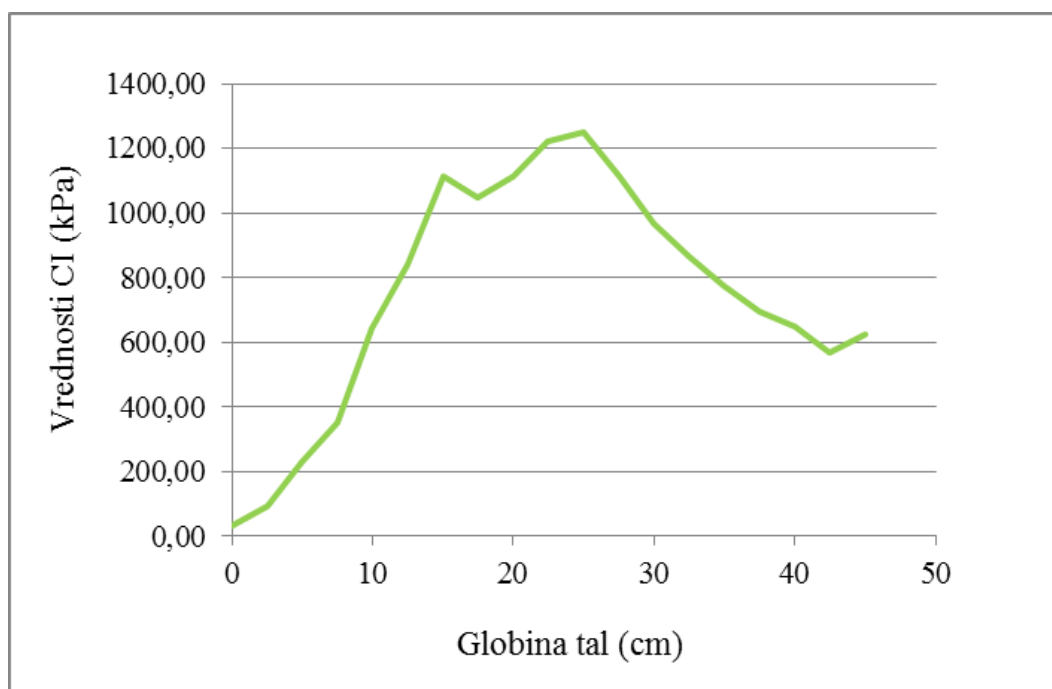
Preglednica 17: Statistična značilnost glede na razdaljo vzorčenja (primer širine sečnih poti)

Širina sečnih poti	
HV	
Razdalja vzorčenja (m)	Značilnost
10	0,717
15	0,667
20	0,555
25	0,696
30	0,692
35	0,520
40	0,335
45	0,349
50	0,438
55	0,151
60	0,073
65	0,059
70	0,052
75	0,057
80	0,057
85	0,063
90	0,055
95	0,053
100	0,074
105	0,069
110	0,000

6.2 SEČNJA DOLGEGA LESA – DEBELNA OZ. POLDEBELNA METODA

6.2.1 Konusni indeks

Konusni indeks smo merili tudi na objektu 2, kjer je potekala sečnja dolgega lesa. Tudi tu smo CI merili s konusnim penetrometrom. Slika 41 nam prikazuje, da CI sprva z globino tal narašča. Povprečna vrednost CI je 746,80 kPa. Maksimalni CI pa je 1249,11 kPa; doseže ga na globini 25 cm. Nato vrednost CI, ravno tako kot v primeru sečnje kratkega lesa, začne padati z naraščanjem globine tal.



Slika 41: Povprečne vrednosti konusnega indeksa (CI) gleda na globino tal

Tudi tu smo v nadaljnjih analizah izračunali povprečno vrednost CI iz globin 10 in 20 cm. Zopet smo uporabili enačbo:

$$CI = (CI_{10} * CI_{20})/2 \quad \dots(4)$$

Kjer je:

CI Konusni indeks (kPa)

CI₁₀ Konusni indeks v globini 10 cm (kPa)

CI₂₀ Konusni indeks v globini 20 cm (kPa)

Preglednica 18: Vrednost CI v kPa na globini 10 in 20 cm

N	Aritmetična sredina	Mediana	Standardni odklon
47	878,39	754,50	334,19

Povprečna vrednost CI v globini 10 in 20 cm je bila 878,39 kPa.

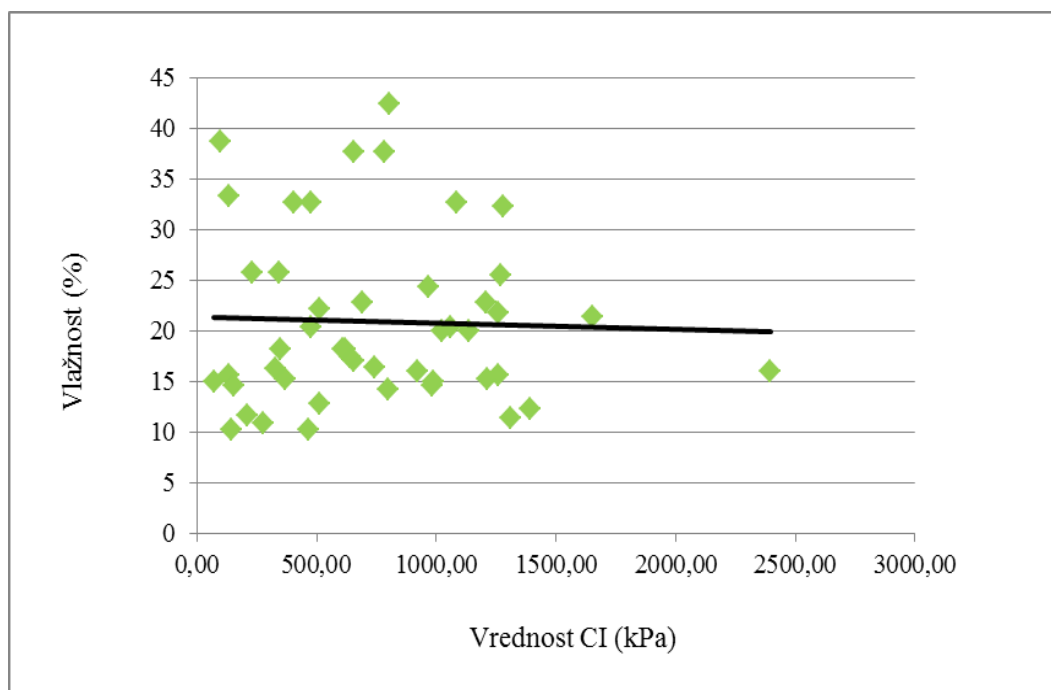
6.2.2 Vlažnost tal

Vlažnost tal na objektu 2, ravno tako kot na objektu 1, z naraščanjem vrednosti CI pada.

Povprečna vlažnost tal je bila 20,83 %.

Preglednica 19: Vlažnost tal v %

N	Aritmetična sredina	Mediana	Standardni odklon
47	20,83	18,10	8,39



Slika 42: Vlažnost tal glede na vrednosti konusnega indeksa (CI)

Preglednica 20: Povprečne vrednosti CI glede na razred vlažnosti tal

Vlažnost (%)	Št. profilov	Povprečni CI (kPa)
10-14,9	12	609,15
15-19,9	15	826,16
20-24,9	8	978,82
25-29,9	3	615,05
30-34,9	5	675,59
35-39,9	3	512,84
40-44,9	1	805,16

Tudi v tem primeru smo razdelili podatke v razrede po vlažnosti tal: 10-14,9 %, 15-19,9 %, 20-24,9 %, 25-29,9 %, 30-34,9 %, 35-39,9 % in 40-44,9 %. Opazimo lahko, da vrednost CI pada z naraščanjem vlažnosti tal. Najmanjša vlažnost tal je bila 10,20 %, najvišja pa 42,40 %.

6.2.3 Širina sečnih poti in svetlih profilov

Za računanje širine sečnih poti in svetlih profilov smo uporabili isti postopek kot pri sečnji kratkega lesa. Izračunali smo jih za vsak profil posebej.

Preglednica 21: Širine sečnih poti in svetlih profilov

Faza dela		N	Aritmetična sredina (cm)	Mediana (cm)	Standardni odklon
Spravilo	Širina sečne poti	48	336,50	320,00	73,08
	Širina svetlega profila	48	480,42	480,00	89,11

Preglednica 21 nam prikazuje podatke o vrednostih širine sečnih poti in svetlih profilov za spravilo. Povprečna širina sečne poti je bila 336,50 cm, povprečna širina svetlega profila pa 480,42 cm.

Preglednica 22: Koeficient širine sečne poti glede na širino stroja

Faza dela	Povprečje
Spravilo	1,12

Razmerje med širino sečne poti in širino stroja definiramo s koeficientom širine sečne poti. Povprečni koeficient sečne poti je 1,12. To pomeni, da je povprečna sečna pot za 12 % širša od stroja.

Preglednica 23: Delež motene površine na objektu po spravilu

Faza dela	Dolžina (m)	Širina (m)	Površina poti (m ²)	Površina poti (%)	Gostota poti (m/ha)
Spravilo	225	3,37	757,13	0,04	56,53

Po končanem spravilu je bilo na objektu s površino 2,05 ha, 4 % motene površine. To je 757,13 m², oz. 0,0757 ha. Gostota sečnih poti na objektu je znašala 56,53 m/ha.

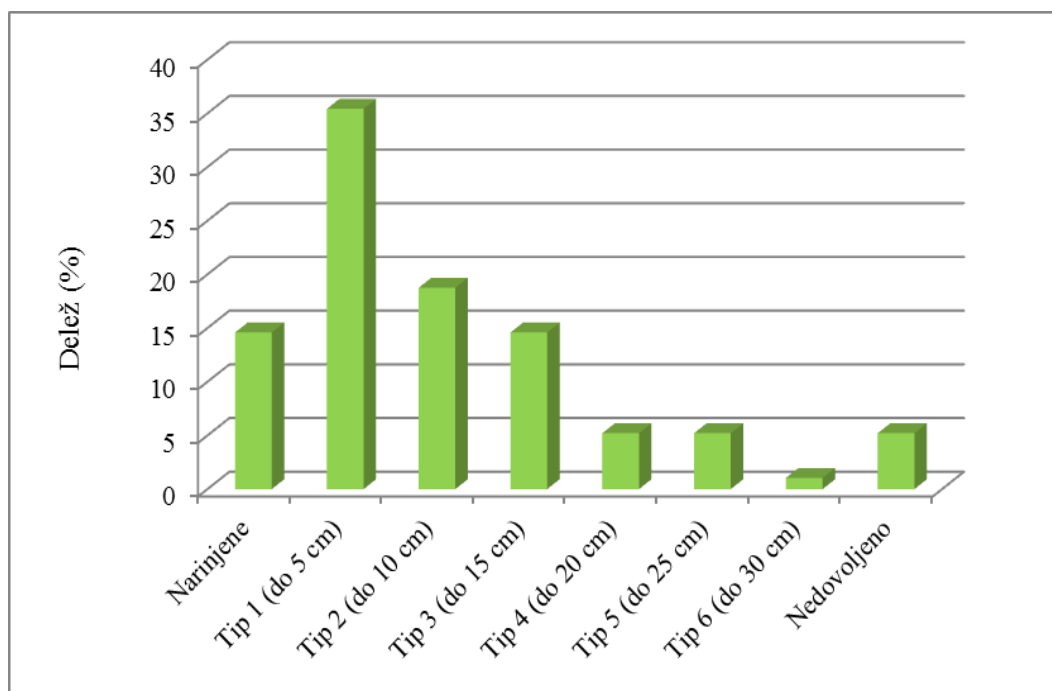
6.2.4 Globina kolesnic

6.2.4.1 Risanje prečnih profilov

Prečne profile na objektu 2, kjer je potekala sečnja dolgega lesa, smo risali na enak način, kot pri sečnji kratkega lesa – iz podatkov o horizontalnih in vertikalnih razdaljah karakterističnih točk. Narisali smo lahko vsak profil posebej.

6.2.4.2 Računanje globine kolesnic

Na isti način smo računali globino kolesnic tudi v primeru sečnje dolgega lesa. Tudi tu smo globino kolesnic računali za vsak profil posebej.



Slika 43: Globine kolesnic (delež) glede na fazo dela

Na zgornji sliki vidimo, da se pri spravilu lesa s sedlastim traktorjem kolesnice pojavijo v vseh tipih. Večji delež kolesnic se pojavi v prvih štirih tipih, največji je delež kolesnic v tipu 2 (do 5 cm) - 35,42 %. Precejšen delež kolesnic pa se pojavi tudi v zadnjih štirih tipih;

velik je delež kolesnic v tipu Nedovoljene, in sicer 5,21 %. Kolesnice, ki so nedovoljene, smo zabeležili v petih primerih – globine le-teh so bile 60,20 cm, 47,46 cm, 60,39 cm, 42,83 cm ter 46,53 cm.



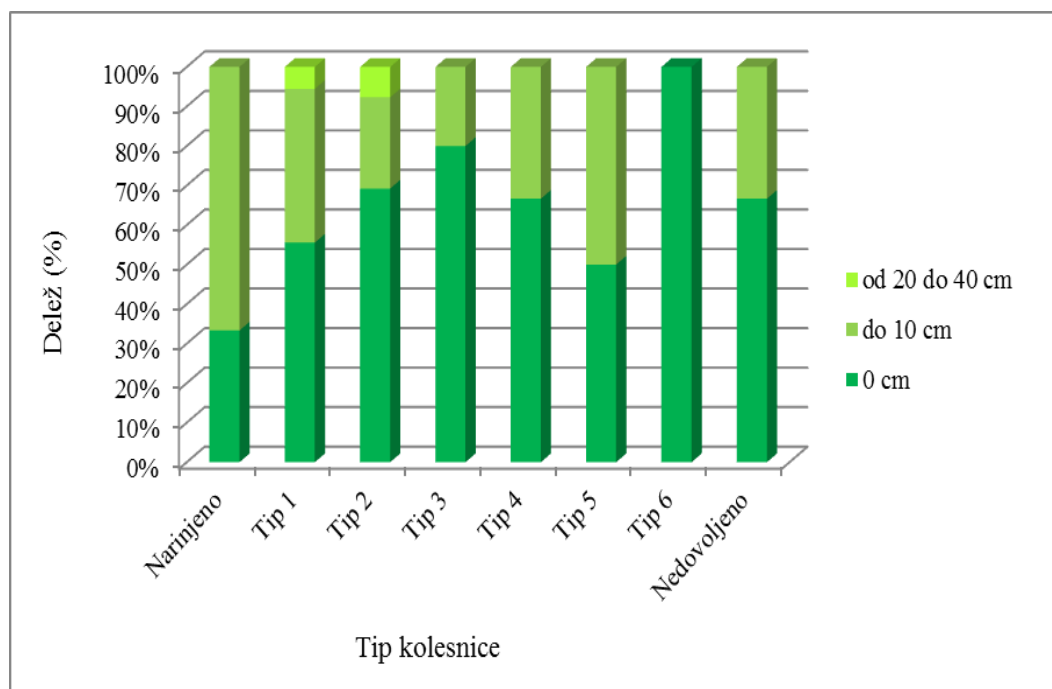
Slika 44 : Kolesnice po spravilu lesa s sedlastim traktorjem

Preglednica 24: Narasle in stisnjene kolesnice po sečnji

Faza dela	N	Aritmetična sredina (cm)	Mediana (cm)	Standardni odklon (cm)
Narasle				
Spravilo	14	-3,17	-2,09	3,62
Stisnjene				
Spravilo	82	10,48	6,22	12,45

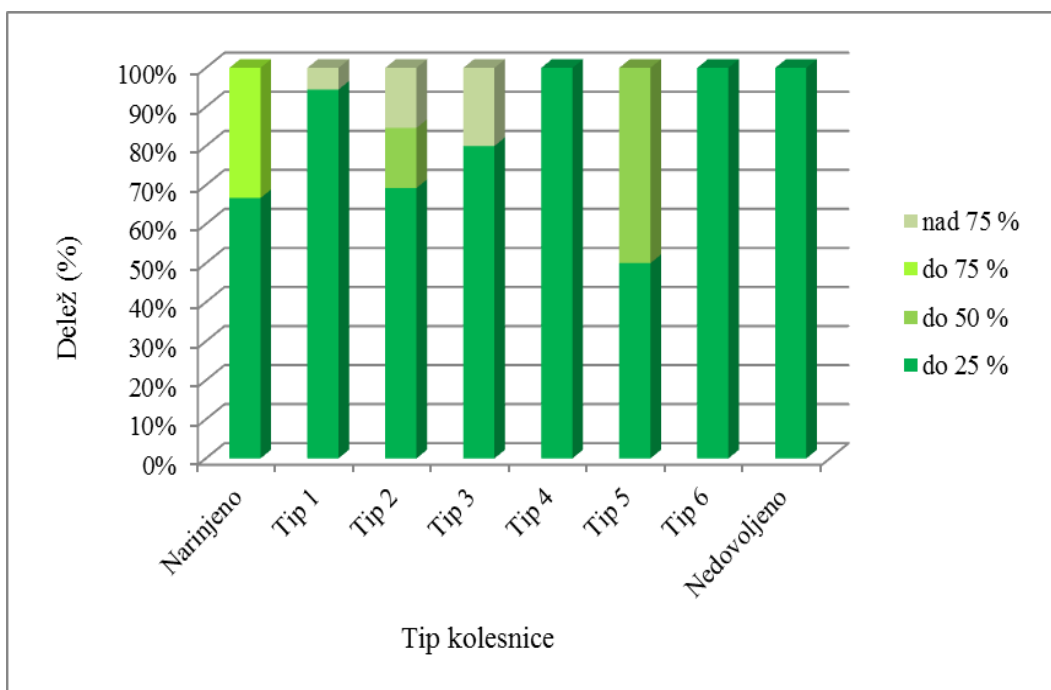
6.2.4.3 Vpliv sečnih ostankov na globino kolesnic

Na objektu 2, kjer se je izvajala sečnja dolgega lesa, smo tudi merili debelino in pokritost s sečnimi ostanki na vsakem profilu posebej. Debeline sečnih ostankov smo zopet razdelili v razrede. Na sliki so predstavljeni deleži debeline sečnih ostankov na kolesnicah glede na tip kolesnic. Ugotovimo lahko, da so narasle kolesnice nastale tam, kjer so bile debeline sečnih ostankov največje. Opazimo lahko tudi, da se debelina sečnih ostankov glede na tip kolesnice zmanjšuje. V tip 6 (globina kolesnic od 25 do vključno 30 cm) sečnih ostankov ni, v tipu Nedovoljeno pa je delež le-teh zelo nizek.



Slika 45: Debelina sečnih ostankov (delež) na kolesnicah glede na tip kolesnice

V nadaljevanju smo si pogledali pokritost s sečnimi ostanki po spravilu glede na tip kolesnice. Opazimo lahko, da je bila pokritost s sečnimi ostanki zelo majhna, v tip 6 in Nedovoljeno skorajda ni bilo sečnih ostankov, ali pa je bil delež le-teh zelo majhen (do 25 %). Narinjene kolesnice so nastale tam, kjer je bila pokritost s sečnimi ostanki največja. Zaključimo lahko, da globina kolesnic narašča z manjšanjem deleža pokritosti kolesnic s sečnimi ostanki.



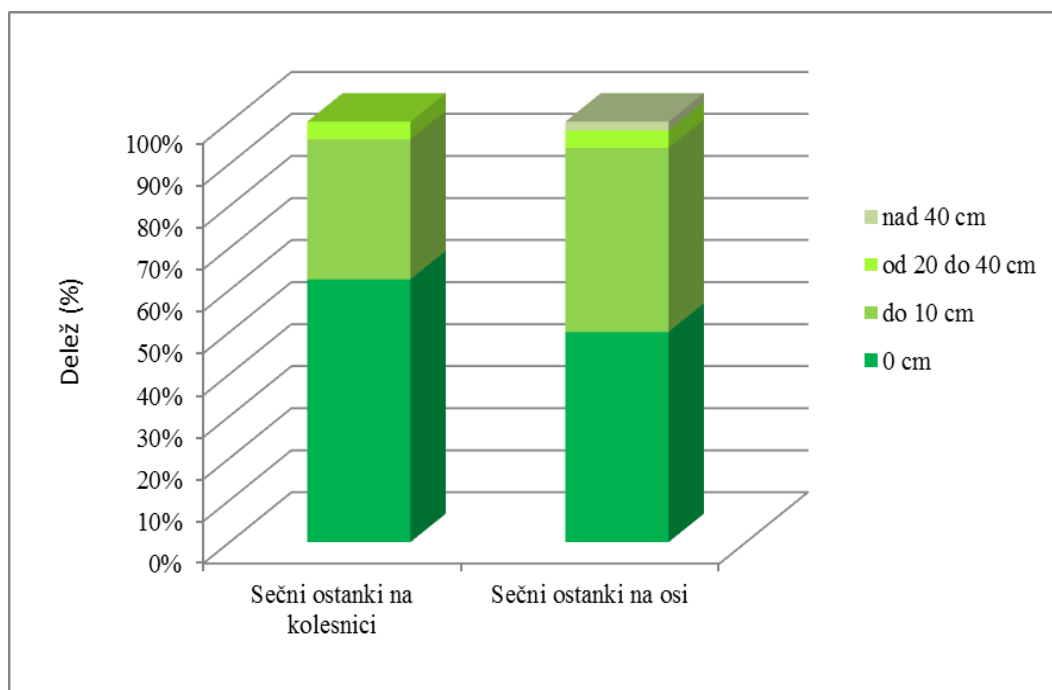
Slika 46: Pokritost s sečnimi ostanki (delež) na kolesnicah glede na tip kolesnice

Preglednica 25: Analiza povezav s Spearmanovim koeficientom korelacije med globino kolesnic ter debelino in globino kolesnic ter pokritostjo s sečnimi ostanki

Sečni ostanki	N	Koeficient korelacije	Značilnost	Raven povezanosti
Globina kolesnic po spravilu				
Debelina po spravilu	48	-0,282	0,026	0,05
Pokritost po spravilu	48	0,018	0,451	/

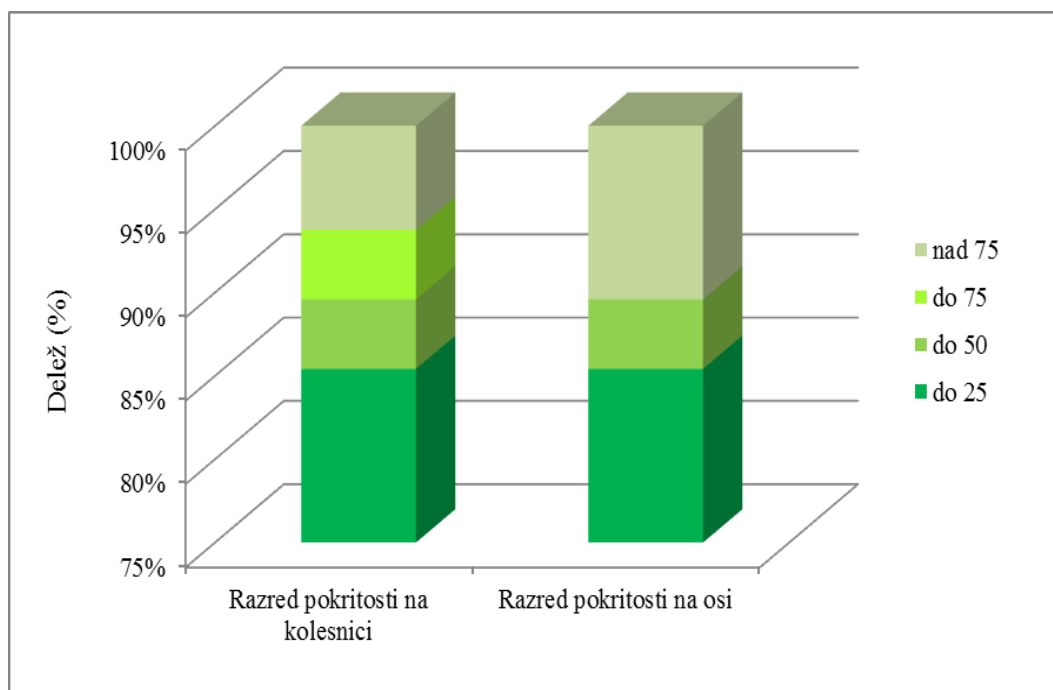
Test s Spearmanovim koeficientom korelacije je pokazal značilno povezavo med globino kolesnic po spravilu in debelino sečnih ostankov po spravilu in sicer na nivoju 5 %.

Spodnja slika (slika 47) nam prikazuje delež debeline sečnih ostankov po spravilu glede na mesto na sečni poti.



Slika 47: Debelina sečnih ostankov (delež) po spravilu glede na mesto na sečni poti

Količina sečnih ostankov se spreminja z večanjem števila prehodov stoja. Bistvenega pomena so za nas sečni ostanki na kolesnici, saj se tam dogajajo največje spremembe. Delež sečnih ostankov po končanem spravilu je bil 37,50 % na kolesnici, ter 50,00 % na osi sečne poti.



Slika 48: Pokritost s sečnimi ostanki (delež) po spravilu glede na mesto na sečni poti

Slika prikazuje delež pokritosti s sečnimi ostanki po spravilu glede na mesto na sečni poti. Delež pokritosti s sečnimi ostanki je zelo nizek, tako na kolesnicah kot tudi na osi sečnih poti, vendar je pokritost s sečnimi osatnki še vedno višja na osi sečne poti.

Tudi v primeru sečnje dolgega lesa smo si pogledali, kako določeni kazalniki oz. neodvisne spremenljivke, kot je CI, vlažnosti tal, debelina in pokritosti s sečnimi ostanki vplivajo na odvisno spremenljivko globino kolesnic. To smo tudi v tem primeru ugotavljali z linearno multiplo regresijo (metoda Stepwise) v programu SPSS. Postavili smo domnevo, da je globina kolesnic statistično značilno odvisna od CI, vlažnosti tal, debeline in pokritosti s sečnimi ostanki. Tudi v tem primeru je R dokaj nizek, zato lahko sklepamo, da našete neodvisne spremenljivke ne napovedujejo dobro globine kolesnic. Ugotovili smo, da v primeru sečnje dolgega lesa obstaja statistično značilna povezanost med globino kolesnic in vlažnostjo tal (pri tveganju 5 %). Ni pa nam uspelo dokazati statistično značilnih odvisnosti globine kolesnic od CI, debeline in pokritosti sečnih poti s sečnimi ostanki.

Preglednica 26: Vpliv neodvisnih spremenljivk na odvisno spremenljivko (globino kolesnic)

Stroj	R	Kazalnik	Značilnost
Sedlasti traktor	0,388	CI	0,287
		Vlažnost	0,012
		Debelina	0,258
		Pokritost	0,154

6.2.5 Primerjava vzorčenja podatkov na različnih razdaljah

Ravno tako, kot pri sečnji kratkega lesa, smo tudi pri sečnji dolgega lesa primerjali, ali prihaja do razlik, če vzorčimo podatke na različnih razdaljah na profilih. Pri sečnji dolgega lesa smo podatke vzorčili na eni sečni poti, ki je imela še dva kraka. Sečno pot smo označili s številko 1, kraka pa 1a in 1b. Tu smo po celotni sečni poti vzorčili podatke na 5 m. Ravno tako, kot v primeru sečnje kratkega lesa, smo tudi tu najprej uporabili podatke za vsakih 5 m, nato pa še za vsakih 10, 15 in 20 m. Tudi tu smo z ANOVO preverjali, če prihaja do razlik med širinami sečnih poti, globino kolesnic ter debelino in pokritostjo sečnih poti s sečnimi ostanki. Ko smo vzorčili podatke na 5 m, je bilo število profilov, kjer smo vzorčili podatke 48, na 10 m je bilo 24 profilov, na 15 m 17 profilov in na 20 m 14 profilov.

6.2.5.1 Širina sečnih poti

Najprej smo z ugotavljali, ali pride do statistično značilnih razlik med širinami sečnih poti. Z ANOVO smo ugotovili, da ni statistično značilnih razlik med širinami sečnih poti, če vzorčimo podatke na vsakih 5, 10, 15 ali 20 m.

Preglednica 27: Preverjanje razlik v širini sečnih poti z ANOVO

Stroj		Na 5 m	Na 10 m	Na 15 m	Na 20 m	Skupaj	Značilnost
Sedlasti traktor	Število profilov	48	24	17	14	103	
	Povp. širina poti (cm)	336,50	356,50	338,12	334,07		0,768
	Standardni odklon	73,08	92,23	77,15	93,52		

6.2.5.2 Globina kolesnic

Na isti način smo nato preverili tudi, ali prihaja do razlik med globinami kolesnic, če vzorčimo podatke na vsakih 5, 10, 15 in 20 m. Ugotovili smo, da ni statistično značilnih razlik med globinami kolesnic.

Preglednica 28: Preverjanje razlik v globini kolesnic z ANOVO

Stroj		Na 5 m	Na 10 m	Na 15 m	Na 20 m	Skupaj	Značilnost
Sedlasti traktor	Število profilov	48	24	17	14	103	
	Povp. globina kolesnic (cm)	3,57	3,38	3,23	2,48		0,743
	Standardni odklon	3,67	2,69	4,63	1,78		

6.2.5.3 Debelina in pokritost sečnih poti s sečnimi ostanki

Podoben trend smo ugotovili tudi, ko smo ugotavljali kakšna je debelina in pokritost s sečnimi ostanki na vsakih 5, 10, 15 in 20 m. Iz preglednice je razvidno, da ni statistično značilnih razlik v debelini in pokritosti s sečnimi ostanki, če vzorčimo podatke na vsakih 5, 10, 15 ali 20 m.

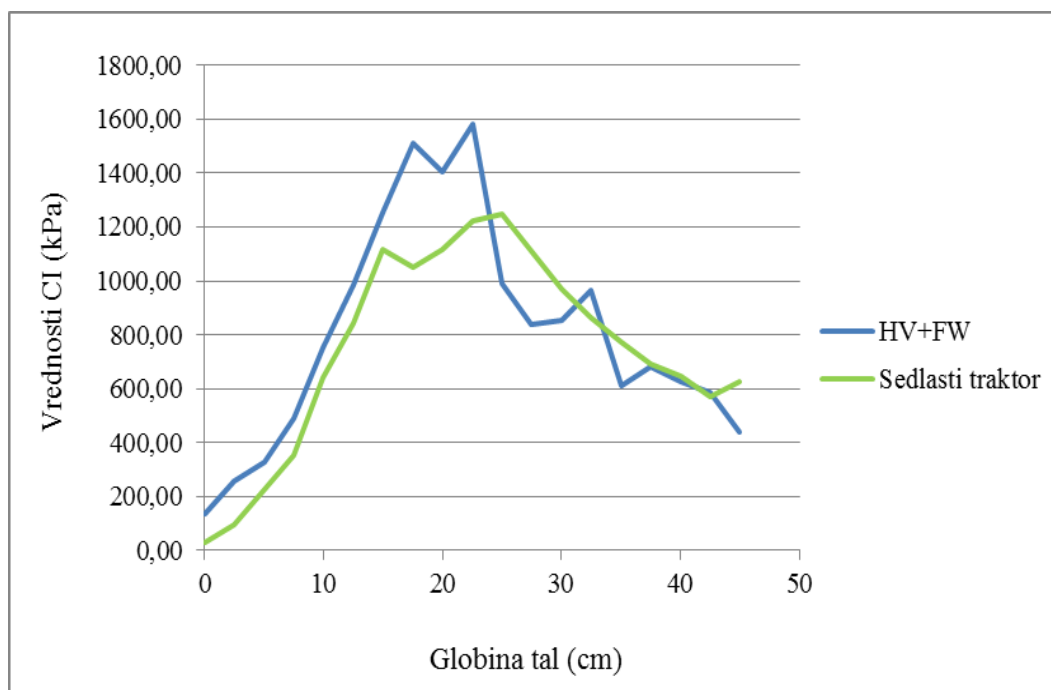
Preglednica 29: Preverjanje razlik v debelini in pokritosti sečnih poti s sečnimi ostanki z ANOVO

Stroj			Na 5 m	Na 10 m	Na 15 m	Na 20 m	Skupaj	Značilnost
Sedlasti traktor	Debelina	Število profilov	48	24	17	14	103	
		Povp. debelina pokritosti (cm)	4,58	5,42	5,29	5,00		0,993
		Standardni odklon	7,13	8,84	10,07	8,55		
	Pokritost	Število profilov	48	24	17	14	103	
		Povp. pokritost kolesnic (%)	12,60	14,58	13,82	11,79		0,958
		Standardni odklon	28,77	31,72	30,54	28,60		

6.3 PRIMERJAVA SEČNJE KRATKEGA LESA S SEČNJO DOLGEGA LESA

6.3.1 Konusni indeks

V naši razisakavi smo naredili tudi primerjavo med sečnjo kratkega lesa – sortimentno metodo in sečnjo dolgega lesa – poldebelno metodo. Primerjali smo CI po sečnji in spravilu z strojem za sečnjo in zgibnim polprikoličarjem ter CI po spravilu s sedlastim traktorjem (slika 49).



Slika 49: Primerjava vrednosti konusnega indeksa (CI) glede na globino tal

V obeh primerih lahko opazimo, da se vrednost CI z globino tal povečuje. Največji je CI na globini 20 – 30 cm, nato začne padati. Pri sečnji s strojem za sečnjo in spravilo z zgibnim polprikoličarjem so vrednosti CI višje, kot pri spravilu s sedlastim traktorjem.

Primerjali smo izračunane vrednosti CI na globini 10 in 20 cm. Opazimo lahko, da so vrednosti višje pri metodi kratkega lesa. To pomeni, da so bila tla pri metodi kratkega lesa bolj obremenjena, kot pri metodi dolgega lesa.

Preglednica 30: Vrednosti CI v kPa po metodah

Metoda	N	Aritmetična sredina	Mediana	Standardni odklon
HV+FW	26	1078,35	1035,25	457,99
Sedlasti traktor	47	878,39	754,50	334,19

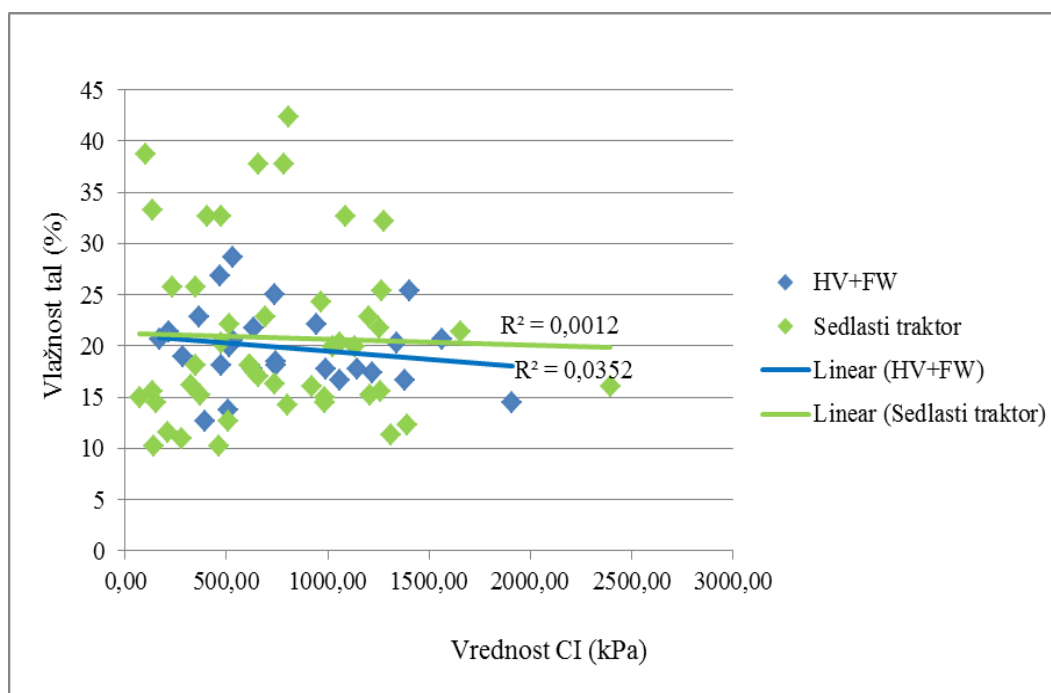
Da smo preverili ali obstajajo razlike med objektoma v CI smo uporabili neparametrični Mann-Whitney U test. S testom smo dokazali, da ni statistično značilnih razlik v CI med objektoma.

Preglednica 31: Primerjava CI med objektoma z Mann-Whitney U testom

	N	Z	Značilnost
objekt 1 : objekt 2	38	-0,073	0,942

6.3.2 Vlažnost tal

V nadaljevanju smo med seboj primerjali tudi vlažnost tal (slika 50). V obeh primerih vlažnost tal z naraščanjem CI pada. Iz slike je razvidno, da je vlažnost na objektu 1 (sečnja kratkega lesa) nižja kot na objektu 2.



Slika 50: Primerjava vlažnosti tal glede na vrednosti konusnega indeksa (CI)

Preglednica 32: Vlažnost v % po metodah

Metoda	N	Aritmetična sredina	Mediana	Standardni odklon
HV+FW	26	19,79	19,40	3,83
Sedlasti traktor	47	20,83	18,10	8,39

Povprečna vlažnost tal je višja pri metodi sečnje dolgega lesa in sicer za 1,04 %. Razlog je večje število merjenih podatkov ter višje vrednosti vlažnosti. V primeru sečnje dolgega lesa je bil razpon vlažnosti večji – minimalna vlažnost je bila 10,20 %, maksimalna pa 42,40 %, medtem ko je bila pri sečnji kratkega lesa minimalna vlažnost tal 12,70 %, maksimalna pa 28,60 %.

Z neparametričnim Mann-Whitney U testom smo v programu SPSS primerjali vlažnost tal med objektom 1 in objektom 2. Ugotovili smo, da ni statistično značilnih razlik med objektoma v vlažnosti tal.

Preglednica 33: Primerjava vlažnosti med objektoma z Mann-Whitney U testom

	N	Z	Značilnost
objekt 1 : objekt 2	73	-0,553	0,580

6.3.2 Širina sečnih poti in svetlih profilov

Primerjali smo širino sečnih poti in širino svetlih profilov po metodah.

Preglednica 34: Širina sečnih poti in svetlih profilov

Faza dela		n	Aritmetična sredina (cm)	Mediana (cm)	Standardni odklon (cm)
HV	Širina sečne poti	85	298,65	295	27,46
	Širina svetlega profila	85	471,53	460	60,5
FW	Širina sečne poti	85	319,98	303	55,87
	Širina svetlega profila	85	490,00	470	91,92
Sedlasti traktor	Širina sečne poti	48	336,50	320	73,08
	Širina svetlega profila	48	480,42	480	89,11

Zgornja preglednica nam prikazuje širine sečnih poti in širine svetlih profilov za sečnjo s strojem za sečnjo, za spravilo z zgibnim polprikoličarjem in za spravilo s sedlastim traktorjem. Največje vrednosti se pojavijo v primeru spravila s sedlastim traktorjem – širina sečne poti je 336,50 cm; primeru spravila z zgibnim polprikoličarjem je širina sečnih

poti 319,98 cm, najmanjše pa so vrednosti v primeru sečnje s strojem za sečnjo (298,65 cm).

Preglednica 35: Koefficient širine sečne poti glede na širino stroja

Faza dela	Povprečje
Sečnja HV	1,00
Spravilo FW	1,07
Spravilo s sedlastim traktorjem	1,12

Koefficient širine sečne poti je najvišji pri spravilu s sedlastim traktorjem, in sicer 1,12. To pomeni, da je bila sečna pot 12 % širša od stroja.

Preglednica 36: Delež motene površine po fazah dela

Faza dela	Dolžina (m)	Širina (m)	Površina poti (m ²)	Površina poti (%)	Gostota poti
Sečnja HV	505	2,99	1508,17	0,06	126,88
Spravilo FW	505	3,20	1615,88	0,07	126,88
Spravilo s sedlastim traktorjem	225	3,37	757,13	0,04	56,53

Opazimo, da je bila povprečna širina sečne poti največja pri spravilu lesa s sedlastim traktorjem. Bila je kar 38 cm širša od povprečne sečne poti pri sečnji s sečnim strojem in 17 cm širša od povprečne sečne poti pri spravilu z zgibnim polprikoličarjem. Največji delež motene površine se pojavi pri spravilu z zgibnim polprikoličarjem, saj je tudi površina motenih poti največja.

Razlike v širini sečnih poti med objektoma smo preverili tudi z neparametričnim Mann-Whitney U testom. Med seboj smo preverjali sečnjo na objektu 1 in spravilo na objektu 2 ter spravilo na objektu 1 in spravilo na objektu 2. Ugotovili smo, da obstajajo statistično značilne razlike med objektoma v širini sečnih poti. Večje razlike se pojavijo pri primerjavi sečnja HV in spravilo s sedlastim traktorjem, nekoliko manjše pa so razlike pri primerjavi spravilo FW in spravilo s sedlastim traktorjem (na nivoju 5 %).

Preglednica 37: Primerjava širine sečnih poti med objektoma z Mann-Whitney U testom

Faza dela	N	Z	Značilnost
Sečnja HV : Spravilo s sedlastim traktorjem	133	-4,000	0,000
Spravilo FW : Spravilo s sedlastim traktorjem	133	-2,008	0,045

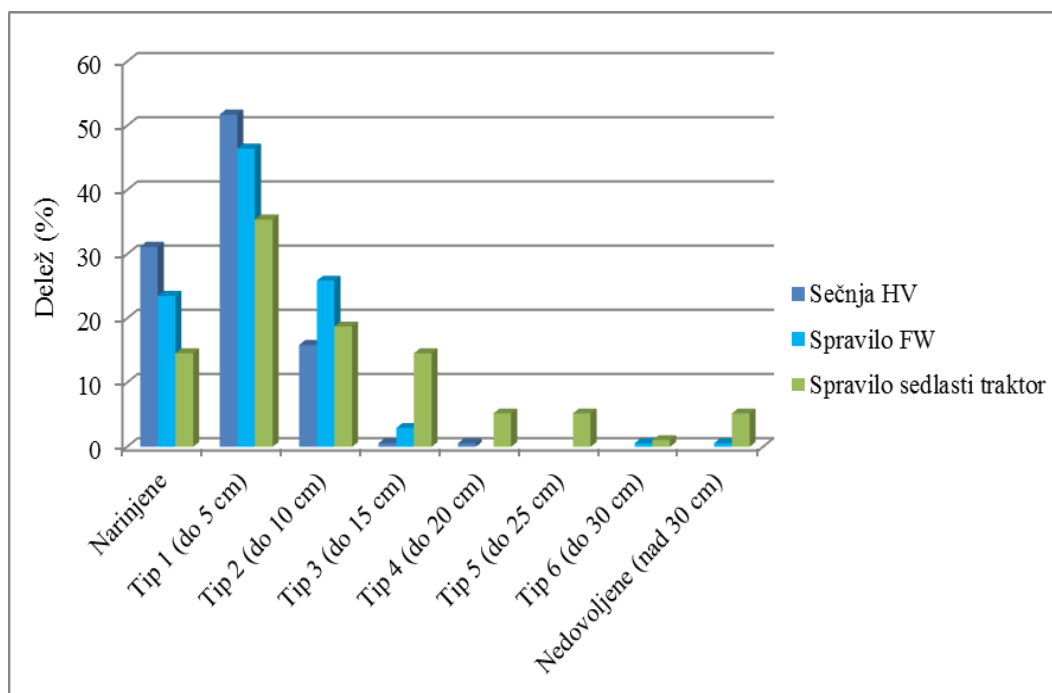
6.3.4 Globina kolesnic

V nadaljevanju smo primerjali globino kolesnic, ki so nastale pri sečnji kratkega lesa ter globino kolesnic, ki so nastale pri sečnji dolgega lesa.

Preglednica 38: Primerjava naraslih in stisnjenih kolesnic med fazami dela

Faza dela	N	Aritmetična sredina (cm)	Mediana (cm)	Standardni odklon
Narasle				
Sečnja HV	53	-3,14	-2,26	3,13
Spravilo FW	40	-2,59	-2,28	2,59
Spravilo s sedlastim traktorjem	14	-3,17	-2,09	3,62
Stisnjene				
Sečnja HV	117	3,69	3,00	2,81
Spravilo FW	130	4,91	3,97	4,69
Spravilo s sedlastim traktorjem	82	10,48	6,22	12,45

Najgloblje kolesnice so nastale pri spravilu s sedlastim traktorjem, povprečna kolesnica je merila kar 10,48 cm, kar je 5,57 cm več kot pri spravilu z zgibnim polprikoličarjem in 6,79 cm več kot pri sečnji s strojem za sečnjo. Isti trend je opazen pri naraslih kolesnicah, vendar so razlike manjše



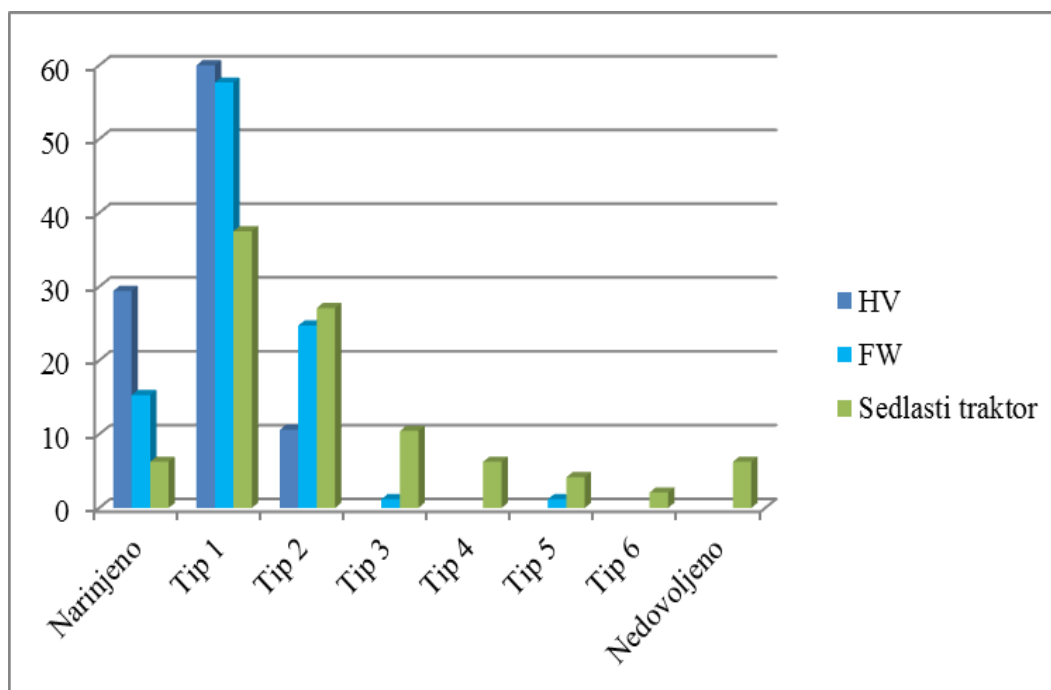
Slika 51: Primerjava globine kolesnic med fazami dela

Slika kaže, da je največji delež kolesnic v prvih treh tipih pri vseh treh oblikah dela. Opazimo lahko, da je najbolj kritično spravilo lesa s sedlastim traktorjem, saj je kar precejšen delež kolesnic v tipu Nedovoljeno. V tipu Nedovoljene se pojavi tudi spravilo lesa z zgibnim polprikolničarjem, venadar je ta delež precej manjši kot pri spravilu s sedlastim traktorjem.

Razlike v globini kolesnic med objektom 1 in objektom 2 smo primerjali tudi z neparametričnim testom Mann-Whitney (U test). Test nam je pokazal in potrdil domneve, da obstajajo statistično značilne razlike med objektoma v globini kolesnic.

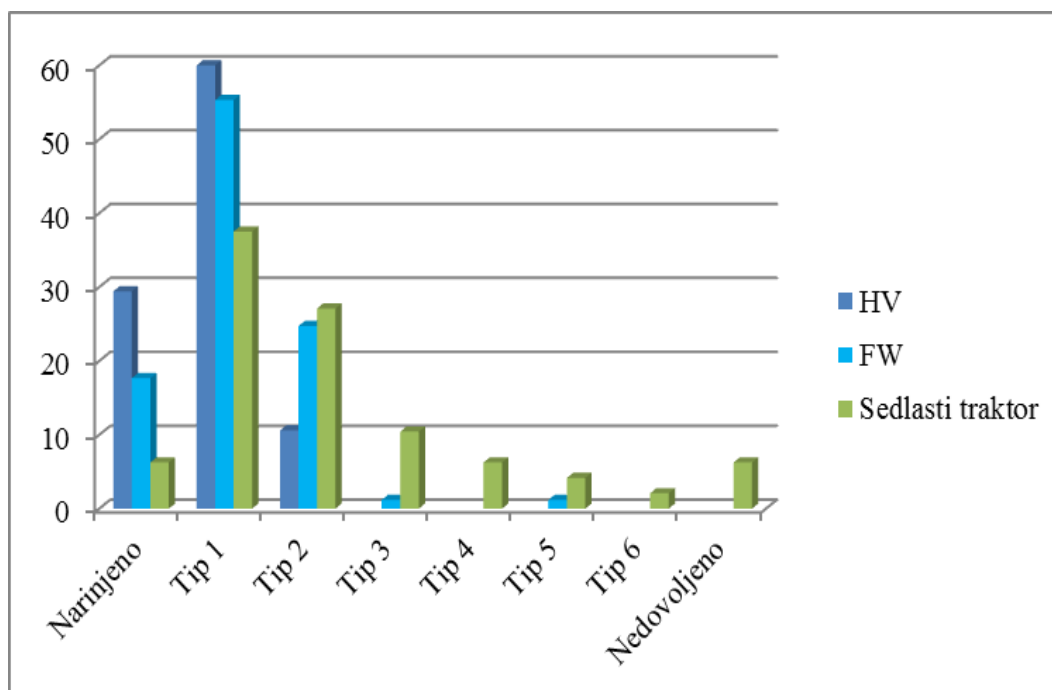
6.3.4.1 Vpliv sečnih ostankov na globino kolesnic

V nadaljevanju smo si pogledali tudi kakšna je debelina sečnih ostankov glede na tip kolesnice glede na fazo dela. Med seboj smo primerjali vse tri oblike dela.



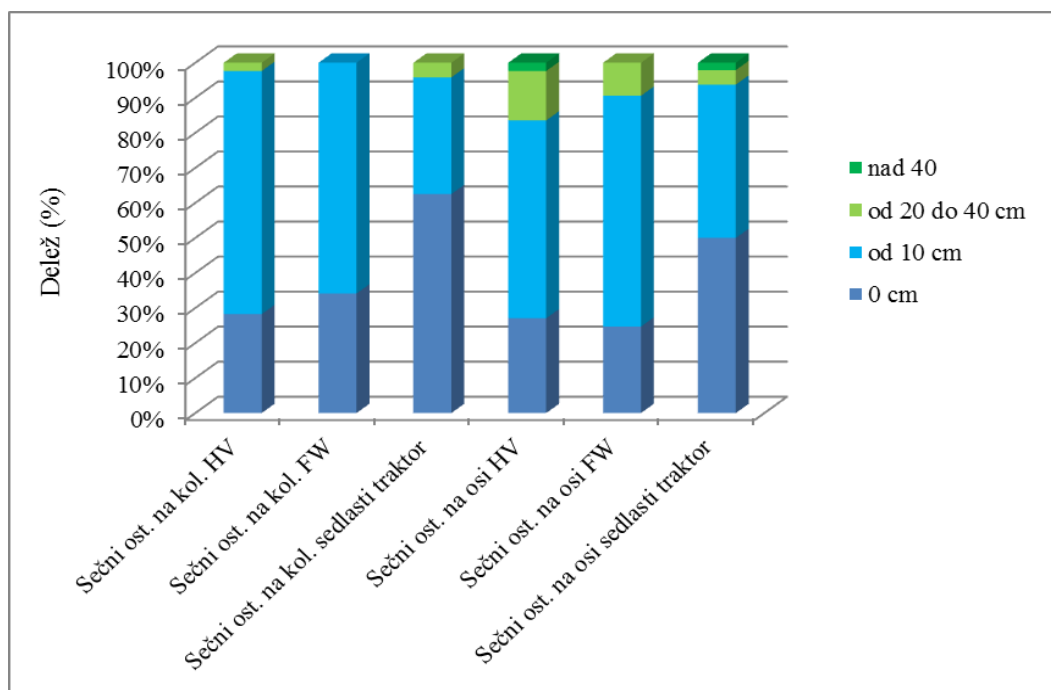
Slika 52: Primerjava debeline sečnih ostankov med fazami dela glede na tip kolesnic

Najvišji delež debeline sečnih ostankov je v prvih treh tipih. V tipu kolesnic Narinjeno je debelina sečnih ostankov najvišja v primeru stroja za sečnjo, sledi zgibni polprikoličar in nato sedlasti traktor. Podoben trend se kaže tudi v tip 1. V nadaljevanju se v tipu 3 do tipa Nedovoljeno pojavijo kolesnice le s strani zgibnega polprikoličarja in sedlastega traktorja. Pokritost s sečnimi ostanki je tu zelo nizka.



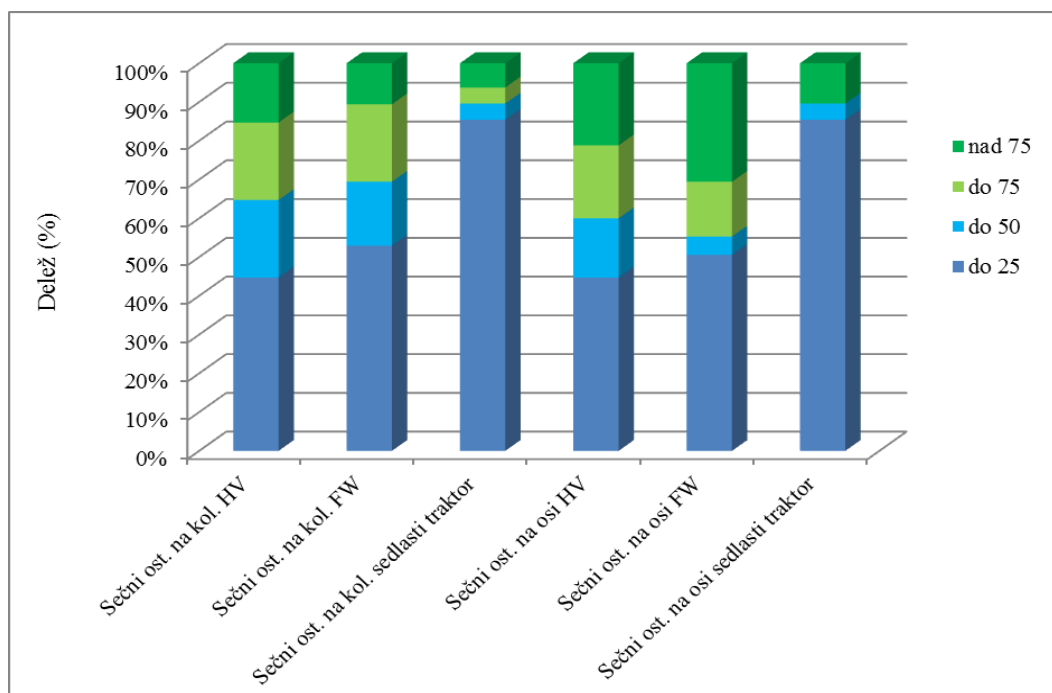
Slika 53: Primerjava pokritosti s sečnimi ostanki med fazami dela glede na tip kolesnice

Isti trend se ponovi v primeru pokritosti s sečnimi ostanki. Največji delež pokritosti s sečnimi ostanki, se zopet pojavi v prvih treh tipih kolesnic. Tam, kjer so kolesnice najgloblje (tudi nedovoljene – primer sedlasti traktor), pa je pokritost s sečnimi ostanki zelo majhna.



Slika 54: Primerjava debeline sečnih ostankov med fazami dela glede na mesto na kolesnici

Najbolj nas zanima kaj se dogaja s sečnimi ostanki na kolesnicah, saj tam prihaja do največjih sprememb oz. največjih poškodb tal. Iz zgornje slike (slika 54) je razvidno, da je delež debeline sečnih ostankov na kolesnici največji v primeru stroja za sečnjo, najmanjši pa je v primeru spravila s sedlastim traktorjem. Delež debeline sečnih ostankov je na osi sečne poti pričakovano višji, kot na kolesnicah.



Slika 55: Primerjava pokritosti s sečnimi ostanki med fazami dela glede na mesto na kolesnici

Isto smo si pogledali še za pokritost sečnih poti s sečnimi ostanki. Trend je podoben, kot v primeru debeline sečnih ostankov. Pri spravilu s sedlastim traktorjem je pokritost s sečnimi ostanki zelo majhna, večja je v primerih spravila z zgibnim polprikoličarjem in pri sečnji s strojem za sečnjo.

7 RAZPRAVA

Da bi razumeli, kako se odzivajo gozdna tla pri uporabi novejših strojev za sečnjo in spravilo, je bilo opravljenih že veliko raziskav, tako v Sloveniji, kot v tujini. Metoda, s katero smo prišli do potrebnih rezultatov je bila v podobnih raziskavah že večkrat uporabljena. Je zanesljiva metoda za ugotavljanje poškodb gozdnih tal. Omogoča hitro in natančno pobiranje podatkov, ki jih potrebujemo za raziskavo. Podatke, ki jih beležimo v dlančnik, lahko pobirata le dva, merilec in popisovalec.

V dosedanjih raziskavah pri nas, kjer je bila uporabljena omenjena metoda, so raziskave potekale vedno na klasični obliki strojne sečnje; torej komplet dveh strojev, to sta stroj za sečnjo (harvester) in zgibni polprikoličar (forwarder). V naši raziskavi pa smo uporabili le en stroj, in sicer kombinirani stroj za sečnjo in spravilo. S strojem smo drevje najprej posekali, nato pa smo z istim strojem les še izvozili do skladišča.

V naši raziskavi smo ugotavljali kakšna je nosilnost tal, oz. kolikšen je konusni indeks tal (CI), vlažnost tal, globino kolesnic, vpliv sečnih ostankov na globino kolesnic. Prvič do sedaj se je tudi ugotavljalo ali prihaja do sprememb, če vzorčimo podatke na profilih na različnih razdaljah – na vsakih 5, 10, 15 ali 20 m.

7.1 KONUSNI INDEKS (CI)

V raziskavi smo ugotavljali, kakšna je bila nosilna zmogljivost tal na objektih. Na terenu smo ugotavljali konusni indeks (CI), ki je indikator nosilne zmogljivosti tal (Saarilahti, 2002). Nosilnost gozdnih tal smo na obeh objektih ugotavljali s konusnim penetrometrom. Merimo jo v kPa. Na objektu 1, kjer je potekala sečnja kratkega lesa, smo ugotovili, da je konusni indeks z globino sprva naraščal, dokler ni dosegel svojega maksimuma. Največjo povprečno vrednost je CI dosegel med 20 in 25 cm globine (1581,77 kPa), nato pa je vrednost CI z globino padala. Povprečna vrednost CI na objektu je bila 804,38 kPa.

Konusni indeks smo merili tudi na objektu 2, kjer je potekala sečnja dolgega lesa. Tudi tu je CI sprva z globino tal naraščal. Povprečna vrednost CI je bila 746,80 kPa. Maksimalni CI pa je bil 1249,11 kPa, na globini 25 cm. Nato pa je vrednost CI ravno tako, kot v primeru sečnje kratkega lesa, začel padati z naraščanjem globine tal.

Ugotovili smo, da so pri sečnji s strojem za sečnjo in spravilu z zgibnim polprikoličarjem vrednosti CI višje, kot pri spravilu s sedlastim traktorjem. To pomeni, da so bila tla pri metodi kratkega lesa bolj obremenjena, kot pri metodi dolgega lesa. Z Mann-Whitney U testom smo dokazali, da ni statistično značilnih razlik v CI med objektoma.

Podobno ugotavlja tudi Južnič (2012) v svoji diplomski nalogi. Povprečna vrednost konusnega indeksa je znašala 913,78 kPa. Največji CI so izmerili na globini tal med 20 in 25 cm.

7.2 VLAŽNOST TAL

Na obeh objektih smo poleg CI merili tudi vlažnost tal. Vlažnost je eden izmed dejavnikov, ki vplivajo na nosilnost tal, ter igra pomembno vlogo pri prehodnosti terena. Vlažnost tal smo preverjali glede na vrednost CI. Na objektu 1, kjer je potekala sečnja kratkega lesa opazimo, da vrednost CI z večanjem vlažnosti pada. Povprečna vlažnost tal na objektu je bila 19,79 %. Vrednosti CI smo tudi razvrstili v razrede glede na vlažnost tal (10-14,9, 15-19,9, 20-24,9 in 25-29,9 %). Iz podatkov smo sklepali, da se z večjo vlažnostjo CI manjša.

Vlažnost tal na objektu 2, ravno tako kot na objektu 1, z naraščanjem vrednosti CI pada. Povprečna vlažnost tal je znašala 20,83 %. Tudi v tem primeru smo razdelili podatke v razrede po vlažnosti tal. Opazimo lahko, da vrednost CI pada z naraščanjem vlažnosti tal. Najmanjša vlažnost tal je bila 10,20 %, najvišja pa 42,40 %.

Primerjali smo tudi vlažnost tal med obema objektoma. V obeh primerih je vlažnost tal z naraščanjem CI padala. Vlažnost tal je bila na objektu 1 (sečnja kratkega lesa) nižja, kot na objektu 2. Povprečna vlažnost tal je bila višja pri metodi sečnje dolgega lesa in sicer za

1,04 %. V primeru sečnje dolgega lesa je bil razpon vlažnosti večji – minimalna vlažnost je bila 10,20 %, maksimalna pa 42,40 %, medtem ko je bila pri sečnji kratkega lesa minimalna vlažnost tal 12,70 %, maksimalna pa 28,60 %. Z Mann-Whitney U testom smo tudi ugotovili, da med objektom 1 in objektom 2 ni statistično značilnih razlik v vlažnosti tal.

7.3 ŠIRINA SEČNIH POTI IN SVETLIH PROFILOV

V nadaljevanju smo analizirali ali se širina sečnih poti in širina svetlih profilov po fazah dela spreminja. Kot pričakovano, je širina sečne poti pri sečnji manjša (298,65 cm) kot širina sečne poti pri spravilu (319,98 cm). Isto lahko ugotovimo pri širinah svetlih profilov - širina svetlega profila pri sečnji je manjša (471,53 cm) kot pri spravilu (490,00 cm). Širina sečnih poti po sečnji je bila za 21,33 cm manjša od sečnih poti po spravilu. Podobno smo ugotovili za širino svetlih profilov, kjer so bili svetli profili pri sečnji manjši za 18,47 cm, kot pri spravilu. Z Wilcoxon testom smo pokazali, da obstajajo statistično značilne razlike med fazama dela. To pomeni, da zgibni polprikoličar povzroči večje spremembe v širini sečnih poti. Širina sečnih poti se je potem, ko je bil faza spravila lesa opravljena, v kar 63,53 % spremenila. Ko je bilo delo na objektu 1 končano, je bilo s sečnimi potmi motene 5 % površine. Skupaj je bilo 1615,88 m² motene površine. Med sečnjo in spravilom ni bilo velikih razlik – motene površine je bilo po spravilu za 1 % več, kot po sečnji.

Podobne rezultate je v svoji diplomski nalogi dobil tudi Južnič (2012). Razlika v širini poti med spravilom in sečnjo je bila 14,5 cm. S statistično analizo so ugotovili, da razlike med širino poti po sečnji in po spravilu niso statistično značilne. Delež motene površine po spravilu je znašal 22 %. Pri sečnji je bil ta delež za 1 % nižji. Dobljene vrednosti so običajne za strojno sečnjo in ne presegajo naših pričakovanj.

Tudi Cerjak (2011) je v svoji diplomski nalogi prišel do podobnih rezultatov. Ugotavljal je, da so bile razlike v širini sečne poti med sečnjo in spravilom zanemarljive na obeh objektih, odkrili pa so statistične razlike v širini sečnih poti med objektoma. Kljub temu, da

je bil zgibni polprikoličar za 21 cm ožji od stroja za sečnjo, je na nekaterih mestih potreboval nekoliko večjo širino. Vzrok za to navaja tudi večje število prehodov stroja in slabši pregled. Na Pohorju je bila širina poti 369 cm, na Goričkem pa 417 cm. Motene površine je bilo na Pohorju 19,4 % in na Goričkem 21,9 %.

Širino sečnih poti in širino svetlih profilov smo si pogledali tudi na objektu 2, kjer je potekala sečnja dolgega lesa s sedlastim traktorjem. Povprečna širina sečne poti je znašala 3,37 m, povprečna širina svetlega profila pa 4,80 m. Povprečni koeficient sečne poti je bil 1,12. To pomeni, da je povprečna sečna pot za 12 % širša od stroja. Po končanem spravilu je bilo na objektu s površino 2,05 ha, 4 % motene površine. To je 757,13 m², oz. 0,0757 ha.

Nadalje smo primerjali širino sečnih poti in širino svetlih profilov po fazah dela. Opazili smo, da je bila povprečna širina sečne poti največja pri spravilu lesa s sedlastim traktorjem. Bila je kar 38 cm širša od povprečne sečne poti pri sečnji s sečnim strojem in 17 cm širša od povprečne sečne poti pri spravilu z zgibnim polprikoličarjem. Največji delež motene površine se pojavi pri spravilu z zgibnim polprikoličarjem, saj je tudi površina motenih poti največja. Razlike v širini sečnih poti med objektoma smo preverili tudi Mann-Whitney U testom. Med seboj smo preverjali sečnjo na objektu 1 in spravilo na objektu 2 ter spravilo na objektu 1 in spravilo na objektu 2. Ugotovili smo, da obstajajo statistično značilne razlike med objektoma v širini sečnih poti.

7.4 GLOBINA KOLESNIC

Globine kolesnic, ki smo jih izračunali na objektih smo razporedili v 8 tipov, ki so bili v razponu 5 cm. Tiste kolesnice, ki so pri obdelavi podatkov imele negativen predznak, smo razvrstili v tip Narinjeno – to so bile kolesnice, ki so bile po izvedbi del višje kot pred izvedbo del. V tipu 1 – 6 so bile kolesnice, ki so bile z vidika poškodovanosti tal še dopustne, globine kolesnic, ki pa so bile večje kot 30 cm, pa smo uvrstili v tip Nedovoljeno. Opazimo lahko, da je največji delež kolesnic v prvih treh tipih, in sicer pri obeh delovnih fazah, tako sečnji kot pri spravilu. Kolesnice, ki nastajajo pri spravilu, so

bolj kritične, kar smo tudi pričakovali. Pojavijo se v skoraj vseh tipih (razen v tip 5), tudi v tipu Nedovoljene. Delež slednjih je 0,59 %, najgloblja kolesnica pa je merila kar 39,93 cm.

Da bi ugotovili ali obstajajo razlike med delovnima fazama, smo z Wilcoxon testom primerjali globino kolesnic po sečnji in globino kolesnic po spravilu. Wilcoxon test je pokazal, da obstajajo statistično značilne razlike pri globini kolesnic med delovnima fazama. Test nam je potrdil domneve, da spravilo lesa z zgibnim polprikoličarjem povzroča večje kolesnice in s tem tudi večje poškodbe tal.

Pri spravilu lesa s sedlastim traktorjem smo ugotovili, da se kolesnice pojavijo v vseh tipih. Večji delež kolesnic se pojavi v prvih štirih tipih, največji je delež kolesnic v tipu 2 (do 5 cm) - 35,42 %. Precejšen delež kolesnic pa se pojavi tudi v zadnjih štirih tipih; velik je delež kolesnic v tipu Nedovoljene, in sicer 5,21 %. Kolesnice, ki so nedovoljene, smo zabeležili v petih primerih – globine le-teh so bile 60,20 cm, 47,46 cm, 60,39 cm, 42,83 cm ter 46,53 cm.

Primerjali smo tudi globino kolesnic, ki so nastale pri sečnji kratkega lesa ter globino kolesnic, ki so nastale pri sečnji dolgega lesa. Največji delež kolesnic je pri vsej treh fazah dela v prvih treh tipih kolesnic. Opazimo lahko, da je najbolj kritično spravilo lesa s sedlastim traktorjem, saj je kar precejšen delež kolesnic v tipu Nedovoljeno. V tipu Nedovoljenu se pojavi tudi spravilo lesa z zgibnim polprikoličarjem, vendar je ta delež precej manjši kot pri spravilu s sedlastim traktorjem. Razlike v globini kolesnic med objektom 1 in objektom 2 smo primerjali tudi s testom Mann-Whitney (U test). Test nam je pokazal in potrdil domneve, da obstajajo statistično značilne razlike med objektoma v globini kolesnic.

Bolj »blage« rezultate v svoji diplomski nalogi navaja Južnič (2012). Po končani sečnji je bilo na objektu 25,8 % naraslih kolesnic, 62,9 % kolesnic je bilo globokih do 10 cm in 11,3 % je bilo kolesnic globljih od 10 cm. Po končani sečnji na objektu ni bilo prisotnih kolesnic tip 4. Po končanem spravilu pa je bilo na objektu 13,3 % naraslih kolesnic, 50 % kolesnic je bilo globokih do 10 cm in 36,7 % kolesnic je bilo globljih od 10 cm. Po končanem spravilu sta bili le 2 kolesnici globlji od 20 cm. Globina kolesnic ni bila večja

zaradi plitvih tal in trde matične podlage. Največje globine kolesnic se pojavijo v vrtačah, kjer so globlja in vlažnejša tla. Tudi v tej raziskavi so ugotovili, da je spravilo lesa povzročilo globlje kolesnice.

Podobne rezultate kot Južnič navaja tudi Cerjak (2011), ki v svoji diplomski nalogi ni ugotovil statistično značilnih razlik med sečnjo in spravilom na nobenem izmed objektov, na katerih so potekale raziskave. Pričakovali so, da bodo po izvozu lesa globine kolesnic večje kot pri sečnji, vendar do opaznejših sprememb ni prišlo. Vzrok je bil v dobri nosilnosti tal, nizki vlažnosti tal, v prisotnosti sečnih ostankov in nizkem številu prehodov zgibnega polprikoličarja.

7.4.1 Vpliv sečnih ostankov na globino

Poleg same globine kolesnic smo na obeh objektih merili tudi debelino in pokritost sečnih poti s sečnimi ostanki. Na vsakem profilu smo izmerili debelino in pokritost s sečnimi ostanki na kolesnici in na osi sečne poti, ki smo jih nato razdelili v razrede debeline in razrede pokritosti. S podatki o debelini in pokritosti s sečnimi ostanki smo poskušali ugotoviti, če sečni ostanki pozitivno vplivajo na nastanek oz. globino kolesnic.

Ugotovili smo, da so narinjene kolesnice nastale tam, kjer je bil delež sečnih ostankov najvišji; najgloblje kolesnice pa so nastale na tistih profilih, kjer ni bilo sečnih ostankov ali pa je bilo le-teh manj (npr. tip 2). Podobno smo ugotavljali tudi za pokritost sečnih poti s sečnimi ostanki; narinjene kolesnice so nastale tam, kjer je bil delež pokritosti s sečnimi ostanki največji, najgloblje kolesnice pa so nastale na tistih profilih, kjer so bili deleži pokritosti s sečnimi ostanki najmanjši (do 25 %, kar vključuje tudi profile, kjer sečnih ostankov ni bilo).

Isto smo ponovili še za spravilo lesa. Opazili smo, da je stanje precej drugačno kot po sečnji. Tu sta bila definirana le dva razreda debeline sečnih ostankov, in sicer 0 cm in do 10 cm. Pri tipu kolesnic tip 1 in tip 2 so v še kar precejšnjem deležu prisotni sečni ostanki, medtem, ko na profilih, kjer so nastale največje kolesnice, je sečnih ostankov zelo malo

(tip 5 – v ta tip je uvrščen samo en profil) ali nič (tip 3). Pri pokritosti kolesnic s sečnimi ostanki smo dobili podobne rezultate kot pri debelini sečnih ostankov. Tam, kjer je bil delež sečnih ostankov največji, so nastajale narinjene kolesnice. V tipu 1 in 2 se delež pokritosti s sečnimi ostanki zelo zmanjša, v tipu 3 sečnih ostankov ni. V tipu 5 pa je pokritost nad 75 %, vendar imamo v tip 5 le en profil.

Na objektu 2, kjer se je izvajala sečnja dolgega lesa, smo tudi merili debelino in pokritost s sečnimi ostanki na vsakem profilu posebej. Pogledali smo si pokritost s sečnimi ostanki po spravilu glede na tip kolesnice. Opazili smo, da je bila pokritost s sečnimi ostanki zelo majhna, v tip 4, tip 6 in Nedovoljeno skorajda ni bilo sečnih ostankov, ali pa je bil delež le-teh zelo majhen (do 25 %). Narinjene kolesnice so nastale tam, kjer je bila pokritost s sečnimi ostanki največja. Zaključimo lahko, da globina kolesnic narašča z manjšanjem deleža pokritosti kolesnic s sečnimi ostanki.

Z analizo povezav s Spearmanovim koeficientom korelacije med globino kolesnic in debelino sečnih ostankov ter globino in pokritostjo s sečnimi ostanki, nismo potrdili povezav med globinami kolesnic in debelino sečnih ostankov ter povezav med globino kolesnic in pokritostjo s sečnimi ostanki. Test je pokazal značilno povezavo le med globino kolesnic po spravilu in debelino sečnih ostankov po sečnji. Na objektu 2, kjer je potekala sečnja dolgega lesa, smo s Spearmanovim koeficientom korelacije pokazali značilno povezavo med globino kolesnic po spravilu in debelino sečnih ostankov po spravilu in sicer na stopnji tveganja 5 %.

V naši raziskavi smo ugotovili tudi, da se debelina sečnih ostankov na sečni poti zmanjšuje s številom prehodov stroja. Velike spremembe se pojavijo na kolesnicah sečnih poti, saj se je delež sečnih ostankov po spravilu zmanjšal za 5,88 %. Na osi sečne poti pa med fazama dela ne pride do velikih sprememb v debelini sečnih ostankov. Stanje pri pokritosti s sečnimi ostanki je podobno, kot pri debelini sečnih ostankov. Večje spremembe se zopet pojavijo na predelu kolesnic – delež pokritosti s sečnimi ostanki se je po spravilu zmanjšal. Pokritost s sečnimi ostanki se zmanjšuje s številom prehodov stroja. Pri pokritosti s sečnimi ostanki na osi ni prišlo do večjih sprememb. Podobno smo ugotavljali tudi v primeru sečnje dolgega lesa. Količina sečnih ostankov se spreminja z večanjem števila

prehodov stoja. Bistvenega pomena so za nas sečni ostanki na kolesnici, saj se tam dogajajo največje spremembe. Delež sečnih ostankov po končanem spravilu je bil 37,50 % na kolesnici, ter 50,00 % na osi sečne poti. Delež pokritosti s sečnimi ostanki je zelo nizek, tako na kolesnicah kot tudi na osi sečnih poti, vendar je pokritost s sečnimi ostanki še vedno višja na osi sečne poti.

V nadaljevanju smo si pogledali tudi kako določeni kazalniki vplivajo na globino kolesnic. Postavili smo domnevo, da je globina kolesnic statistično značilno odvisna od CI, vlažnosti tal, debeline in pokritosti s sečnimi ostanki. Ugotovili smo, da nam v našem primeru ni uspelo dokazati statistično značilnih odvisnosti globine kolesnic od naštetih neodvisnih spremenljivk. Najbolje je z globino kolesnic v obeh primerih, pri sečnji in spravilu, povezana vlažnost tal. V primeru sečnje dolgega lesa smo ugotovili, da v primeru sečnje dolgega lesa obstaja statistično značilna povezanost med globino kolesnic in vlažnostjo tal (pri tveganju 5 %). Ni pa nam uspelo dokazati statistično značilnih odvisnosti globine kolesnic od CI, debeline in pokritosti sečnih poti s sečnimi ostanki.

Vpliv različnih dejavnikov na globino kolesnic je v svoji diplomski nalogi ugotavljal tudi Cerjak (2011). Ugotavljal je statistični vpliv naklona terena, trdnosti tal, vlažnosti tal in števila prehodov stroja na globino kolesnic. Dokazali so le povezavo med trdnostjo tal in globino kolesnic na Pohorju, za ostale dejavnike pa ne.

Med seboj smo primerjali tudi vse tri oblike dela. Najvišji delež debeline sečnih ostankov je v prvih treh tipih. V tipu kolesnic Narinjeno je debelina sečnih ostankov najvišja v primeru stroja za sečnjo, sledi zgibni polprikoličar in nato sedlasti traktor. Najgloblje kolesnice (tip 5, tip 6 in tip Nedovoljeno) se pojavijo le v primeru zgibnega polprikoličarja in sedlastega traktorja. Pokritost s sečnimi ostanki je tu zelo nizka. Podobna zakonitost se ponovi v primeru pokritosti s sečnimi ostanki. Največji delež pokritosti s sečnimi ostanki se zopet pojavi v prvih treh tipih kolesnic. Tam, kjer so kolesnice najgloblje (tudi nedovoljene – primer sedlasti traktor, pa je pokritost s sečnimi ostanki zelo majhna. Najbolj nas zanima, kaj se dogaja s sečnimi ostanki na kolesnicah, saj tam prihaja do največjih sprememb oz. največjih poškodb tal. Delež debeline sečnih ostankov na kolesnici je bil največji v primeru stroja za sečnjo, najmanjši pa je v primeru spravila s sedlastim

traktorjem. Delež debeline sečnih ostankov je na osi sečne poti pričakovano višji kot na kolesnicah. Podobno smo ugotavljali pri pokritosti sečnih poti s sečnimi ostanki. Pri spravilu s sedlastim traktorjem je pokritost s sečnimi ostanki zelo majhna, večja je v primerih spravila z zgibnim polprikoličarjem in pri sečnji strojem za sečnjo.

7.5 PRIMERJAVA VZORČENJA PODATKOV NA RAZLIČNIH RAZDALJAH

V raziskavi nas je zanimalo tudi, kakšne so razlike, če vzorčimo podatke na različnih razdaljah na sečni poti. Preverjali smo ali obstajajo razlike, če vzorčimo podatke na profilih na vsakih 5 m, 10 m, 15 m in 20 m. V zbranih podatkih smo najprej uporabili vse podatke (na 5 m), nato vsakega drugega (na 10 m), vsakega tretjega (na 15 m) in vsakega četrtega (na 20 m). V presoji razlik smo uporabili analizo variance (ANOVA). Preverjali smo ali prihaja do razlik med širinami sečnih poti, globino kolesnic ter debelino in pokritostjo sečnih poti s sečnimi ostanki.

Z ANOVO smo ugotovili, da v obeh primerih, tako pri sečnji s strojem za sečnjo kot pri spravilu z zgibnim polprikoličarjem, ni statistično značilnih razlik, če vzorčimo podatke na 5, 10, 15 in 20 m. Opazimo pa lahko, da so razlike večje pri fazi spravila lesa z zgibnim polprikoličarjem (statistična značilnost v primeru stroja za sečnjo je bila 0,555, medtem ko je bila v primeru spravila z zgibnim polprikoličarjem 0,427). Enako smo storili za spravilo s sedlastim traktorjem. Z ANOVO smo ugotovili, da pri različnih razdaljah vzorčenja ni statistično značilnih razlik med širinami sečnih poti (značilnost je bila 0,768).

Na podoben način smo preverili tudi razlike v globini kolesnic. Z ANOVO smo ugotovili, da ni statistično značilnih razlik v globini kolesnic, če vzorčimo podatke na vsakih 5, 10, 15 in 20 m (statistična značilnost v primeru stroja za sečnjo je bila 0,952, medtem, ko je bila v primeru spravila z zgibnim polprikoličarjem 0,712). Enak trend se je ponovil tudi pri spravilu lesa s sedlastim traktorjem. Ugotovili smo, da ni statistično značilnih razlik med globinami kolesnic (značilnost 0,743).

Enako analizo smo uporabili še pri debelini in pokritosti sečnih vlak s sečnimi ostanki. Na obeh objektih smo ugotovili podoben trend kot pri širini sečnih poti in globini kolesnic: ni statistično značilnih razlik v debelini in pokritosti sečnih poti s sečnimi ostanki, če vzorčimo podatke na različnih razmakih.

V nadaljevanju nas je zanimalo tudi v kakšnem primeru (na kakšni razdalji) postanejo podatki premalo natančni za ugotavljanje poškodovanosti tal – kdaj se pokažejo statistično značilne razlike. Za primer smo vzeli širino sečnih poti za fazosečnje lesa s strojem za sečnjo. Ugotovili smo, da se statistično značilne razlike še vedno ne pojavijo, če vzorčimo podatke na 105 m – statistična značilnost je 0,069. Statistično značilne razlike se pojavijo šele, ko začnemo vzorčiti podatke na 110 m (značilnost je 0,000). Do podobnih ugotovitev smo prišli tudi v ostalih primerih (globina kolesnic, debelina in pokritost s sečnimi ostanki) - v vseh primerih se statistično značilne razlike pokažejo, ko vzorčimo podatke na sto metrov in več.

8 SKLEPI

Namen oz. cilj magistrske naloge je bil ugotoviti poškodbe tal, ki jih povzročajo stroji za sečnjo in spravilo. Obenem pa z vidika poškodb tal oceniti, katera oblika je bolj primerna za naše gozdove (za redčenja) in poiskati ukrepe, ki bi te poškodbe zmanjšali na minimum.

V raziskavi smo postavili več hipotez:

- poškodbe tal so po sečnji s kombiniranim strojem HSM 805F manjše kot v primeru uporabe ostale mehanizacije pri strojni sečnji,
- poškodbe tal so manjše, če je plast sečnih ostankov na vlaki debelejša,
- poškodbe tal so manjše pri tehnologiji kratkega lesa kot pri tehnologiji dolgega lesa,
- pri merjenju poškodb tal pride do razlik, če vzorčimo podatke na različnih razdaljah,
- kombinirani stroj za sečnjo je primeren za delo v redčenjih.

Na podlagi postavljenih hipotez in dobljenih rezultatov smo prišli do naslednjih sklepov:

Hipoteza 1: Poškodbe tal po sečnji s kombiniranim strojem HSM 805F so manjše kot v primeru uporabe ostale mehanizacije pri strojni sečnji. Hipotezo smo sprejeli, saj smo ugotovili, da s kombiniranim strojem za sečnjo in spravilom HSM 805F povzročamo manjše poškodbe tal. Najbolj kritično je spravilo lesa s sedlastim traktorjem, saj je kar precejšen delež kolesnic v tipu Nedovoljeno. Povprečna globina kolesnic je merila 10,48 cm. Če naše rezultate primerjamo z rezultati drugih raziskav, ugotovimo kar nekaj razlik med uporabljenimi mehanizacijami (Južnič, 2012 in Cerjak, 2011). Ugotovili smo manjše širine sečnih poti. To je razumljivo, saj je tudi sam stroj, s katerim je delo potekalo, ožji. Podobne rezultate smo dobili tudi v primeru globine kolesnic; povprečne globine kolesnic (brez naraslih kolesnic) so bile manjše, kot v primeru uporabe druge mehanizacije.

Hipoteza 2: Poškodbe tal pri strojni sečnji so manjše, če je plast sečnih ostankov na vlaki debelejša. Hipotezo smo potrdili, saj smo s statističnimi analizami dokazali, da sečni

ostanki na sečnih poteh pozitivno vplivajo na globino kolesnic. V vseh treh primerih smo ugotovili, da so narinjene kolesnice nastale tam, kjer je bil delež sečnih ostankov največji; najgloblje kolesnice pa so nastale na tistih profilih, kjer ni bilo sečnih ostankov, ali pa je bilo le-teh manj.

Hipoteza 3: Poškodbe tal so manjše pri tehnologiji kratkega lesa kot pri tehnologiji dolgega lesa. V raziskavi smo ugotovili, da so pri sečnji s strojem za sečnjo in spravilu z zgibnim polprikoličarjem vrednosti CI višje, kot pri spravilu s sedlastim traktorjem. To pomeni, da so bila tla pri metodi kratkega lesa bolj obremenjena, kot pri metodi dolgega lesa. Nasprotno smo ugotovili pri ugotavljanju globine kolesnic. Primerjali smo globino kolesnic, ki so nastale pri sečnji kratkega lesa ter globino kolesnic, ki so nastale pri sečnji dolgega lesa. Največji delež kolesnic je v vseh treh izvedbah dela v prvih treh tipih kolesnic. Opazimo lahko, da je najbolj kritično spravilo lesa s sedlastim traktorjem. Precejšen delež kolesnic se pojavi tudi v zadnjih štirih tipih; velik je delež kolesnic v tipu Nedovoljene, in sicer 5,21 %. Kolesnice, ki so bile nedovoljene, smo zabeležili v petih primerih – globine le-teh so bile 60,20 cm, 47,46 cm, 60,39 cm, 42,83 cm ter 46,53 cm. V tipu Nedovoljeno se pojavi tudi spravilo lesa z zgibnim polprikoličarjem, vendar je ta delež precej manjši kot pri spravilu s sedlastim traktorjem. Mann-Whitney test nam je pokazal in potrdil domneve, da obstajajo statistično značilne razlike med objektoma v globini kolesnic. Hipotezo, da so poškodbe tal manjše pri tehnologiji kratkega lesa kot pri tehnologiji dolgega lesa, lahko na podlagi ugotovitev, le delno potrdimo.

Hipoteza 4: Pri merjenju poškodb tal pride do razlik, če pobiramo podatke o poškodovanosti tal na prečnih profilih na 5, 10, 15 in 20 m. Hipotezo smo zavrnil, saj smo pri vseh treh primerih ugotovili, da tako pri sečnji s strojem za sečnjo, kot pri spravilu z zgibnim polprikoličarjem, ter spravilu s sedlastim traktorjem ni statistično značilnih razlik, če vzorčimo podatke na 5, 10, 15 in 20 m – ni razlik pri povečevanju natančnosti pobiranja podatkov. Opazimo pa lahko, da so razlike večje pri spravilu lesa z zgibnim polprikoličarjem. Statistično značilne razlike se nam pokažejo šele, ko podatke pobiramo na velikih razdaljah. Če vzorčimo podatke na 105 m še vedno ni statistično značilnih razlik med skupinami (značilnost je 0,069). Statistično značilne razlike se nam pokažejo šele, ko pobiramo podatke na 110 m (primer širine sečnih poti). Če podatke vzorčimo na 5 m in ne

na 10 m kot so delali v prejšnjih raziskavah, je kvečjemu natančnost zbranih podatkov boljša - dobimo bolj kakovostne podatke in s tem boljšo oz. bolj realno sliko poškodb tal, ki so se zgodile na določenem območju.

Hipoteza 5: Kombinirani stroj za sečnjo je z vidika poškodb tal primeren za delo v redčenjih. Hipotezo smo sprejeli, saj smo ugotovili, da so v primerjavi z drugimi stroji za sečnjo (stroj za sečnjo – zgibni polprikoličar (Južnič, 2012)) poškodbe tal z kombiniranim strojem za sečnjo manjše – manjša je širina sečnih poti (sečnja kratkega lesa: 298,55 in 319,98; sečnja dolgega lesa: 337,00), kot tudi globina kolesnic (po sečnji 3,69 cm, po spravilu 4,91 cm). Večje globine kolesnic se pojavijo le v primeru spravila dolgega lesa (10,48 cm). Z vidika poškodb tal bi bila uporaba kombiniranega stroja v redčenjih primerna, tako za sečnjo kot za spravilo.

V naših raziskavah smo ugotovili kar precejšnje poškodbe tal, sploh v primeru sečnje dolgega lesa, kjer smo les spravljali s sedlastim traktorjem. Da bi zmanjšali poškodbe tal več avtorjev priporoča naslednje ukrepe:

Košir (2010) izpostavlja, da bi za zmanjšanje poškodb tal morali posvetiti prednost:

- velikost strojev (lahki, srednji, veliki) glede na obseg sestojnih in terenskih razmer – teoretično bi lahko za posamezne sestojne razvojne faze in strukture izbrali poseben stroj, ki bi se optimalno prilegal razmeram, poškodbe bi bile zato manjše,
- način transmisije oziroma prenosa sil na tla (kolesni, gosenični, mehanski, hidrostatski, kombinacije),
- značilnosti koles in gosenic glede na razmere: dimenzija, vrsta pnevmatik, tlak v pnevmatikah, vrsta verig, vrsta goseničnih verig,
- velikost bremena v določenih razmerah,
- število prehodov po sečni poti. Teh prehodov, naj bi bilo čim manj.

Košir (2010) za zmanjševanje poškodb tal priporoča tudi boljše poznavanje tal:

- vrsta tal (razvrstitev) glede na fizikalne lastnosti (nosilnost tal, plastičnost, poroznost itd.) – zanimajo nas mehanske lastnosti tal,
- dinamika sprememb fizikalnih lastnosti tal glede na sezonska nihanja temperature in vlage – zanima nas, kako se z vsebnostjo vode (s sezono) spreminja gostota in nosilnost posamezne vrste tal,
- razvoj metod monitoringa ter napovedovanja ranljivosti tal.

Owende in sod. (2002) za zmanjšanje zbijanja tal in nastanka kolesnic navajajo več tehnik:

- omejiti število prehodov strojev,
- zmanjšanje teže tovora,
- izogibanje mokrim terenom,
- uporaba širokih pnevmatik, pnevmatike opremljene z gosenicami,
- uporaba sečnih ostankov.

V prihodnosti bi bilo potrebno s kombiniranim strojem HSM 805F opraviti še več raziskav na različnih objektih z drugačnimi tipi gozdnih tal. Tako bi ugotovili, če stroj tudi na drugačnih tleh povzroča tako velike poškodbe, in iz tega zaključiti, kako načrtovati delo, da bi bilo poškodb gozdnih tal čim manj.

9 POVZETEK

9.1 POVZETEK

V Sloveniji se strojna sečnja pojavlja že 17 let. V tujini in pri nas je bilo na to temo opravljenih že veliko raziskav. Stroji za sečnjo in spravilo imajo tako kot vse tehnologije pozitivne in negativne strani. So ekonomsko ustrezni, ergonomsko bolj primerni in seveda varnejši. Povzročajo pa tudi precejšnje negativne vplive na okolje, kot so poškodbe tal in poškodbe drevja.

V juniju 2012 so v gozdnogospodarskem območju Slovenj Gradec (GGE Mislinja) potekale raziskave, ki so zajemale več vidikov strojne sečnje. Na dveh objektih smo merili poškodbe tal, poškodbe drevja ter učinke, delali pa smo tudi časovno študijo. V tej magistrski nalogi smo se osredotočili samo na poškodbe tal. Prvič do sedaj je bil v raziskavah poškodb tal uporabljen kombinirani stroj.

Namen naše raziskave je bil, da z vidika poškodb tal, ugotovimo, katera oblika je bolj primerna za naše gozdove (za redčenja), ugotoviti kateri so bistveni dejavniki, ki vplivajo na nastanek poškodb tal, ugotoviti katere so omejitve, pogoji in zahteve za strojno sečnjo ter kako oz. s kakšnimi ukrepi poškodbe, ki jih povzročajo stroji na gozdnih tleh zmanjšati na minimum.

V raziskavi smo obravnavali tri različne faze dela: sečnjo s strojem za sečnjo, spravilo z zgibnim polprikoličarjem (sečnja kratkega lesa – sortimentna metoda) in spravilo s sedlastim traktorjem (sečnja dolgega lesa – debelna oz. poldebelna metoda). Meritve so potekale na dveh objektih; na objektu 1 je v drogovnjaku potekalo drugo redčenje, na objektu 2 pa redčenje v srednjem debeljaku.

Na pripravljenih objektih smo po končani sečnji na liniji začeli z meritvami poškodb tal. Najprej smo ob sečnospravih v tla zabili količke - količki so pomenili mesto prečnega profila. Na količke smo predhodno zapisali številko sečne poti in številko profila. Količke smo zabijali vedno na isto stran sečnospravih poti in dovolj stran, da so bili zavarovani

pred povozom in ker to narekuje že sama metoda merjenja poškodovanosti tal. V raziskavi smo ugotavljali kakšna je nosilnost tal, vlažnost tal, globino kolesnic, vpliv sečnih ostankov na globino kolesnic ter prvič do sedaj se je tudi ugotavljalo, ali prihaja do sprememb, če pobiramo podatke na profilih na različnih razdaljah – na vsakih 5, 10, 15 ali 20 m.

Na objektu 1, kjer je potekala sečnja kratkega lesa, smo ugotovili, da je konusni indeks z globino sprva naraščal, dokler ni dosegel svojega maksimuma. Največjo povprečno vrednost je CI dosegel med 20 in 25 cm globine (1581,77 kPa), nato pa je vrednost CI z globino padala. Povprečna vrednost CI na objektu je znašala 804,38 kPa. Tudi na objektu 2 je CI sprva z globino tal naraščal. Povprečna vrednost CI je znašala 746,80 kPa. Maksimalni CI pa je bil 1249,11 kPa, na globini 25 cm. Pri sečnji s strojem za sečnjo in spravilu z zgibnim polprikoličarjem so bile vrednosti CI višje, kot pri spravilu s sedlastim traktorjem. To pomeni, da so bila tla pri metodi kratkega lesa bolj obremenjena, kot pri metodi dolgega lesa. Na objektu 1, kjer je potekala sečnja kratkega lesa opazimo, da vrednost CI z večanjem vlažnosti pada. Povprečna vlažnost tal na objektu je znašala 19,79 %. Vlažnost tal na objektu 2, je ravno tako kot na objektu 1, z naraščanjem vrednosti CI padala. Povprečna vlažnost tal je bila 20,83 %.

Pri merjenju širine sečnih poti in širine svetlih profilov smo pričakovano ugotovili, da je širina sečne poti pri sečnji manjša (298,65 cm), kot širina sečne poti pri spravilu (319,98 cm). Isto lahko ugotovimo pri širinah svetlih profilov - širina svetlega profila pri sečnji je manjša kot pri spravilu. Širina sečnih poti se je potem, ko je bilo spravilo lesa opravljeno, v kar 63,53 % spremenila. Ko je bilo delo na objektu 1 končano, je bilo s sečnimi potmi motene 5 % površine. Povprečna širina sečne poti pri spravilu lesa s sedlastim traktorjem je znašala 337 cm, povprečna širina svetlega profila pa 480 cm. Povprečna širina sečne poti je bila največja pri spravilu lesa s sedlastim traktorjem. Bila je kar 38 cm širša od povprečne sečne poti pri sečnji s sečnim strojem in 17 cm širša od povprečne sečne poti pri spravilu z zgibnim polprikoličarjem. Največji delež motene površine se pojavi pri spravilu z zgibnim polprikoličarjem, saj je tudi površina motenih poti največja.

Globine kolesnic, ki smo jih izračunali na objektih smo razporedili v 8 tipov. Opazili smo, da je največji delež kolesnic v prvih treh tipih, in sicer pri obeh delovnih fazah, tako sečnji kot pri spravilu. Kolesnice, ki nastajajo pri spravilu, so bolj kritične, kar smo tudi pričakovali. Pojavijo se v skoraj vseh tipih (razen v tip 5), tudi v tipu Nedovoljene. Delež le-teh je 0,59 %, najgloblja kolesnica pa je merila kar 39,93 cm. Wilcoxon test je pokazal, da obstajajo statistično značilne razlike pri globini kolesnic med delovnim fazama. Test nam je potrdil domneve, da spravilo lesa z zgibnim polprikoličarjem povzroča večje kolesnice in s tem tudi večje poškodbe tal. Pri spravilu lesa s sedlastim traktorjem smo ugotovili, da se kolesnice pojavijo v vseh tipih. Večji delež kolesnic se pojavi v prvih štirih tipih, največji je delež kolesnic v tipu 2 (do 5 cm) - 35,42 %. Precejšen delež kolesnic je v tipu Nedovoljene, in sicer 5,21 %. Globine le-teh so bile 60,20 cm, 47,46 cm, 60,39 cm, 42,83 cm ter 46,53 cm.

V raziskavi smo ugotavljali, ali oz. kako sečni ostanki vplivajo na gozdna tla. Ugotovili smo, da so narinjene kolesnice nastale tam, kjer je bil delež sečnih ostankov najvišji; najgloblje kolesnice pa so nastale na tistih profilih, kjer je bilo malo sečnih ostankov ali pa le-teh ni bilo. Podobno smo ugotavljali tudi za pokritost s sečnimi ostanki. Enako smo ugotavljali še za spravilo lesa. Tu sta bila definirana le dva razreda debeline sečnih ostankov, in sicer 0 cm in do 10 cm. Na objektu 2, kjer se je izvajala sečnja dolgega lesa smo opazili, da je bila pokritost s sečnimi ostanki zelo majhna, v tip 5, tip 6 in Nedovoljeno skorajda ni bilo sečnih ostankov, ali pa je bil delež le-teh zelo majhen (do 25 %). Narinjene kolesnice so nastale tam, kjer je bila pokritost s sečnimi ostanki največja. Z analizo povezav s Spearmanovim koeficientom korelacije nismo potrdili povezav med globinami kolesnic in debelino ter pokritostjo s sečnimi ostanki. Test je pokazal značilno povezavo le med globino kolesnic po spravilu in debelino sečnih ostankov po sečnji. Na objektu 2, kjer je potekala sečnja dolgega lesa, smo dokazali značilno povezavo med globino kolesnic po spravilu in debelino sečnih ostankov po spravilu.

Preverjali smo tudi ali obstajajo razlike, če vzorčimo podatke na profilih na vsakih 5 m, 10 m, 15 m in 20 m. Z ANOVO smo preverili, ali prihaja do razlik, če vzorčimo podatke na vsakih 5, vsakih 10, 15 in 20 m. Ugotovili, da v vseh treh primerih (sečnji s strojem za sečnjo, spravilu z zgibnim polprikoličarjem in spravilu s sedlastim traktorjem) ni

statistično značilnih razlik, če vzorčimo podatke na 5, 10, 15 in 20 m. Za ugotavljanje poškodovanosti tal so podatki premalo natančni, ko začnemo podatke pobirati na precej velikih razdaljah. Statistično značilne razlike se nam pokažejo šele, ko vzorčimo podatke na 100 m in več.

9.2 SUMMARY

In Slovenia, the full mechanised logging has a 17 year long tradition. At home and abroad it has been the topic of much research work. Machines for cutting have, like all technology, positive and negative sides. They are economical, ergonomic fit and, of course, safer. However, may also cause significant environmental impacts, such as soil damage and tree damage.

In June 2012, in Slovenj Gradec (Mislinja) a research took place, which covered several aspects of the full mechanised logging. On two objects we measured soil damage, tree damage, productivity and time study. In the thesis the focus is only on soil damage. For the first time in research of soil damage the combined machine was used (HSM 805 F equipped as harvester or forwarder or clambunk with grapples).

The aim of our study was to evaluate soil damage, to determine which method is more suitable for our forests (for thinning) and to determine what are the essential factors that affect the formation of soil damage. The aim was also to determine the limits, conditions and requirements for mechanised logging to minimize soil damage.

In this study we considered three different work processes performed with the same basic machine: cutting with harvester, skidding with forwarder (cutting short timber) and skidding with Clambunk (cutting long timber). Measurements were carried out on two research objects: the one where early thinnings have been made and the second where medium sized wood in later thinning has been done.

When the cutting of wood was finished, we started with measurements of soil damage. Along skidding trail we first nailed wooden poles - poles represented our profiles. On the

poles we wrote the number of skidding trail and the profile number. Poles were nailed always on the same side of skidding trail and far enough so that they were protected from being driven over. The study examines cone index, soil moisture, rut depth, the impact of logging residues on the rut and for the first time it was tested whether there is a change in results if you collect information on profiles at different distances - every 5, 10, 15 or 20 m.

On research object one, where cutting short timber was done, we found that the cone index was increasing with depth until it reached its maximum. The highest average value of the CI was between 20 and 25 cm of depth (1581,77 kPa), and after this maximum the value of the CI was decreasing with depth. The average value of CI at the object one was 804,38 kPa. Also on research object two CI was increasing with soil depth. The average value of CI was 746,80 kPa. Maximum CI was 1249,11 kPa, at depth of 25 cm. CI values were higher on research object one, where we used harvester and forwarder. This means that the forest ground was more stressed when we were cutting short wood (harvester + forwarder). At research object one, where we were cutting short wood, we can see that the value of CI decreases with increasing soil moisture. The average soil moisture at the object one was 19,79 %. The same trend can be seen on research object two. The average soil moisture was 20,83 %.

In measuring the width of the skidding trail and the width of the bright sections we found out that the width of the skidding trail after harvester was narrower (298,65 cm) than the width of the skidding trail after forwarder (319,98 cm). The same can be found for the width of bright sections – the width of bright sections is narrower after harvester than forwarder. The width of the skidding trails after the processes was changed 63,53 %. When the work at research object one was completed, there were disturbed 5 % of the forest surface. The average width of the skidding trail in skidding wood with Clambunk was 337,00 cm and the average width of the bright section was 480,00 cm. The average width of skidding trail was the highest in skidding with Clambunk. Skidding trails were about 38 cm wider than the average skidding trail after harvester and 17 cm wider than the average skidding trail after forwarder. The largest share of disturbed area occurs after skidding with forwarder.

Rut depths were classified into 8 types of ruts. It was observed that the largest share of ruts was in the first three types, for both harvester and forwarder. It was expected that ruts which were made by forwarder were more critical. Ruts occur in almost all types (except type 5), also in the type "not permitted". The share of not permitted ruts was 0,59 %. The deepest rut measured was 39,93 cm. Wilcoxon test showed that there were statistically significant differences in rut depth during the working process. The test confirmed the assumption that timber with forwarder was causing major rut and thus greater damage to soils. When skidding with Clambunk, we find that the rut occurs in all types. Larger share of the rut occurs in the first four types, the largest share of ruts is in type 2 (up to 5 cm) – 35,42 %. A significant share of ruts was in the type "not permitted" – 5,21%. The depths of these were 60,20 cm , 47,46 cm , 60,39 cm , 42,83 cm and 46,53 cm.

The study determines whether and how logging residues affect the forest ground. We found that the thrust generated rut was formed there where there was the highest proportion of logging residues; deepest ruts were created in those sections where there were no logging residues, or only a little share. Similarly, we also determined the coverage. The same was found in the process skidding with forwarder. There were only two levels of thickness defined, 0 cm and to 10 cm. At object two where we were cutting long wood, we observed that the coverage of logging residues remains very low in type 6 and in type "not permitted" there were hardly any logging residues, or the share of them was very small (up to 25 %) . Thrust rut occurred where the coverage of the logging residues was the largest. Spearman's correlation coefficient didn't confirm links between rut depth and the thickness and coverage of logging residues. The test showed a significant relation between the rut depth after forwarder and the thickness of logging residues after harvester. At the object two Spearman correlation coefficient demonstrated significant relationship between rut depth and thickness of logging residues.

We also determined whether there were differences if collecting data on profiles at different distances on the skidding trail - every 5, 10, 15 or 20 m. We used analysis of variance for checking whether there were any differences if collecting the data every 5, 10, 15 and 20 m. We found that in all three cases (logging with harvester, skidding with forwarder and skidding with Clambunk) there were no statistically significant differences

when collecting data at 5, 10, 15 and 20 m. The data are not precise enough when collected at large distances. Statistically significant differences were shown when we started to collect the data on 100 meters and more.

10 VIRI

- Akay A. E., Yuksel A., Reis M., Tutus A. 2006. The Impacts of Ground-Based Logging Equipment on Forest Soil. *Polish Journal of Environmental Studies*, 16, 3: 371-376
- Bygdén G., Wästerlund I. 2007. Rutting and soil disturbance minimized by planning and using bogie tracks. *Forestry Studies*, 46: 5-12
- Bygdén 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 a Upland Hardwood Forest of Northern Alabama. An ASAE meeting presentation, paper no. 975013: 19 str.
- Cerjak B. 2011. Poškodbe tal po strojni sečnji in spravilu lesa v redčenjih: diplomska naloga. (Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana., samozal.: 86 str.
- Ctl-technology (procesorska glava CTL 453): spletna stran proizvajalca. http://www.ctl-technology.de/Prod_CTL%20453.htm (6. maj 2013)
- Eliasson L. 2005. Effects of forwarder tyre pressure on rut formation and soil compaction. *Silva Fennica*, 39, 4: 549-557
- Geramisov Y., Katarov V. 2010. Effect of Bogie Track and Slash Reinforcement on Sinkage and Soil Compaction in Soft Terrains. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 31, 1: 15-27
- Godeša T. 2010. Zbijanje njivskih tal kot posledica večkratnih prehodov vozil. V: Novi izzivi v poljedelstvu 2010: zbornik simpozija. Kocjan Ačko D., Čeh B. (ur.). Rogaška Slatina, Slovensko agronomsko društvo: 89-95

Gozdnogospodarski načrt gozdnogospodarske enote Mislinja za leto 2005-2014. 2005. Mislinja, Zavod za gozdove, Območna enota Slovenj Gradec: 157 str.

Han S. K., Han H. S., Page-Dumroese D. S., Johnson L. R. 2009. Soil compaction associated with cut-to-length and whole-tree harvesting of a coniferous forest. Canadian journal of forest research, 39, 5: 976-989

Han H. S., Page-Dumroese D., Han S. K., Tirocke J. 2006. Effects of slash, machine passes, and soil moisture on penetration resistance in a cut-to-length harvesting. International Journal of Forest Engineering, 17, 2: 11-24

Horn R., Vossbrink J., Peth S., Becker S. 2007. Impact of modern forest vehicles on soil physical properties. Forest Ecology and Management, 248: 56–63

Jamshidi R., Jaeger D., Raafatnia N., Tabari M. 2008. Influence of two ground-based skidding systems on soil compaction under different slope and gradient conditions. International journal of forest engineering, 19, 1: 9-16

Južnič D. 2012. Poškodbe tal pri strojni sečnji in spravilu lesa na objektu Mozelski Šahen: diplomska naloga (UN). (Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana., samozal.: 43 str.

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

Košir B., Krč J. 2003. Presoja različic omejitev rabe strojne sečnje lesa z vidika terenskih in sestojnih razmer v Sloveniji. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 71: 5-18

Košir B. 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., 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. 1997. Pridobivanje lesa: študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 330 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. F., Meyer K. 2003. Soil Compaction as Indicated by Penetration Resistance: A Comparison of Two Types of Penetrometers. V: Technology for Resource Management: 370-375
- Mali B. 2006. Poškodbe tal po sečnji s strojem za sečnjo in spravilu lesa z zgibnim polprikoličarjem: diplomska naloga. (Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana., samozal.: 61 str.
- Marenče J. 2005. Spreminjanje tehničnih parametrov traktorja pri vlečenju lesa – kriterij pri izbiri delovnega sredstva: doktorska disertacija. (Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana., samozal.: 289 str.
- McDonald T. P., Seixas F. 1997. Effect of slash on forwarder soil compaction. Journal of Forest Engineering, 8, 2: 15-26
- McNeel J. F., Ballard T. M. 1992. Analysis of site stand impacts from thinning with a harvester-forwarder system. Journal of forest engineering, 4, 1: 23-29

- Nugent C., Kanali C., Owende P.M.O., Nieuwenhuis M., Ward S. 2003. Characteristic site disturbance due to harvesting and extraction machinery traffic on sensitive forest sites with peat soils. *Forest Ecology and Management*, 180: 85-98
- Owende, P. M. O., Lyons, J., & Ward, S. M. 2002. Operations protocol for Eco-efficient wood harvesting on sensitive sites. *The Ecowood project*: 74 str.
- Pandur Z., Horvat D., Šušnjar M., Neveèerel H., Stankiè I. 2010. Environmental evaluation of wood residues utilization. V: *Formec 2010, Forest Engineering: Meeting the Needs of the Society and the Environment 11-14 jul.* Padova: 8 str.
- Parker R. T., 2001. Soil Compaction in Central Oregon Volcanic Ash Soil and the Subsequent Effects on Residual Ponderosa Pine Growth. A Thesis submitted to Oregon State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science: 116 str.
- Poršinsky T., Sraka M., Stankiæ I. 2006. Comparison of two approaches to soil strenght classifications. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 27, 1: 17-26
- Powers R., 2002. Effects of Soil Disturbance on the Fundamental, Sustainable Productivity of Managed Forests. V: *Proceedings of a symposium on the Kings River Sustainable Forest Ecosystems Project: progress and current status.* Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-183. Davis, CA: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station: 63-82.
- Richard G., Boizard H., Roger-Estrade J., Boiffin J., GueÂrif J. 1999. Field study of soil compaction due to traffic in northern France: pore space and morphological analysis of the compacted zones. *Soil & Tillage Research* 51: 151-160
- Rummer B. 2002. Forest operations technology. Southern Forest Resource Assessment. General Technical Report, SRS-53 (USDA-Forest Service, Southern Research Station, Asheville, NC): 341-353.

Saarilahti M. 2002. Soil interaction model. Development of protocol for ecoefficient wood harvesting on sensitive sites (ECOWOOD). EU 5th Framework Project Quality of life and management of living resources contract (1999-2002): 28 str.

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

Saarilahti M., Anttila T. 1999. Rut depth model for timber transport on moraine soils. V: Proceedings of the 9th International Conference of International Society for Terrain Vehicle Systems, Munich, Germany: 29-37

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

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

Spectrum Technologies (vlagomer): spletna stran proizvajalca

<http://www.specmeters.com/soil-and-water/soil-moisture/fieldscout-tdr-meters/tdr300/>
(23. jul. 2012)

Spectrum Technologies (penetrometer): spletna stran proizvajalca

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

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

Tehnični podatki za kombinirani stoj HSM 805 F: spletna stran zastopnika HSM Forstmaschinen

<http://www.hsm-forest.net/hsm-805f-kurzchassis-kurz.html> (april, 2013)

Tehnični podatki za sečno glavo CTL 453: spletna stran zastopnika CTL-Technology

http://www.ctl-technology.de/Prod_CTL%20453.htm (april, 2013)

Tractor & Construction Plant Wiki. Ground pressure.

http://tractors.wikia.com/wiki/Low_Ground_Pressure#Low_ground_pressure_vehicles
(december, 2013)

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

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 – TRD probe. Soil & Tillage Research, 60: 35-42

Williamson J. R., Neilsen W. A. 2000. The influence of forest site on rate and extent of soil compaction and profile disturbance of skid trails during ground-based harvesting. Canadian Journal of Forest Research, 30: 1196-1205

Železnik P., Mali B., Robek R., Simončič P., Kraigher H. 2011. Vpliv težke mehanizacije za strojno sečnjo na tla in korenine. V: XXVIII. Gozdarski študijski dnevi: Odzivi gozdne tehnike in gozdarstva na spremenjene razmere gospodarjenja: zbornik razširjenih povzetkov: 40-42

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

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Juriju Marenčetu za strokovno pomoč pri izdelavi, napotke in končen pregled magistrske naloge.

Za recenzijo magistrske naloge se zahvaljujem izr. prof. dr. Janez Krču.

Velika zahvala gre somentorju izr. prof. dr. Boštjanu Koširju in asistentu Matevžu Miheliču za vse nasvete, pomoč in napotke pri izdelavi magistrske naloge. Hvala za pomoč pri zbiranju podatkov, njihovi analizi ter za pregled naloge.

Hvala gospodu Ivanu Štorniku iz ZGS OE Slovenj Gradec za podatke o raziskovalnem objektu. Hvala Damjanu za vso pomoč in prijaznost ter moji sestri Andreji za pomoč pri pobiranju podatkov. Hvala tudi gospe Diani Kobler za lektoriranje in »angleški del« naloge, ter knjižničarki Maji Božič za hiter in korekten tehnični pregled.

Zahvaljujem pa se tudi svojemu Dejanu, ki me je vzpodbujal v težkih trenutkih in mi dal vedno novega zagona za delo.

Hvala tudi Wolfgangu Restu, ker je dober prijatelj.

PRILOGE

Priloga A: Pregledna karta objektov

