

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA

Matevž MIHELČ

**GOSPODARNOST IN OKOLJSKI VIDIKI
TEHNOLOGIJ PRIDOBIVANJA LESNIH SEKANCEV
ZA ENERGETSKO RABO**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Ljubljana, 2014

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA

Matevž MIHELIČ

**GOSPODARNOST IN OKOLJSKI VIDIKI TEHNOLOGIJ
PRIDOBIVANJA LESNIH SEKANCEV ZA ENERGETSKO RABO**

DOKTORSKA DISERTACIJA

**ECONOMY AND ENVIRONMENTAL ASPECTS OF FOREST
HARVESTING FOR ENERGY BIOMASS**

DOCTORAL DISSERTATION

Ljubljana, 2014

Tini

S tem izdelkom zaključujem podiplomski študij bioloških in biotehniških znanosti, znanstveno področje gozdarstvo. Raziskave sem opravil na Oddelku za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Na seji, dne 10. septembra 2009 je senat Biotehniške fakultete odobril temo doktorskega dela, imenoval komisijo za oceno in zagovor in za mentorja določil izr. prof. dr. Boštjana Koširja.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Janez Krč
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire

Član: prof. dr. Boštjan Košir
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire

Član: prof. dr. Janez Krč
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire

Član: prof. dr. Marijan Šušnjar
Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet

Datum zagovora: 10. 2. 2014

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

Matevž Mihelič

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Dd
DK GDK 331.1+307:839.81(043.3)=163.6
KG pridobivanje lesa/tehnologije/modeliranje/poškodbe sestoja/poškodbe tal/delo v gozdu/gozdarstvo
AV MIHELIČ, Matevž, univ. dipl. inž. gozd.
SA KOŠIR, Boštjan (mentor)
KZ SI – 1000 Ljubljana, Večna pot 83
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta Podiplomski študij bioloških in biotehniških znanosti, znanstveno področje gozdarstvo
LI 2014
IN GOSPODARNOST IN OKOLJSKI VIDIKI TEHNOLOGIJ PRIDOBIVANJA LESNIH SEKANCEV ZA ENERGETSKO RABO
TD Doktorska disertacija
OP X, 274 str., 64 pregl., 70 sl., 5 pril., 435 vir.
IJ sl
JI sl / en
AI Področje proizvodnje biomase je obširno in zapleteno. Zato smo izbrali pristop usmerjen h kupcu, ki ga nato uporabljamo skozi vso proizvodno verigo – od gozda do kupca. V nasprotju z uveljavljenimi tehnologijami okroglega lesa je proizvodnja lesne biomase bolj zapletena. Razlog je predvsem v dejstvu, da je cena sekancev odvisna od več dejavnikov. Primerjali smo različne tehnologije pridobivanja biomase, predvsem smo se posvetili izvajanju del v zgodnjih redčenjih. Vhodni podatki v modelu temeljijo na več poskusnih objektih, na katerih smo raziskovali predvsem tehnologije strojne sečnje in spravila lesa z zgibnim polprikoličarjem. Z uporabo modelnega pristopa smo prikazali gospodarnost posameznih tehnologij. Ugotovili smo, da je zaslužek za izvajalca pri tehnologijah pridobivanja biomase majhen, kljub temu, da smo predvideli uporabo sodobnih tehnologij. Velik problem za razvoj tehnologij pridobivanja biomase predstavlja odsotnost trga za zelene sekance v Sloveniji. V raziskavi smo ugotavljali tudi poškodbe sestoja in tal na vseh objektih v raziskavi. Razvili in prilagodili smo dve metodi. S prvo metodo smo ugotavljali poškodbe sestoja s prilagojeno metodo krožnih ploskev. Z drugo metodo smo ugotavljali globino kolesnic na profilih ob sečnih poteh in vlakah. Pokazali smo, da so poškodbe sestoja z uporabo strojne sečnje in spravila lesa manjše kot pri klasičnih tehnologijah dela z motorno žago in traktorjem. Poškodbe tal so bile majhne in ne bi smele povzročati nepopravljivih sprememb v gozdnih tleh. Z modelom celostnega vrednotenja vplivov tehnologij smo ocenjevali tehnologije glede na kriterije ekološkega in ekonomskega vrednotenja tehnologij. Z uporabo te metode smo skušali dobiti celosten pogled na uporabo različnih tehnologij.

KEY WORD DOCUMENTATION

DN Dd
DC FDC 331.1+307:839.81(043.3)=163.6
CX forest harvesting/technologies/modeling/stand damages/soil damages/forest/forestry
AU MIHELIČ, Matevž, univ. dipl. inž. gozd.
AA KOŠIR, Boštjan (supervisor)
PP SI – 1000 Ljubljana, Večna pot 83
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty Postgraduate Study of Biological and Biotechnical Sciences, Field Forestry
PY 2014
TI ECONOMY AND ENVIRONMENTAL ASPECTS OF FOREST ENERGY BIOMASS PROCUREMENT CHAIN
DT Doctoral dissertation
NO X, 274 p., 64 tab., 70 fig, 5 ann., 435 ref.
LA sl
AL sl / en
AB The first topic discussed in the thesis is biomass production. A customer focused approach has been chosen, in which we discuss the entire production chain - from forest to customer. In contrast to more established roundwood chains, the production of chips is more demanding as the price of chips is influenced by several factors. We have used a model to compare different technologies suitable for biomass production with focus on early thinnings. The inputs into the model are literature review and case studies of different technologies. The focus of the experimental work was new cut-to-length technology that has been introduced to Slovenian conditions. The model has delivered answers to questions regarding the economy of such biomass technologies as presented in the model. It has been shown that, although using new and adapted technologies that are highly mechanized, the income for the contractor is low. A big problem for the sector is the absence of market for some high value roundwood assortments as well as green chips in Slovenia. We have also conducted surveys of stand and soil damage on all case study objects. We have developed and adapted two methods; one for determining stand damages using plots on a grid, and the second one for the determination of rut depth on profiles that were set up along the skid trail. Using these methods, we have shown that stand damages are smaller using cut-to-length technology than when skidder and chain saw are applied. Concerning soil damage we have shown that when using the cut-to-length technology in dry weather, soil compaction and rutting are not problematic and are not causing irreversible changes to forest soils. Economic and ecological data from the case studies have been applied to a model of a comprehensive evaluation of technologies. In this model we have evaluated technologies from an economic and ecological point of view in an attempt to present a more complete view of the subject.

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija	II
Key word documentation	III
Kazalo vsebine	IV
Kazalo slik	VIII
Kazalo preglednic	IX
1 UVOD.....	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	1
1.2 CILJI, NAMEN IN RAZISKOVALNE HIPOTEZE	3
2 PREGLED DOSEDANJIH OBJAV.....	6
2.1 BIOMASA.....	6
2.1.1 Obnovljivi viri energije in njihova vpetost v zakonodajo	6
2.1.2 Gozdna lesna biomasa	8
2.1.3 Lesna goriva.....	9
2.1.4 Kotli na lesno biomaso	10
2.1.4.1 Veliki kotli na lesno biomaso	11
2.1.4.2 Majhni kotli na lesno biomaso.....	12
2.1.1.1 Vsebnost vlage.....	13
2.1.1.2 Prostorninska masa	14
2.1.1.3 Velikost delcev	14
2.1.1.4 Vsebnost primesi	15
2.1.1.5 Energijska vrednost	15
2.1.1.6 Pepel	16
2.1.1.7 Vsebnost klora	17
2.1.2 Sušenje lesa.....	17
2.1.3 Stroji za izdelavo sekancev in njihov vpliv na kakovost sekancev	20
2.1.4 Viri gozdne lesne biomase.....	22
2.2 TEHNOLOGIJE PRIDOBIVANJA LESA	24
2.2.1 Tehnologije pridobivanja okroglega lesa.....	25
2.2.2 Tehnologije pridobivanja energijskega lesa	28
2.2.3 Kombinirane tehnologije pridobivanja lesa.....	30
2.2.3.1 Strategije ravnanja s sečnimi ostanki.....	31
2.3 OKOLJSKI VIDIKI PRIDOBIVANJA LESA	35
2.3.1.1 Razvoj raziskovanja poškodb stoječega drevja v Sloveniji.....	38
2.3.1.3 Primerljivost metod uporabljenih v literaturi s sodobnimi metodami uporabljenimi v Sloveniji.....	41
2.3.1.4 Dejavniki, ki vplivajo na poškodovanost dreves	42
2.3.1.5 Poškodbe mladja.....	43
2.3.1.6 Delež poškodovanih dreves v sestoji po pridobivanju lesa	44

2.3.1.7	Velikost poškodb drevja v sestoju	46
2.3.1.8	Vrste poškodb drevja v sestoju	47
2.3.1.9	Lega poškodb na drevesu	48
2.3.1.10	Starost poškodb na drevesih	49
2.3.1.11	Vpliv časa izvedbe del na poškodbe sestoja	50
2.3.1.12	Vpliv lokacije drevesa v sestoju na verjetnost poškodbe	50
2.3.1.13	Raziskave poškodovanosti dreves v Severni Ameriki	52
2.3.1.14	Raziskave poškodovanosti dreves s sodobnimi tehnologijami kratkega lesa	55
2.3.1.15	Sklep pregleda literature	59
2.3.2	Poškodbe tal	60
2.3.2.1	Tehnologije pridobivanja lesa in poškodbe tal	61
2.3.2.3	Modeliranje odnosa kolo – tla	70
2.3.2.5	Modeliranje kolesa	75
2.3.2.6	Napovedovanje globine kolesnic	79
2.3.2.7	Vplivi vožnje strojev na tla	80
2.3.2.8	Zmanjševanje negativnih vplivov vožnje na tla	85
2.4	CELOSTNO VREDNOTENJE VPLIVA TEHNOLOGIJ	90
3	METODE	91
3.1	MODEL IZRAČUNA EKONOMIČNOSTI TEHNOLOGIJ PRIDOBIVANJA GOZDNE LESNE BIOMASE	92
3.1.1	Drevo in sestoj	92
3.1.2	Sortimentacija	93
3.1.3	Gozdne prometnice	97
3.1.4	Kalkulacije	99
3.1.5.1	Metode časovnih študij	105
3.1.5.2	Motorna žaga	106
3.1.5.3	Strojna sečnja	107
3.1.5.4	Prilagojeni kmetijski traktor in zgibni traktor	107
3.1.5.5	Zgibni polprikoličar in sedlasti traktor	108
3.1.5.6	Žični žerjav	108
3.1.5.7	Sekalniki	109
3.1.6	Opis tehnologij v modelu	109
3.2	METODA UGOTAVLJANJA POŠKODB DREVJA	111
3.2.1	Ugotavljanje poškodovanosti dreves v sestojih z metodo krožnih ploskev	111
3.2.2	Ugotavljanje poškodovanosti dreves v sestojih z metodo popolnega popisa	113
3.3	METODA UGOTAVLJANJA POŠKODB TAL	114
3.3.1	Ugotavljanje nosilnosti tal	116
3.3.2	Ugotavljanje vlažnosti tal	117
3.4	UPORABA GPS SISTEMA TRIMBLE	119
3.5	METODE UGOTAVLJANJA UČINKOV IN PORABE ČASA	120
3.6	METODA CELOSTNEGA VREDNOTENJA TEHNOLOGIJ	120

3.7	OPISI POSKUSOV	124
3.7.1	Stroji za strojno sečnjo in spravilo lesa	125
3.7.2.1	Eschlböck Bieber 70 in JCB Fastrac 3230	126
3.7.2.2	Bruks 805CT in EcoLog 574B	127
3.7.2.3	Starchl MK 74 600	129
3.7.3	Poskusni objekt Trije križi	130
3.7.4	Poskusni objekt Rog (Bradačeva frata)	136
3.7.5	Poskusni objekt Osankarica	141
3.7.6	Poskusni objekt Bukovje	148
3.7.7	Poskusni objekt Mozelski Šahen	154
3.7.8	Poskusni objekt Vetrih (Mislinja)	160
3.7.9	Poskusni objekt Ljubelj	164
4	REZULTATI	170
4.1	REZULTATI MODELA BIOPERA	170
4.1.1	Tehnologija 1 – ročna sečnja in traktorsko spravilo lesa	171
4.1.2	Tehnologija 2 – strojna sečnja in spravilo lesa z zgibnimi polprikoličarji in traktorji	179
4.1.3	Tehnologija 3 – ročna ali strojna sečnja in spravilo lesa z žičnim žerjavom	187
4.2	REZULTATI UGOTAVLJANJA POŠKODB DREVES	195
4.3	REZULTATI UGOTAVLJANJA POŠKODB TAL	202
4.3.1	Konusni indeks in vlažnost tal	202
4.3.2.1	Širina sečne poti	204
4.3.2.2	Širina svetlega profila	207
4.3.2	Globina kolesnic glede na os profila	209
4.3.3	Sečni ostanki	212
4.3.3.1	Vpliv debeline vejne preproge na globino kolesnic	212
4.3.3.2	Vpliv pokritosti kolesnic s sečnimi ostanki na globino kolesnic	213
4.4	REZULTATI MODELA CELOSTNEGA VREDNOTENJA TEHNOLOGIJ	217
5	RAZPRAVA	219
5.1	MODEL BIOPERA	219
5.1.1	Pregled parametrov, ki vplivajo na izbrane tehnologije	219
5.1.2	Primerjave tehnologij	221
5.1.3	Prevoz lesnih sekancev	222
5.1.4	Ocena modela	223
5.2	POŠKODBE DREVES V SESTOJU	225
5.2.1	Primerjava poškodb dreves med klasično tehnologijo in novimi tehnologijami ..	225
5.2.2	Primerjava naših ugotovitev z raziskavami strojne sečnje iz tujine	228
5.3	POŠKODBE TAL	234
5.3.1	Konusni indeks in vlažnost tal	234
5.3.2	Širina sečne poti in svetlega profila	234
5.3.3	Motena površina	235

5.3.4	Globina kolesnic	236
5.3.5	Vejna preproga.....	239
5.4	MODEL CELOSTNEGA VREDNOTENJA TEHNOLOGIJ	240
6	ZAKLJUČKI	241
7	SUMMARY.....	247
8	VIRI	251

KAZALO SLIK

Slika 1: Vrste prometnic pri pridobivanju lesa, prirejeno po Koširju (Košir, 2002)	63
Slika 2: Oblike kontaktne površine glede na različno trdnost tal (Košir, 2010b).....	75
Slika 3: Povečanje tlaka stroja na tla zaradi spremembe naklona terena (Košir, 2010a)	77
Slika 4: Prikaz tipov kolesnic (Košir, 2010a)	82
Slika 5: Praktični test vlažnosti tal – metanje kepe tal ob čvrsto podlago (Kremer in sod., 2007)	83
Slika 6: Prikaz »W« efekta (Murgatroyd in Saunders, 2005)	87
Slika 7: Sestava modela BIOPERA (Košir in sod., 2009).....	92
Slika 8: Delež vrednosti smreke skupin A, B in C v drevesnini.....	95
Slika 9: Delež vrednosti bukve skupin A, B in C v lesni masi drevesa	95
Slika 10: Delež sečnih ostankov v bruto masi drevesa	96
Slika 11: Shematski prikaz vzorčenja ploskev na objektu.....	112
Slika 12: Metoda ugotavljanja poškodovanosti tal (Košir, 2010a).....	115
Slika 13: Penetrometer FieldScout SC900.....	116
Slika 14: Merilnik vlage tal, FieldScout TDR 300	118
Slika 15: Sistem Trimble	119
Slika 16: Sekalnik, traktor in hidravlično dvigalo Slika 17: Traktor z dvoosno prikolicco	126
Slika 18: Surovina 1 - dolgi kosi goli	127
Slika 19: Surovina 2 - metrske goli in veje.....	127
Slika 20: Sekalnik Bruks na polprikoličarju Eco Log	1275
Slika 21: Objekt po končani krčitvi.....	128
Slika 22: Surovina na skladišču- tip 2.....	129
Slika 23: Surovina tipa 1.....	129
Slika 24: Situacija objekta Trije križi	131
Slika 25: Situacija objekta, prometnic in talnih profilov na objektu Trije križi	133
Slika 26: Prikaz ploskev na katerih smo ugotavljali meritve poškodb dreves na objektu Trije križi	135
Slika 27: Prikaz situacije objekta Bradačeva frata.....	137
Slika 28: Prikaz prometnic in talnih profilov objekta Bradačeva frata.....	139
Slika 29: Situacija poskusnega objekta Osankarica.....	142
Slika 30: Prikaz sečnih poti, načina odkazila in lokacij talnih profilov na objektu Osankarica.....	145
Slika 31: Objekt Osankarica; Prikaz objektov in ploskev za ugotavljanje poškodb dreves	147
Slika 32: Prikaz situacije objekta Bukovje	149
Slika 33: Objekt Bukovje; Prikaz prometnic, objekta in lokacij talnih profilov	151
Slika 34: Objekt Bukovje; Prikaz ploskev za ugotavljanje poškodb dreves.....	153
Slika 35: Situacija objekta Mozelski Šahen.....	155
Slika 36: Objekt Mozelski Šahen; Prikaz gozdnih prometnic in talnih profilov	157
Slika 37: Objekt Mozelski Šahen; Prikaz ploskev za ugotavljanje poškodb dreves	159
Slika 38: Pregledna karta objekta Vetrih	161

Slika 39: Situacija objekta, kjer smo izvajali strojno sečnjo, prometnic ter lokacije profilov.....	163
Slika 40: Pregledna karta objekta Ljubelj.....	166
Slika 41: Situacija trase žičnice z vrisanim robom linije (poseke) in primarnimi ter sekundarnimi prometnicami.....	168
Slika 42: Vrednost drevesa smreke v tehnologiji 1 in 1 t drevesa glede na prsni premer drevesa	171
Slika 43: Vrednost drevesa bukve v tehnologiji 1 in 1 t drevesa glede na prsni premer drevesa	172
Slika 44: Shema tehnološke verige 1a	172
Slika 45: Shema tehnološke verige 1b.....	173
Slika 46: Shema tehnološke verige 2a	180
Slika 47: Shema tehnološke verige 2b.....	181
Slika 48: Vrednost drevesa smreke v tehnologiji 3 in 1 t drevesa glede na prsni premer drevesa	187
Slika 49: Vrednost drevesa bukve v tehnologiji 3 in 1 t drevesa glede na prsni premer drevesa	188
Slika 50: Shema tehnološke verige 3a	189
Slika 51: Shema tehnološke verige 3b.....	189
Slika 52: Frekvenčna porazdelitev prsni premerov dreves po posameznih objektih.....	195
Slika 53: Primerjava vseh poškodovanih in nepoškodovanih dreves po posameznih objektih	196
Slika 54: Primerjava med nepoškodovanimi in na novo poškodovanimi drevesi po posameznih objektih	197
Slika 55: Poškodovanost glede na starost poškodb vseh poškodovanih dreves po posameznih objektih	198
Slika 56: Poškodovanost glede na leto novih poškodb v sestoji po posameznih objektih.....	199
Slika 57: Poškodovanost glede na lokacijo poškodbe na drevesu po posameznih objektih	200
Slika 58: Razporeditev vseh novih poškodb po velikostnih razredih.....	201
Slika 59: Trendi spreminjanja konusnega indeksa z globino tal.....	202
Slika 60: Vrednosti konusnega indeksa glede na vlažnost tal po posameznih objektih	203
Slika 61: Primerjava globin kolesnic po objektih po sečnji.....	210
Slika 62: Primerjava globin kolesnic po objektih po spravi.....	210
Slika 63: Povprečna narinjena in stisnjena kolesnica na objektu glede na fazo pridobivanja lesa	211
Slika 64: Porazdelitev globine kolesnic po tipih glede na debelino sečnih ostankov (skupaj)	212
Slika 65: Porazdelitev globine kolesnic po tipih glede na pokritost s sečnimi ostanki (skupaj)	213
Slika 66: Debelina vejne preproge na osi sečne poti, po fazah pridobivanja lesa (skupaj)	215
Slika 67: Delež pokritosti s sečnimi ostanki na osi sečne poti, po delovnih operacijah (skupaj)	216

Slika 68: Prikaz standardiziranih vrednosti kriterijev za tehnologije v modelu	218
Slika 69: Poškodovanost glede na velikostni razred poškodbe za nove in stare tehnologije pridobivanja lesa	227
Slika 70: Povprečni konusni indeks na posameznem tipu kolesnice za vse objekte	238

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Okrajšave enot, ki jih uporabljamo v delu	XVI
Preglednica 2: Vsebnost vlage v sekancih po standardu (SISTEN14961-1, 2010)	13
Preglednica 3: Razredi prostorninske mase sekancev (SISTEN14961-1, 2010)	14
Preglednica 4: Velikost sekancev po standardu (SISTEN14961-1, 2010)	14
Preglednica 5: Vsebnost pepela v trdnih lesnih gorivih po standardu (SISTEN14961-1, 2010)	16
Preglednica 6: Vsebnost klora v trdnih lesnih gorivih po standardu (SISTEN14961-1, 2010)	17
Preglednica 7: Odstotek poškodovanih dreves v sestoji glede na različne slovenske avtorje, posest, drevesno vrsto, razvojno fazo, čas sečnje in jakost odkazila	45
Preglednica 8: Deleži odrgrnin po velikosti in metodi spravila (Ivanek, 1976).	46
Preglednica 9: Velikostni razredi poškodb dreves in delež vseh poškodovanih dreves v posameznem razredu	47
Preglednica 10: Lega poškodb pri sečnji z motorno žago in spravilu s prilagojenim kmetijskim traktorjem (Šolar, 1994)	48
Preglednica 11: Ugotovljene lokacije poškodb na drevesu v odstotkih pri različnih avtorjih, glede na sestoe in tehnologije	49
Preglednica 12: Starost poškodb glede na razvojno fazo in pravilno sredstvo slovenskih in tujih avtorjev	50
Preglednica 13: Strukturni deleži števila poškodovanih dreves v sestojih in ob vlakah glede na razvojno fazo in pravilno sredstvo (Ivanek, 1976)	51
Preglednica 14: Odstotek poškodovanih dreves glede na velikost poškodbe v posameznih velikostnih razredih in lokacijo poškodbe (Ostrofsky in Dirkman, 1991)	54
Preglednica 15: Povzetek rezultatov raziskave; Podatki o sestoji pred sečnjo in po njej ter deleži poškodovanosti glede na velikost in lokacijo poškodb dreves v sestoji (Howard, 1996)	55
Preglednica 16: Podatki o strojih in deloviščih ter gojitvenih parametrih slovenskih raziskav	56
Preglednica 17: Ugotovljeni odstotki poškodovanosti glede na posamezne razrede velikosti poškodb na drevesih	57
Preglednica 18: Rezultati raziskave (Heitzman in Grell, 2002) ter ugotovljeni odstotki poškodovanosti glede na posamezne razrede velikosti poškodb	57
Preglednica 19: Rezultati raziskave in ugotovljeni odstotki poškodovanosti ter razredi poškodovanosti dreves	58
Preglednica 20: Pregled tuje literature na temo poškodb tal in velikosti motenj	66
Preglednica 21: Pregled poškodovanosti tal v odstotkih površine objekta za kolesne traktorje in žične žerjave	66
Preglednica 22: Razponi nosilnosti tal (Saarilahti, 2002a)	73

Preglednica 23: Razdelitev razredov trdnosti tal na projektu ECOWOOD (Owende in sod., 2002)	78
Preglednica 24: Razmerja med težo in prostornino nekaterih delov drevesa v modelu (Kotar, 2003; Krajnc in sod., 2009; Košir in sod., 2010).....	93
Preglednica 25: Povprečne tržne cene po franko kamionska cesta v €/m ³ , brez DDV	96
Preglednica 26: V modelu uporabljeni koeficienti bruto plače za posamezen profil delavca (Soklič, 2013).....	100
Preglednica 27: Cene delovne ure in tipi strojev v modelu	101
Preglednica 28: Prevozne razdalje v modelu in delitev razdalje glede na kategorijo ceste.	101
Preglednica 29: Stroški prevozov v €/t glede na razdaljo prevoza pri različnih tipih tovornjakov	103
Preglednica 30: Stroški prevozov v €/GJ glede na razdaljo prevoza in vsebnost vode 30 % pri različnih tipih tovornjakov (1 t = 12,218 GJ).....	104
Preglednica 31: Stroški prevozov v €/GJ glede na razdaljo prevoza in vsebnost vode 60 % pri različnih tipih tovornjakov (1 t = 5,3776 GJ).....	104
Preglednica 32: Kombinacije tehnologij pridobivanja gozdne lesne biomase (Košir, 2012a)	110
Preglednica 33: Razredi glede na velikost poškodbe.....	111
Preglednica 34: Opisi in točkovanje kriterijev okoljske primernosti tehnologij	121
Preglednica 35: Opisi in točkovanje kriterijev ekonomske primernosti tehnologij.....	122
Preglednica 36: Podatki o poskusnih objektih.....	124
Preglednica 37: Tehnični podatki sekalnika Starchl MK 74 600 (Mihelič in Košir, 2011).	129
Preglednica 38: Povzetek odkazila v odseku 28A	132
Preglednica 39: Podatki o sestojih Z54 in Z55	136
Preglednica 40: Struktura odkazila na objektu Bradačeva frata	138
Preglednica 41: Povzetek odkazila v oddelku 39A.....	154
Preglednica 42: Povzetek odkazila v oddelku 112B (Odkazilni, 2012)	160
Preglednica 43: Osnovni tehnični podatki žičnice Syncrofalke 3 t (Mihelič in Košir, 2011).	167
Preglednica 44: Primerjava razlike med vrednostjo proizvoda in stroški pridobivanja lesa v €/t za tehnologiji 1a in 1b pri smreki, glede na različne vlažnosti končnega proizvoda	174
Preglednica 45: Primerjava razlike med vrednostjo proizvoda in stroški pridobivanja lesa v €/t za tehnologiji 1a in 1b pri bukvi, glede na različne vlažnosti končnega proizvoda	175
Preglednica 46: Razlika med nakupno ceno energije smrekovih sekancev franko kamionska cesta kupec ter stroški pridobivanja lesa za različne razdalje spravila, vlažnost in stroške prevoza lesa za tri prevozne razdalje pri tehnologiji 1.	177
Preglednica 47: Primerjava razlike med vrednostjo proizvoda in stroški pridobivanja lesa v €/t za tehnologiji 2a in 2b pri smreki, glede na različne vlažnosti končnega proizvoda	182
Preglednica 48: Primerjava razlike med vrednostjo proizvoda in stroški pridobivanja lesa v €/t za tehnologiji 2a in 2b pri bukvi, glede na različne vlažnosti končnega proizvoda	183

Preglednica 49: Razlika med nakupno ceno energije smrekovih sekancev franko kamionska cesta kupec ter stroški pridobivanja lesa za različne razdalje spravila, vlažnost in stroške prevoza lesa za tri prevozne razdalje pri tehnologiji 2	185
Preglednica 50: Primerjava razlike med vrednostjo proizvoda in stroški pridobivanja lesa v €/t za tehnologiji 3a in 3b pri smreki, glede na različne vlažnosti končnega proizvoda	190
Preglednica 51: Primerjava razlike med vrednostjo proizvoda in stroški pridobivanja lesa v €/t za tehnologiji 3a in 3b pri bukvi, glede na različne vlažnosti končnega proizvoda	191
Preglednica 52: Razlika med nakupno ceno energije smrekovih sekancev franko kamionska cesta kupec ter stroški pridobivanja lesa za različne razdalje spravila, vlažnost in stroške prevoza lesa za tri prevozne razdalje pri tehnologiji 3	193
Preglednica 53: Širine sečnih poti po posameznih fazah pridobivanja lesa in po objektih .	204
Preglednica 54: Prikaz spremembe sečnih poti po pravilu.....	205
Preglednica 55: Koeficienti širine sečne poti glede na širino stroja	206
Preglednica 56: Širine svetlega profila po posameznih fazah pridobivanja lesa in po objektih	207
Preglednica 57: Prikaz spremembe svetlih profilov po pravilu	207
Preglednica 58: Koeficienti širine svetlega profila glede na širino sečne poti	208
Preglednica 59: Delitev kolesnic na tipe glede na njihovo globino	208
Preglednica 60: Delitev kolesnic na tipe glede na njihovo globino.....	209
Preglednica 61: Povezava med globino kolesnice ter debelino in pokritostjo le-te s sečnimi ostanki	214
Preglednica 62: Vpliv absolutnih vrednosti znakov na globino kolesnice	214
Preglednica 63: V modelu upoštevane vrednosti za posamezen kriterij in tehnologijo	217
Preglednica 64: Primerjava objektov iz tuje literature z našimi objekti	230

KAZALO PRILOG

PRILOGA A: Navodila za pripravo delovišč z vidika izbire drevja za posek.....	267
PRILOGA B: Poškodbe sestoja in mladja: nosilec informacije je število drevja na ploskvi.....	268
PRILOGA C: Poškodbe sestoja: nosilec informacije je drevo na ploskvi.....	269
PRILOGA D: Značilnosti vlake – metoda vzorčenja ploskev (prilagojena švedska metoda).....	270
PRILOGA E: Značilnosti vlake – metoda vzorčenja profilov po vlakah... ..	271
PRILOGA F: Snemalni list za snemanje porabe časa zgibnega polprikoličarja... ..	272

SEZNAM UPORABLJENIH TERMINOV

Preglednica 1: Okrajšave enot, ki jih uporabljamo v delu

Enota	Okrajšava
centimeter	cm
delovna ura	du
evro	€
funtov na kvadratni inch	lb/in ²
giga joule	GJ
hektar	ha
joule	J
kilogram	kg
kilometri na uro	km/h
kilo newton meter	kNm
kilo paskal	kPa
kilovat	kW
kilovatna ura	kWh
kubični meter	m ³
kubični decimeter	dm ³
kubični centimeter	cm ³
kvadratni centimeter	cm ²
kvadratni meter	m ²
liter	l
mega joule	MJ
mega paskal	MPa
mega vat	MW
meter	m
milimeter	mm
minuta	min
nasuti kubični meter	nm ³
newton meter	Nm
obratovalna ura	ou
odstotek	%
prostorni meter	prm
tona	t
vat	W

1 čevelj = 0,304799990246 metra

V tej nalogi uporabljamo izraz skladišče za lesna goriva. Izraz označuje skladišče za lesno biomaso, ki je lahko pokrito ali nepokrito. Na njem se izvaja proizvodnja in manipulacija s sekanci, proizvodnja drv, sušenje surovine in sekancev, logistika in prodaja manjšim porabnikom. Seveda se na skladišču lahko izpusti katero izmed opisanih operacij, kar je odvisno tudi od velikosti in opremljenosti takšnega skladišča.

1 UVOD

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Raba biomase v zadnjih letih doživlja velik razcvet. V bistvu bi lahko trdili, da doživlja renesanso, saj je bila predvsem lesna biomasa pred stoletji glavna surovina za ogrevanje in predelavo. V času industrijske revolucije so vse večji pomen pridobivala fosilna goriva (premog, nafta, plin). Še danes v Evropi porabimo velike količine teh goriv.

Razlogi za povečano zanimanje za biomaso so večplastni. Dejstvo je, da cene fosilnih goriv rastejo, tudi zaradi vse večje porabe novih velesil (Kitajska, Indija), poleg tega so izpostavljene močnim sezonskim nihanjem. Narejenih je bilo več raziskav, ki opozarjajo, da zaloge nafte in ostalih fosilnih goriv niso neomejene. Poleg tega večina držav na svetu ne poseduje velikih zalog fosilnih goriv, temveč so nahajališča teh goriv razporejena po manjšem številu držav (pri nafti na primer države OPEC). Države, ki so odvisne od uvoza energentov, si želijo biti energetske neodvisne, saj dolge preskrbne poti vedno pomenijo tveganje. Poleg tega se velik del dohodka države preliva v tujino. Logična alternativa je poskus zadovoljitve energetskih potreb (v tem večji meri) iz lokalnih virov, kar s sabo prinaša tudi pozitivne učinke na zaposlovanje in razvoj domače industrije. V zadnjem času se je razvil tudi trg z izpusti CO₂, lesna biomasa pa je CO₂ nevtralna.

Glede na vse povedano so cilji Evropske unije (cilj 20/20/20) za povečevanje energetske varčnosti in poskušanju zadovoljevanja energetskih potreb iz lastnih virov logični in pričakovani, če ne že zakasneli. So pa ti cilji tudi logična posledica mednarodnih zavez, ki jih je Evropska unija sprejela. Ciljem Unije sledi tudi naša država.

Problemi, s katerimi se v gozdarsko-lesarskem sektorju srečuje Slovenija so precejšnji. Izpostaviti je potrebno drastičen upad zaposlenih v gozdarsko-lesarskem sektorju. To ni posledica boljše mehaniziranosti proizvodnje, temveč opuščanja del v gozdovih (neizvajanje zgodnjih redčenj in nege gozda), predvsem v zasebnem sektorju, kjer je raven gospodarjenja zaskrbiljujoče nizka. Poleg tega so bili v zadnjih 20 letih postopoma zapirti številni lesno-predelovalni obrati in žage. Posledice so še kako vidne tudi v gozdarstvu, saj se veliko kakovostnega okroglega lesa izvozi v tujino, od koder se k nam vrača v obliki končnih proizvodov. Dela se torej trojna škoda; domač les se izvažja, uvažja se izdelke, ljudje pa izgubljajo službe v lokalnem okolju. Gozdarstvo in lesarstvo največ služb ponudita ravno tam, kjer jih najbolj rabimo, torej v odročnih delih države. Poleg tega zaradi veliko prevozov trpi tudi ogljični odtis.

Menimo, da se bo potrebno prej ali slej vprašati, kaj je cilj in prioriteta naše države. Do takrat je stanje v sektorju proizvodnje in porabe lesne biomase dovolj nazorno. Obratov, v katerih bi rabili zelene sekance, ni. Veliki porabniki, ki uporabljajo sekance kot primarni energent, ali za sosežig, pa veliko večino sekancev uvozijo iz Hrvaške. Kot smo napisali v

eni od hipotez, o gospodarnosti tehnologij pridobivanja biomase, ki so že v osnovi manj produktivne in s težavo dajejo pozitivne rezultate, temelji gospodarnost na dolgoročnih povezavah med vsemi akterji v verigi. Skandinavski zgledi to potrjujejo.

Sedanje stanje na področju nege gozda ni vzdržno in država bi morala intervenirati. Možnosti so spodbude lastnikom gozda, višje obdavčenje neaktivnih (ali vseh) lastnikov gozda, alternativa pa je tudi razvoj trga z zelenimi sekanci, ki bi omogočil cenovno učinkovitejša redčenja. Vsekakor je bilo v zadnjih letih veliko zamujenega. Če se bomo hoteli s problemom zakasnelih redčenj soočiti ter stanje izboljšati, bomo morali poseči tudi po tehnologijah pridobivanja biomase. Ravno s tehnologijami, njihovo izbiro in njihovimi vplivi na okolje, se ukvarjamo v pričujoči nalogi.

V nalogi uporabljamo izraze (gozdna) lesna biomasa, energijski les in lesni sekanci. V izogib nesporazumom povejmo, da uporabljamo izraze zaradi lažjega poimenovanja. Izraz (gozdna) lesna biomasa se pojavlja predvsem kot poimenovanje surovine za izdelavo lesnih sekancev. Tukaj govorimo predvsem o vejah, listju (iglicah), lubju in lesu. Energijski les v tej nalogi označuje ves tehnični les ter les za mehansko in kemično predelavo (Lipoglavšek, 1980).

1.2 CILJI, NAMEN IN RAZISKOVALNE HIPOTEZE

Področje biomase je zelo široko področje, na katerem se je težko orientirati. Za razumevanje tehnologij pridobivanja gozdne lesne biomase moramo razumeti celotno verigo proizvodnje. Proizvodnja se začne v gozdu, z načrtovanjem, ob upoštevanju socialnih, ekoloških in ekonomskih rab gozda. Nadaljuje se z gojitvenimi ukrepi, s katerimi skušamo izboljšati kakovostno strukturo gozda in doseči gojitvene cilje. Izbira tehnologije in izvedba pridobivanja lesa se izvaja ob upoštevanju predhodnih korakov, in ob hkratni skrbi za ekološko primerno in ekonomsko ustrezno izvedbo.

Na tehnološke verige smo gledali z vidika proizvoda. Ta je pri tehnologijah okroglega lesa precej homogen, nanj vplivajo napake gozdnih proizvodov. Na napake lesa lahko vplivamo le v manjši meri – z dobrim poznavanjem želja kupca, katerim prilagajamo lastnosti sestojev. Potrebno je paziti predvsem na pravilno krojenje po dolžini pri iglavcih in po kakovosti pri listavcih, dobro pa moramo poznati tudi cenovno politiko.

Pri proizvodnji lesne biomase za energijo so stvari manj zapletene. Vedeti moramo, da tukaj ne prodajamo sortimentov, temveč energijo. Količina energije v enoti lesne biomase se večja z zmanjševanjem vsebnosti vlage. Ni torej vseeno, kako vlažen les pripeljemo porabniku. Poleg vsebnosti vode moramo poznati tudi lastnosti lesnih sekancev (prah, velikost) in zahteve porabnika sekancev, ki so določene z lastnostmi njegovega kotla. Poleg naštetega na lastnosti proizvoda vplivajo tudi karakteristike strojev za homogeniziranje biomase. Kontroliranje vseh teh dejavnikov je zahtevna naloga. Dobava ustrezne surovine porabnikom z različnimi (specifičnimi) zahtevami je tako zahtevna naloga, da so se v tujini in pri nas uveljavili biomasni logistični centri, ki omogočajo lažjo manipulacijo s surovino. Na teh centrih se pripravlja predvsem lesna biomasa za zahtevnejše (manjše) uporabnike. Dosežene cene so višje, kar omogoča obstoj takšnih centrov.

Zaradi zapletenosti področja smo se v *prvem vsebinskem sklopu* posvetili lastnostim lesne biomase ter jim namenili poglavje 2.1. V njem smo se dotaknili več vidikov lesne biomase, za katere menimo, da so pomembni za razumevanje področja in odločitev, katere smo sprejeli v nadaljevanju naloge.

V *drugem vsebinskem sklopu* naloge smo se ukvarjali s tehnologijami pridobivanja lesa nasploh. V poglavju 2.2 smo skušali na strnjen način podati pregled nad različnimi tehnologijami pridobivanja lesa pri nas in po svetu. Razumevanje tehnologij, sedanjega in preteklega razvoja ter tradicij v določenem prostoru je ključno za razumevanje sedanjega stanja tehnološkega razvoja v določenem delu sveta. V okviru tega vsebinskega sklopa smo odgovarjali na naslednje raziskovalne hipoteze:

1. Lesna biomasa pridobiva na strateški in ekonomski vrednosti kot dopolnilni energent prihodnosti. To zahteva razvoj posebnih, učinkovitejših tehnologij pridobivanja lesne biomase za energetske namene.
2. Gospodarnost pridobivanja lesne biomase za energetske namene je dolgoročno mogoča le ob ustreznem izboru sestojev, uvajanju sodobnih tehnologij ter dolgoročnimi povezavami z uporabniki surovine.

Odgovore na zgornji hipotezi smo iskali s pomočjo modeliranja pridobivanja biomase (poglavji 4.1 in 5.1). Z njim smo iskali odgovore na razvoj novih tehnologij pridobivanja biomase ter odgovarjali na vprašanja o gospodarnosti posameznih tehnologij. Za sestavo kakovostnega modela, ki daje dobre odgovore, smo potrebovali dobre vhodne podatke. Le-te smo pridobili na več poskusnih objektih, na katerih smo spremljali gozdno proizvodnjo in ugotavljali učinke. Objekte, njihove lastnosti in potek poskusov predstavljamo v poglavju 3.7. Zaradi hitrega tempa dela in velikih učinkov smo morali izboljšati in razviti metode ugotavljanja učinkov dela (poglavje 3.5).

V tretjem vsebinskem sklopu naloge smo se ukvarjali z vplivi tehnologij na okolje. Vplivi so zelo raznoliki, hkrati večplastni in pogosto težko merljivi. V poglavju 2.3.1 smo podali pregled literature iz področja poškodb dreves. Veliko pozornosti smo namenili preteklim raziskavam in primerljivosti metodologij. Na ta način smo namreč lahko primerjali vplive uveljavljenih tehnologij pridobivanja lesa z novejšimi tehnologijami, za katere do sedaj nismo imeli podatkov. Poškodbe tal so v primerjavi s poškodbami dreves še bolj kompleksno področje. V poglavju 2.3.2 smo podali osnove za razumevanje kompleksnosti tal, njihovih lastnosti ter vpliva teh lastnosti na prevoznost tal. Na osnovi tega smo nato predstavili načine za napovedovanje vpliva stroja na določen tip tal. V okviru tega vsebinskega sklopa smo odgovarjali na naslednje raziskovalne hipoteze:

3. Tehnologije pridobivanja lesne biomase za energetske namene morajo biti prilagojene delu v naravnem okolju s čim manjšimi negativnimi vplivi na okolje, kar sodobne tehnologije omogočajo. Sodobne tehnologije pridobivanja lesne biomase so prijaznejše do okolja kot tradicionalne tehnologije.
4. Pri izkoriščanju lesne biomase za energetske namene se ob povečani rabi srečamo z ekološkimi vplivi, ki so na nekaterih rastiščih ter ob povečani intenziteti lahko omejujoči, kar pomeni, da je velika verjetnost zmanjšanja potencialov, ki so bili izračunani na osnovi inventurnih podatkov.

Odgovore na zgornji hipotezi smo iskali s študijem literature in razvojem metod za kvantificiranje vplivov tehnologij na okolje (poglavji 3.2 in 3.3). Te metode smo nato uporabili na poskusnih objektih (poglavje 3.7). Omogočile so nam natančno ovrednotenje poškodb, ki nastajajo kot posledica uporabe tehnologij pridobivanja lesa. V iskanju

odgovorov na hipotezo 4 smo zopet se poslužili modeliranja, kjer smo uporabili pridobljene podatke in znanje ter skušali kvantificirati vplive tehnologij na okolje (poglavje 4.4).

2 PREGLED DOSEDANJIH OBJAV

2.1 BIOMASA

Obnovljivi viri energije v zadnjih letih na področju energetike močno pridobivajo na pomenu. Obnovljivi viri so viri energije, ki jih pridobivamo iz stalnih naravnih procesov. Njihova prednost je, da so lokalnega izvora in dejstvo, da raba vira energije ne izčrpa. V našem delu se ukvarjamo z rabo gozdne lesne biomase, ki je pozitivna zaradi zmanjševanja učinkov tople grede, saj je lesna biomasa CO₂ nevtralna (Krajnc in sod., 2002; Piškur in Krajnc, 2007), njen strateški pomen pa je predvsem v zmanjševanju odvisnosti od fosilnih goriv – nedavna plinska kriza.

2.1.1 Obnovljivi viri energije in njihova vpetost v zakonodajo

Pomen rabe obnovljivih virov energije ni slovenska posebnost, temveč je zavedanje o pomembnosti rabe obnovljivih virov energije pomembno tudi na mednarodni ravni. Leta 1994 je Svetovni energetske svet (World Energy Council) v svoji publikaciji napovedal, da bodo potrebe po energiji do leta 2020 močno naraščale, obnovljivi viri pa bi lahko prispevali 20 % celotne preskrbe s primarno energijo. Uspešnost uporabe obnovljivih virov je močno odvisna od vladne podpore, saj lahko brez te podpore dosežemo le 5 % preskrbe s primarno energijo.

Na pobudo Združenih narodov, ki spremljajo dogajanje na področju izpustov toplogrednih plinov, je bila sklicana Okvirna konvencija Združenih narodov o spremembi podnebja. Komisija Evropske unije je konvencijo podpisala, sprejeta pa je bila 9. maja 1992 v New Yorku. Države podpisnice konvencije so se sestale večkrat in na prvi konferenci, marca 1995 v Berlinu, sklenile, da se bodo pogajale o protokolu glede ukrepov zmanjševanja emisij v industrializiranih državah po letu 2000. Po dolgotrajnem delu je bil Kjotski protokol sprejet 11. decembra 1997 v Kjotu. Evropska skupnost je protokol podpisala 29. aprila 1998. Decembra 2001 je EU sprejela Kjotski protokol v imenu Skupnosti. Države članice so se zavezale, da bodo predložile svoje listine o ratifikaciji, hkrati s Skupnostjo, še pred 1. junijem 2002. Kjotski protokol obravnava emisije toplogrednih plinov in vsebuje obveze omejevanja in zmanjševanja emisij. Predstavlja tudi pomemben korak naprej v boju proti globalnemu segrevanju, saj vsebuje obvezujoče, količinsko opredeljene cilje za omejevanje in zmanjševanje toplogrednih plinov. Pozitivni učinki rabe obnovljivih virov in politika Evropske unije na tem področju (Krajnc, 2003) se kažejo tudi v večjem številu sprejetih dokumentov, ki se ukvarjajo z zmanjševanjem izpustov in spodbujanjem rabe obnovljivih virov energije (Green Paper, 2005; Kjotski protokol, 2002; Krajnc, 2003; White Paper, 1997)

Tudi naša država se je v več listinah zavezala k povečanju rabe obnovljivih virov, saj je podpisnica Kjotskega protokola, prav tako pa smo se k povečevanju rabe obnovljivih virov

obvezali v pogodbi ob pristopu k Evropski uniji iz leta 2003. Konkretno obveznost, ki izhajajo iz pristopne pogodbe iz leta 2003 (Pristop, 2003), so, da bomo delež obnovljivih virov energije do leta 2010 povečali na 33,6 %. Ker je naša država članica EU nas obvezujejo tudi vsi dokumenti, ki so bili sprejeti že pred vstopom v zvezo. Konkretno mislimo na Zeleno knjigo iz leta 1996, kjer je Evropska komisija kot cilj opredelila podvojitev deleža primarne energije iz obnovljivih virov do leta 2010, in na Belo knjigo iz leta 1998, s katero je načrtala akcijski plan za uresničevanje tega cilja. Od sedanjih direktiv Evropske unije je za nas najbolj zanimiva direktiva, ki postavlja cilj 20/20/20 (Communication, 2008). Cilj Unije je torej, da do leta 2020 doseže trojni cilj: privarčevati 20 % pri porabi primarne energije, za 20 % zmanjšati emisije toplogrednih plinov ter za 20 % povečati delež obnovljivih virov energije. Cilji se razlikujejo med državami. Za Slovenijo ta cilj pomeni, da do leta 2020 dosežemo najmanj 25 % delež obnovljivih virov v rabi bruto končne energije. Glede na dejstvo, da je Slovenija v izhodiščnem letu 2005 dosegala 16 % delež obnovljivih virov, je potrebno povečanje deleža za 9 %. V naši državi od obnovljivih virov energije porabimo največ lesa – 53 %, sledi hidro energija z 39 %, ostalih 8 % pa porabimo tekočih biogoriv, geotermalne energije, bioplina in sončne energije (Krajnc, 2010; NEP, 2011).

V državi imamo tudi notranje akte, ki posegajo na to področje. Naj omenimo samo Nacionalni energetski program (NEP, 2003) in Resolucijo o nacionalnem energetskem programu (ReNEP, 2004).

Vidimo lahko, da so zastavljeni cilji precej ambiciozni. Slovenija se pri povečevanju deleža obnovljivih virov v energetski bilanci (Plavčak, 2011) močno zanaša na uporabo gozdne lesne biomase, kar je logično, saj večino države pokriva gozd. Glede na dejstvo, da je današnja tehnologija rabe lesne biomase koncentrirana na skladišča in druge vire že zbrane biomase (Košir in sod., 2009) in na dejstvo, da se večina te lesne biomase že sedaj porabi za druge namene (Krajnc in Piškur, 2006; Žgajnar, 1996) lahko trdimo, da bo država večji del potreb po surovini za doseganje ciljev morala dobiti iz drugih virov. Eden največjih še relativno neizkoriščenih virov je gozd, oziroma sečni ostanki (Košir, 1996a).

Obstaja več ocen o rabi in razpoložljivosti gozdne lesne biomase za energetske rabo pri nas (Drigo in Veselič, 2006; Robek in sod., 1998) in vse predvidevajo, da so potenciali veliki. Pri ugotavljanju teoretičnih potencialov je potrebno biti previden. Dejanski potencial lesne biomase je namreč manjši od teoretičnega zaradi več dejavnikov. Rabo omejujejo načela gospodarjenja z gozdovi, ki ponekod ne dovoljujejo uporabe celotne biomase, ki je na voljo v gozdu, saj bi tako lahko škodili okolju. S tem problemom sta se pri nas ukvarjala Grbec (Grbec, 2009) in Simončič (Simončič in sod., 2013), iz tujine pa so znani nekateri zgledi pristopanja k temu problemu (Erler, 2013; Genet in Nicholas, 2008). Razvitih je več modelnih pristopov za ugotavljanje gibanja hranil v tleh. Pravzaprav se je modeliranje prenosa hranil v zadnjih letih razvilo v svoje področje (Palviainen in Finér, 2012; Palviainen

in sod., 2004). Omejitve so tudi pri tehnologiji pridobivanja lesa, saj tehnologija zmore več, kot lahko prenese gozdni ekosistem. Na potencial vpliva tudi trg gozdnih lesnih proizvodov, ki z razmerjem med stroški pridobivanja in ceno biomase (sortimentov) vpliva na to, kaj je mogoče izkoristiti. Na dejanski potencial pa vplivajo tudi socio-ekonomske razmere lastnikov gozdov in iz tega izhajajoč odnos do gozda (Pogačnik in Krajnc, 2000b).

Simončič (Simončič, 2013) je pri nas ugotavljal iznos hranil iz gozda z uporabo modelov, veljavnih za evropske razmere ob upoštevanju parametrov starosti sestoja (60 let) in drevesne vrste. Ugotovil je, da ob intenzitetah redčenj, ki so za našo državo značilne (med 20 in 40 %), pri uporabi drevesne metode (odvzem listja, vej in debla) ne povzročamo siromašenja tal z dušikom. Do 40 % intenzitete sečnje iz gozda ne odvajamo niti polovice suhe snovi.

2.1.2 Gozdna lesna biomasa

Pojem biomase uporabljamo za opredelitev vse organske snovi. Lahko jo definiramo, kot celotno maso rastlinskega, živalskega organizma, populacije ali celotne biocenoze na enoto površine ali prostornine v določenem času. Energetika obravnava biomaso kot snov, ki jo lahko uporabimo kot vir energije. Z energetskega vidika ločimo (Pogačnik in Krajnc, 2000b):

- les in lesne ostanke (lesna biomasa),
- ostanke iz kmetijstva,
- nelesne rastline uporabne za energijo,
- ostanke pri proizvodnji industrijskih rastlin,
- sortirane odpadke iz gospodinjstev,
- odpadne gošče in usedline,
- organsko frakcijo mestnih komunalnih odpadkov,
- odpadne vode živilske industrije.

Skupino lesne biomase lahko razdelimo še bolj podrobno (Pogačnik in Krajnc, 2000b):

- les iz gozdov,
- les iz površin v zaraščanju,
- les iz kmetijskih in urbanih površin,
- lesne ostanke primarne in sekundarne predelave lesa,
- odslužen in neonesnažen les.

V našem delu se ukvarjamo z gozdno lesno biomaso, kar pomeni, da nas primarno zanima les iz gozdov in s površin v zaraščanju.

V svojem delu je Košir (Košir, 1996a) razdelil vire biomase, ki izvirajo iz gozda na dve skupini:

- Lesna biomasa, ki pride iz gozda v obliki različnih proizvodov, predvsem sortimentov, namenjenih nadaljnji mehanski ali kemični predelavi. Pri predelavi nastanejo večje količine odpadkov (nadmera, drevesna skorja, ostanki žaganja), ki so primerni za energetske rabo. Ta biomasa predstavlja stranski oziroma vezan proizvod. Med »klasičnimi« gozdnimi proizvodi so le drva namenjena direktni rabi za energijo.
- Lesna biomasa, katere s klasičnimi tehnologijami pridobivanja okroglega lesa ne odstranjujemo iz gozda. Ta biomasa, ki ostaja v gozdu v obliki sečnih ostankov, je razpršena na veliki površini in ima nizko tržno vrednost. Če jo hočemo izkoristiti moramo prilagoditi tehnologije pridobivanja lesa.

2.1.3 Lesna goriva

Naslednje definicije lesnih goriv temeljijo na evropskem standardu (SISTEN14588, 2010). Našteta goriva so primarna, torej so narejena v gozdu ali na skladišču.

- **Drva:** les, ki je razžagan in po potrebi cepljen z namenom energetske izrabe v napravah, kot so peči, kamini ali kotli za centralno ogrevanje individualnih hiš oziroma stanovanj. Drva imajo praviloma določeno dolžino, od 150 do 1000 mm.
 - **Polena:** energijski les, nasekan z ostrimi sekalnimi ali cepilnimi napravami, pri čemer ima večina gradiva dolžino od 150 do 500 mm.
 - **Cepanice:** energijski les, razcepljen in razžagan večinoma na dolžino 500 mm ali več,
 - **Okroglice:** energijski les, razžagan večinoma na dolžino 500 mm ali več.
- **Lesni sekanci:** nasekana lesna biomasa v obliki koščkov z določeno velikostjo delcev, ki se izdelujejo z mehansko obdelavo z ostrim orodjem, kot so noži. Lesni sekanci so nepravilne pravokotne oblike in značilne dolžine od 5 do 50 mm ter z majhno debelino v primerjavi z drvami.
 - **Grobi lesni sekanci:** les, nasekan z ostrimi sekalnimi napravami, pri čemer je dolžina večine delcev bistveno daljša kot pri lesnih sekancih, oblika pa je bolj robata. Značilna dolžina grobih lesnih sekancev znaša od 50 do 150 mm.
 - **Grobi lesni drobir:** energijski les v obliki koščkov različnih velikosti in oblik, ki se proizvajajo z lomljenjem in drobljenjem s topim orodjem, kot so valji ali kladiva.

Poleg zgoraj navedenih lesnih goriv poznamo še lesne pelete in brikete, ki jih štejemo med sekundarne vire. Ta lesna goriva so industrijsko predelana (stisnjena) v primerne oblike.

- **Lesni peleti** so stisnjeno biogorivo valjaste oblike, dolžine do 20 mm in premera od 6 do 8 mm. Za izdelavo peletov se uporabljajo predvsem lesni prah, žaganje, oblanci, ostružki, slama, koruznica, trstičje, pa tudi papir in tekstil. Standardi ne dovoljujejo dodajanja umetnih lepil in veziv.
- **Lesni briketi** so stisnjeno biogorivo, brez umetnih lepil in veziv. Briketi so različnih dimenzij, cilindrične, poliedrične ali kvadratne oblike. Vsebnost vlage v briketih mora biti nižja od 15 %.

V Sloveniji za energetske potrebe porabimo največ drv. Ocenjujejo, da smo za drva v letu 2010 porabili 1.104.000 m³ lesa, v letu 2011 pa 1.336.000 m³ lesa (SURS, 2012). Večina proizvodnje izhaja iz zasebnih gozdov, iz državnih pa le 16 %. Večina lesa, kar 80 %, izvira iz gozdov, sečni ostanki predstavljajo le 2 % skupnih količin (Krajnc in Piškur, 2009b).

V letu 2007 smo proizvedli 460.000 nm³ sekancev (Krajnc in Piškur, 2009a), leta 2010 pa že kar 850.000 nm³. V istem obdobju se je število sekalnikov povečalo za 97 %, torej iz 62 sekalnikov v letu 2007 na 122 v letu 2010. Kot vhodno surovino se je v 31 % uporabljalo okrogel les in les slabše kakovosti, v 69 % pa sečne ostanke, lesne ostanke iz industrije in odslužen les. Večina sekalnikov (60 %) je srednje velikosti z zmogljivostjo med 5 in 50 m³/h velikih sekalnikov z zmogljivostjo nad 50 m³/h pa je 36 %. Zanimivo je, da veliki sekalniki naredijo večino sekancev (Krajnc in Čebul, 2012). Povprečna poraba lesne biomase v večjih sistemih je znašala nekaj več kot 340.000 t. Največji porabniki trdnih lesnih goriv sta bili v letu 2008 Termoelektrarna Šoštanj in Termoelektrarna Trbovlje, ki sta večinoma uporabljali pelete in brikete. Termoelektrarna toplarna Ljubljana je prešla na sosežig lesnih sekancev in premoga, a ni imela večjega vpliva na trg pri nas, saj uporabljajo sekance iz uvoza. V letu 2012 so porabili 65.000 t sekancev v kurilni sezoni in so drugi največji porabnik v državi. V obeh največjih kotlih se uporabljajo le kakovostni sekanci, z vsebnostjo lubja do 25 %, vsebnostjo iglic do 10 % in vsebnostjo vlage od 20 do 55 %. Izdelava takšnih sekancev je mogoča samo iz okroglega lesa (celulozni les, tehnični les, goli).

V državi smo leta 2011 imeli na voljo več kot 61 cepilnikov (moči nad 15 t) in 47 žagalno cepilnih strojev ter 119 sekalnikov. Težave pa so z izkoriščenostjo sekalnikov, saj so najbolj produktivni veliki sekalniki, medtem ko je vpliv manjših sekalnikov na trg majhen (Krajnc in Čebul, 2012). Cepilniki so manjši stroji, ki drva cepijo na polena, žagalno cepilni stroji pa poleg cepljenja opravljajo tudi prežagovanje goli v zelene dolžine.

2.1.4 Kotli na lesno biomaso

V kotlih na lesno biomaso poteka proces izgorevanja lesa. Izgorevanje lesa je sestavljeno iz štirih podfaz (Pogačnik in Krajnc, 2000c):

- **Sušenje** poteka pri temperaturah do 100°C. V tej fazi iz lesne biomase izhlapeva voda.
- **Uplinjanje** poteka pri temperaturah od 100 do 160°C, iz energenta izhajajo gorljivi lesni plini.
- **Gorenje** poteka pri temperaturah od 150 do 600°C. Odvija se oksidacija in piroliza trdnih delov lesne biomase, še naprej se sprošča lesni plin.
- **Dogorevanje** poteka pri temperaturah nad 600°C. V tej fazi dogorevajo lesni plini.

V starih kotlih na lesno biomaso potekajo le prve tri faze, v sodobnih kotlih pa se dogajajo vse štiri faze. Vsi sodobni kotli (veliki in majhni) za direktni sežig lesne biomase imajo

sekundarno kurišče, kamor se dovaja sekundarni zrak za učinkovito dogorevanje. Na ta način močno zmanjšamo emisije ogljikovodikov in ogljikovega monoksida ter povečamo izkoristke.

Pri proizvodnji lesne biomase moramo vedeti nekaj tudi o kotlih, njihovih lastnostih in omejitvah. S tem ne mislimo na izkoristke kotlov in izgube v omrežjih, temveč predvsem na zahteve ki jih imajo različni kotli in podajalni sistemi do vhodne surovine. Poznamo več velikosti kotlov. Glede na slovensko zakonodajo ločimo mikro naprave do velikosti 50 kW, male naprave od 50 kW do 1 MW, srednje kotle od 1 MW do 10 MW in velike naprave z nazivno močjo nad 125 MW (ANOVE, 2010). Delitev naprav je več, vsaka država ima drugačne delitve, mi smo se odločili, da bomo uporabili to delitev, ki je v skladu s slovenskimi zakonskimi akti o izpustih toplogrednih plinov.

2.1.4.1 Veliki kotli na lesno biomaso

Pri velikih napravah ločimo več načinov delovanja. Lesno biomaso lahko uplinimo (Nordenkamp in sod., 2004; Paisley in sod., 2004; Patel in Salo, 2004) ali pa direktno sežgemo. Ekonomiko velikih naprav v veliki meri določa velikost naprave in oddaljenost surovine (Cameron in sod., 2004), velikost investicije, cena energenta, kakovost energenta in število obratovalnih ur (Oberberger in sod., 2008).

V Evropi je več kot 150 velikih CHP (ang. Combined Heating Plant) sistemov, ki kot energent uporabljajo lesno biomaso. Pri velikih sistemih so v uporabi sekanci, ki so cenejši od peletov in briketov. Kar 61 % sistemov uporablja sekance, ki izvirajo iz gozda ali industrije. Ostali energenti so zastopani v manjših deležih. Za proizvodnjo energije sistemi v 59 % uporabljajo parno turbino, v 18 % parni stroj, plinske turbine so zastopane z 9 %, ostalih tehnologij pa je manj kot 14 % in so še v razvoju. Veliki sistemi so skoncentrirani na severu Evrope, medtem ko je v srednji Evropi več manjših sistemov (>1 MW) (Jungmeier in sod., 2004).

Veliki sistemi za neposredni sežg biomase delujejo na principu suspenzijskega sežiga za homogeno maso ali na principu pomične rešetke, ki je neobčutljiva na homogenost energenta. Vsebnost vode v sekancih za takšne kotle je lahko med 40 in 55 % (Jørgensen in Hansen, 2004). Razlog za tako visoko vsebnost vode je v dejstvu, da se na pomični rešetki najprej odvija proces sušenja, sledi uplinjanje in nato gorenje (Berge in sod., 2004). Dogorevanje poteka v sekundarnem kurišču, ki je v večini primerov locirano nad rešetko.

Pri velikih sistemih podajanje goriva ne predstavlja večjih težav. Sistem za podajanje lesne biomase deluje na principu potiskanja – hidravlični bat biomaso potiska na tekoči trak, od tod pa potuje v kotel. Pri večjih izvedbah in komunalnih sežigalnicah je podajanje možno tudi z hidravličnim dvigalom.

2.1.4.2 Majhni kotli na lesno biomaso

Ko govorimo o majhnih kotlih, imamo v mislih mikro in majhne sisteme. Takšni sistemi se uporabljajo za ogrevanje individualnih hiš (mikro sistemi) ali skupinsko ogrevanje manjšega števila hiš (majhni sistemi). Pri teh sistemih lahko uporabimo več oblik lesnih goriv. Uporabimo lahko primarna (drva, sekanci) ali sekundarna (peleti, briketi) lesna goriva. Sodobni kotli na polena zahtevajo ročno polnjenje, medtem ko se je udobje peči na lesne sekance in pelete izenačilo z udobjem pri uporabi kurilnega olja ali zemeljskega plina, saj ti kotli nudijo popolnoma avtomatizirano delovanje (Krajnc in Pogačnik, 2000).

Pri uporabi lesnih sekancev potrebujemo poleg kotla še zalogovnik za sekance in polžast prenosni sistem za dovajanje sekancev v kotel, kar poveča začetno investicijo. Zalogovnik za sekance mora biti suh in zračen. V nasprotnem primeru je večja nevarnost samovžiga vlažnih sekancev in razvoja človeku nevarnih gliv. Poznamo več izvedb polžastega prenosnega sistema, ki morajo biti opremljene z varnostnim sistemom, ki onemogoča povratni oženj. Pri polžastih sistemih imamo lahko težave s podajanjem sekancev, če ti vsebujejo večje kose lesa od predpisanih. V tem primeru nam takšen kos ustavi delovanje polža in podajanje sekancev se ustavi. Pri izdelavi sekancev je torej pomembno upoštevanje standarda, ki specificira lesna goriva in njihove razrede (SISTEN14961-1, 2010).

Kotli za kurjenje z lesnimi sekanci imajo različne izvedbe kurišča. Poznamo predkurišče, retortno kurišče in rešetkasto kurišče. Prednost predkurišča je, da ga lahko dogradimo k obstoječemu kotlu in služi kot izgorevalni prostor za sekance. Kurišče z rešetkami je enostavno. Na rešetke polž s strani dovaja sekance, sekanci tam gorijo in predajajo energijo na izmenjevalec toplote, ki se pogosto nahaja nad rešetko. Retortna kurišča so najbolj zapletena. Polž potiska sekance v kurišče v obliki krožnika, kjer poteka gorenje. Pri rešetkastih in retortnih kuriščih je, podobno kot pri polenih, izgorevalni prostor razdeljen na dva dela. V primarnem kurišču izgorevajo sekanci, sekundarno kurišče pa z dovajanjem dodatnega zraka omogoča popolno zgorevanje. Tako dosežemo večji izkoristek in manjše onesnaževanje (Krajnc in Pogačnik, 2000; Strehler, 2000).

Zaradi oblike kurišča so manjši kotli bolj občutljivi na vsebnost vode v sekancih kot večje naprave. Največja vsebnost vode za kotle znamke KWB (Kraft und Wärme aus Biomasse GmbH) nazivne moči med 15 in 100 kW, je vsebnost vode po standardu 30 %, za večje naprave, nazivne moči od 130 do 300 kW, pa je zagotovljena nazivna moč do vsebnosti vode 30 %, nato pa sledi zmanjšanje zmogljivosti, kar ni dobro za kotel (korozija) niti za uporabnika, kateremu kotel dostavlja manj energije (KWB, 2012). Znano je, da morajo kotli obratovati tem bližje 100 % obremenitvi, saj drugače ne delajo dobro (Strehler, 2000). Kot smo že omenili, so večji sistemi, zaradi pomičnih rešetk, na višjo vlago lesne biomase manj občutljivi (faza sušenja je daljša), poleg tega pa pri velikih sistemih pogosto obstaja možnost mešanja surovine (bolj suha, manj suha). V nekaterih komunalnih aplikacijah so dograjeni tudi gorilci na fosilna goriva, saj evropski predpisi zaradi emisij ne dovoljujejo, da

temperatura na dnu kotla pade pod 580°C. Če je energent preveč vlažen, se ti gorilci avtomatsko prižgejo in temperaturo kurišča dvignejo.

2.1.1 Lastnosti sekancev in njihov vpliv na kotle

Najpomembnejše fizične lastnosti sekancev so vsebnost vlage, gostota nasutja, velikost delcev (veliki delci in prah) in vsebnost drugih (nelesnih) delcev. Najpomembnejše kemične lastnosti pa so kurilna vrednost, vsebnost pepela in klora.

2.1.1.1 Vsebnost vlage

Glede vsebnosti vlage v lesni biomasii ločimo dva pojma:

- Vsebnost vode (w [%]) je razmerje med maso vode in skupno maso lesa in vode. Ta pojem uporabljamo, kadar se pogovarjamo o trženju lesnega goriva, uporabljamo pa ga tudi v našem delu.
- Vlažnost lesa (u [%]) je razmerje med maso vode in maso popolnoma suhega lesa.

Vsebnost vode povzemamo po standardu (SISTEN14961-1, 2010). Po standardu ločimo 11 razredov. V razredih od M10 do M20 so sušeni sekanci, v razredih od M25 do M35 so sekanci primerni za skladiščenje, pri razredih nad M40 pa je skladiščenje omejeno, zaradi možnosti poslabševanja kakovosti surovine zaradi procesov, ki potekajo v sekancih.

Preglednica 2: Vsebnost vlage v sekancih po standardu (SISTEN14961-1, 2010)

Oznaka	Vsebnost vlage [%]
M10	≤ 10
M15	≤ 15
M20	≤ 20
M25	≤ 25
M30	≤ 30
M35	≤ 35
M40	≤ 40
M45	≤ 45
M50	≤ 50
M55	≤ 55
M55+	> 55

Metod za ugotavljanje vlažnosti sekancev je več. Uporabljamo metodi, opisani v standardih (SISTEN14774-1, 2010; SISTEN14774-2, 2010).

2.1.1.2 Prostorninska masa

Metode za ugotavljanje prostorninske mase sekancev so opisane v standardu (SISTEN 15103:2010, 2010). Prostorninska masa sekancev je pomembna, saj nam pove, koliko kilogramov sekancev je v enem nasutem oziroma kubičnem metru. Razdelitev v razrede prostorninske mase povzemamo po standardu (SISTEN14961-1, 2010). Sekancev za ugotavljanje prostorninske mase ne sušimo, ampak jo ugotavljamo na svežih sekancih.

Preglednica 3: Razredi prostorninske mase sekancev (SISTEN14961-1, 2010)

Oznaka (Razredi)	Prostorninska masa BD [kg/nm ³]
BD150	≤150
BD200	≤200
BD250	≤250
BD300	≤300
BD350	≤350
BD400	≤400
BD450	≤450
BD450+	>450

2.1.1.3 Velikost delcev

Sekance po velikosti delcev delimo v šest razredov oziroma na štiri glavne razrede (P16, P45, P63 in P100).

Preglednica 4: Velikost sekancev po standardu (SISTEN14961-1, 2010)

Oznaka (Razredi)	Glavna frakcija min 75% [mm]	Delež finih delcev manjših od 3,5 mm [%]	Max dolžina delca [mm]
P16A	$3,15 \leq P \leq 16$	≤ 12	< 31,5
P16B	$3,15 \leq P \leq 16$	≤ 12	< 120
P45A	$8 \leq P \leq 45$	≤ 8	< 120
P45B	$8 \leq P \leq 45$	≤ 8	< 350
P63	$8 \leq P \leq 63$	≤ 6	< 350
P100	$16 \leq P \leq 100$	≤ 4	< 350

Po standardu mora biti večina mase sekancev znotraj določenega intervala glede na razred velikosti. Posebej sta izpostavljeni fina in groba frakcija. Groba frakcija lahko povzroča probleme pri doziranju goriva s polžastim podajalnikom. Prav tako imajo veliki delci tendenco, da premostijo prazen prostor (ang. bridging tendency). Praktično to pomeni, da se pod takšnimi kosi lahko tvorijo velike praznine nad tekočim trakom za podajanje sekancev (Jensen in sod., 2004).

Tudi količina fine frakcije mora biti nizka. Velika količina prahu namreč povzroči težave s prašenjem na skladišču, kar lahko pripelje do prašnih eksplozij. Z vidika proizvajalca lahko prevelik delež grobe frakcije pomeni, da potrebuje sekalnik s siti, ki omogočajo bolj

homogen material, visok delež fine frakcije pa lahko kaže na slabo kakovostjo vhodne surovine ali na slabo nabrušene nože. Podrto razmerje med frakcijami lahko pripelje tudi do težav z izgorevanjem. Fina frakcija se namreč vžge hitro in tudi hitro izgori, medtem ko se grobi delci vžgejo kasneje in tudi dalj časa gorijo. Če je torej v sekancih preveč fine frakcije, lesna biomasa izgori hitro in tudi hitro odda toploto, če je preveč grobe frakcije pa gorenje traja dolgo časa. Iz tega lahko sklepamo, da je pomembno tudi razmerje med delci. Velikost delcev določamo s sejanjem po metodah, ki so opisane v standardih za sejanje sekancev (SISTEN15149-1, 2011; SISTEN15149-2, 2011).

2.1.1.4 Vsebnost primesi

Glavna prednost gozdne lesne biomase je, da ne vsebuje različnih primesi, ki bi vplivale na delovanje kotla. Prav tako se pri izgorevanju ne sproščajo toksični plini, kot je to primer pri uporabi lesne biomase iz komunalnih virov. Gozdna lesna biomasa sicer vsebuje primesi zemlje in kamenja, ki sta močno inertna in ne povzročata večjih težav v kotlih. Temu ni tako, če energent vsebuje kovine, saj se lahko pod vplivom visokih temperatur kovina stali in povzroča težave na pomični rešetki. Težavi se lahko izognemo z uporabo bobna za sortiranje delcev z magnetom. Primesi plastike ali lepil (iverne plošče) negativno vplivajo na izpuste, saj se pri izgorevanju teh snovi sproščajo različne škodljive snovi. Veliko držav komunalne odpadke sežiga (Japonska, Avstrija), a to delajo v posebnih sežigalnicah s posebnimi filtri dimniških plinov in na ta način zmanjšujejo emisije. Pri navadnih kotlih na biomaso večjih kapacitet takšni filtri niso potrebni, večinoma zadostuje le filter prašnih delcev.

Ostanki gozdne lesne biomase vsebujejo le kamenje in zemljo, ki prideta v energent med vlačanjem lesa ali pa pri nalaganju surovine v sekalnik s hidravličnim dvigalom. Oba materiala sta inertna in ne povzročata težav pri kotlih in emisijah, nekoliko večja pa je količina pepela.

2.1.1.5 Energijska vrednost

Metode za ugotavljanje energijske vrednosti trdne biomase so opisane v standardu (SISTEN14918, 2010). Energijska vrednost energenta izraža količino energije, ki se sprosti med popolnim izgoretjem enote mase goriva (Krajnc in sod., 2009).

Zaradi vsebnosti vode v lesu ločimo kurilnost in zgorevalno toploto:

– **Kurilnost** H_i (ang. net caloric value) označuje količino toplote, ki jo dobimo z izgorevanjem goriva, če dimne pline ohlajamo do temperature rosišča vodne pare, ki je v dimnih plinih. Voda, ki se sprošča, se šteje kot para, kar pomeni, da smo odšteli toplotno energijo, nujno za spremembo vode v paro.

– **Zgorevalna toplota** H_s (ang. gross calorific value) označuje toploto, ki se sprosti pri gorenju, vključno s toploto vodne pare v dimnih plinih (latentna toplota). V produktih izgorevanja se voda šteje kot tekočina.

Pri lesni biomasi se kurilnost enega kilograma sušilnično suhega lesa različnih drevesnih vrst zelo malo razlikuje. Interval je med 18,5 in 19 MJ/kg. Kurilnost je pri iglavcih za 2 % višja kot pri listavcih, zaradi višje vsebnosti lignina, smol, voska in olj (Krajnc in sod., 2009). Po podatkih iz standarda (SISTEN14961-1, 2010) je značilna vrednost kurilnosti sušilnično suhega lesa brez skorje za iglavce $19,2 \pm 6$ MJ/kg, za listavce pa $19,0 \pm 3,5$ MJ/kg. Kurilnost skorje je pri iglavcih in listavcih 20 ± 1 MJ/kg. Kurilnost sečnih ostankov iglavcev je nekoliko večja ($20 \pm 2,5$ MJ/kg) kot pri listavcih $19 \pm 3,5$ MJ/kg.

Na kurilnost torej vplivajo gostota lesa, kemična sestava drevesnih vrst in del drevesa, ki ga uporabimo za izdelavo lesne biomase. Poleg teh dejavnikov na kurilnost vpliva tudi zdravstveno stanje lesne biomase. Če v biomasi potekajo procesi trohnenja ali fermentiranja, se kurilna vrednost zmanjšuje (Krajnc in sod., 2009).

2.1.1.6 Pepel

Metode za ugotavljanje vsebnosti pepela v trdni biomasi so opisane v standardu (SISTEN14775, 2010). Pepel delimo v dve skupini, na usedline in leteči pepel. Usedline predstavljajo večji del pepela. Nabira se pod kuriščem in se steka v rezervoar za skladiščenje pepela. Leteči pepel izhaja iz zgorelega plina. V njem so večje koncentracije svinca, kadmija in cinka, ki negativno vplivajo na okolje (Krajnc in sod., 2009).

Les ima med trdnimi biogorivi najmanjšo vsebnost pepela. Pri izgorevanju prihaja na dnu žerjavice do nekaterih sprememb v pepelu. Z višanjem temperature se namreč začne taljenje žerjavice, ki traja, dokler vsi delci niso popolnoma staljeni. Če uporabljamo energent z nizko taljivostjo pepela, se z višanjem temperature poveča tveganje za nastanek žlindre. Ker imata les in skorja visoko tališče (1.300 do 1.400 °C), težav z nastajanjem žlindre ni (Krajnc in sod., 2009).

Preglednica 5: Vsebnost pepela v trdnih lesnih gorivih po standardu (SISTEN14961-1, 2010)

Pepel (A)	Delež suhe snovi [%]
A 0,5	$\leq 0,05$
A 0,7	$\leq 0,7$
A 1,0	$\leq 1,0$
A 1,5	$\leq 1,5$
A 2,0	$\leq 2,0$
A 3,0	$\leq 3,0$
A 5,0	$\leq 5,0$
A 7,0	$\leq 7,0$
A 10,0	$\leq 10,0$
A 10,0+	$> 10,0$

2.1.1.7 Vsebnost klora

V Sloveniji je v lesni biomasi precejšnja koncentracija klora (Humar, 2010). Klor je nevaren predvsem za uporabnika peči, saj je klor zelo strupen plin in lahko povzroči hude zdravstvene težave. Metoda za ugotavljanje klora je opisana v standardu (SISTEN15289, 2011).

Preglednica 6: Vsebnost klora v trdnih lesnih gorivih po standardu (SISTEN14961-1, 2010)

Klor (Cl)	Vsebnost klora [%]
Cl 0,02	≤0,02%
Cl 0,03	≤0,03%
Cl 0,07	≤0,07%
Cl 0,10	≤0,10%
Cl 0,10+	>0,10%

2.1.2 Sušenje lesa

V lesu sta dva tipa vode; prosta voda, ki ni vezana na lesno snov in vezana voda, ki se nahaja v celičnih stenah. Les začne oddajati vodo takoj po sečnji. Prosta voda izhlapeva do ravnotežne vlažnosti približno 30 %, nato pa začne izhlapevati tudi vezana voda. Ko izhlapeva vezana voda, postane les higroskopski. Takrat se začneta spreminjati tudi volumen in dimenzije lesa.

Glede na vsebnost vode v lesu ločimo (Pogačnik in Krajnc, 2000a):

- svež les, ki ima takoj po sečnji vlažnost nad 40 %,
- gozdno suh les, ki predstavlja les sušen približno pol leta in ima vlažnost od 20 do 40 %,
- zračno suh les, ki je bil dalj časa sušen na zračnih skladiščih in ima vlažnost do 15 %,
- tehnično suh les, ki je bil umetno sušen ima vlažnost od 6 do 12 %.

Voda v lesu zmanjšuje kurilno vrednost, zato skušamo količino vode v energetske lesu čim bolj zmanjšati. S povečevanjem vsebnosti vode v lesu se niža energijska vrednost lesa, saj se del energije, ki se sprosti med procesom izgorovanja, porabi za izparevanje vode. Za izhlapevanje kilograma vode se porabi 2,44 MJ energije, kar pomeni, da se na 10 % vode v lesu kurilna vrednost zmanjša za 12 %. Metod za zmanjševanje količine vlage v lesu je več (sušenje v sušilnicah, pečeh), a najcenejša metoda je vsekakor sušenje lesa v gozdu ali na skladišču (skladišče za lesna goriva ali pri uporabniku). Sušenje na naravni način je vsekakor tradicionalna metoda, saj se drva sušijo vsaj eno leto. Metoda je poceni, njena omejitev pa je vsekakor mera, do katere lahko les posušimo.

Na sušenje lesne biomase vpliva več dejavnikov (Brand in sod., 2011):

- velikost (frakcija) sušenega materiala,
- način priprave kupa za sušenje,

- geografska lokacija,
- (letni) čas sečnje; količina vlage v lesu sezonsko niha, odvisna je tudi od drevesne vrste, saj imajo nekatere vrste borov (*Pinus taeda*) in nekatere vrste evkaliptusov najnižjo vlago poleti in spomladi,
- (letni) čas shranjevanja (sečnja pozimi in zgodaj spomladi ter sušenje čez poletje najmočnejše zmanjša vsebnost vlage),
- vsebnost vlage med shranjevanjem,
- drevesna vrsta.

Les je naraven material. Zato med procesom shranjevanja v njem potekajo spremembe, oziroma z drugimi besedami procesi razkrajanja. Te spremembe se začnejo dogajati že takoj po sečnji. Z oksidacijo in encimskimi procesi se najprej razgrajujejo lesni ekstraktivi, to so maščobe, alkoholi, voski, terpeni, fenoli, flavonoidi, alkani, proteini in preprosti sladkorji. Svoje seveda dodajo tudi bakterije in glive. Ti procesi lahko povzročijo povečanje količine vode v lesni biomasi. Posledica teh procesov je zmanjšanje količine suhe snovi in posledično zmanjšanje kurilnosti. Ti procesi so hitrejši v materialih, ki so bolj drobni (Brand in sod., 2011; Garstang in sod., 2002). S shranjevanjem in sušenjem surovine se spreminja tudi vsebnost pepela (Brand in sod., 2011; Garstang in sod., 2002; Pettersson in Nordfjell, 2007).

Pri sušenju okroglega lesa bukve je bilo ugotovljeno, da sta najpomembnejša dejavnika, ki vplivata na sušenje čas sušenja ter prisojnost skladišča. Razcepljen prostorninski les se suši 3 do 4 krat hitreje, kot dolg okrogli les (Lipoglavšek, 1976). Na primeru sušenja polen je bilo pri nas dokazano (Spruk, 2006), da se les najbolj suši na sončnih legah, razcepljen in pokrit. Njegove ugotovitve se skladajo z ugotovitvami tujih raziskovalcev, ki so proučevali sušenje in izdelavo drv (Holdrich in sod., 2006).

Pri lesnih sekancih je bilo ugotovljeno, da jih je najboljše shranjevati pod streho v suhem in zračnem prostoru. Če to ni možno, jih je najboljše hraniti zunaj, v pokritem kupu, ki ga v primeru lepega vremena odkrijemo (Rosć, 2012). Sušenje poteka hitreje in bolje, če sušimo material, ki še ni homogeniziran. Povedano drugače, kupi sekancev se sušijo slabše, kot kupi lesne biomase v večjih kosih (Jirjis, 1995; Kristensen in sod., 2003). Na težave pri sušenju drobnih sekancev vrbe opozarjajo tudi drugi avtorji (Kofman in Spinelli, 1997). Ugotavljajo, da shranjevanje sekancev vrbe, ki traja več kot 2 meseca, ni primerno. Sekanci namreč izgubijo veliko suhe snovi in kurilnosti. Poudariti moramo tudi dejstvo, da so sekanci iz čistega lesa bolj obstojni, kot sekanci iz sečnih ostankov. Les kot material je namreč bolj obstojen kot mešanica listja, iglic, vej in drevesne skorje. Pomemben dejavnik pri tem je tudi količina fine frakcije v kupu, saj so kupi z veliko količino drobne frakcije slabše prehodni za zrak. Posledično je tveganje za vžig in fermentacijo večje.

Shranjevanje sekancev v kupih je precej kompleksno področje, saj se v kupih odvija veliko procesov. V kupih se temperatura lahko dvigne nad 60°C, kar povzroči samovžig. Nevarnost za samovžig se poveča, če so kupi stisnjeni. Na temperaturo in aktivnost v kupih vpliva tudi velikost kupov. Od velikosti je odvisna vsebnost vlage, saj le-ta v velikih kupih niha le v zgornji plasti, v jedru pa ostaja bolj ali manj konstantna (Brand in sod., 2011). Shranjevanje sekancev v kupih je problematično tudi zaradi spor različnih gliv. Spore lahko namreč povzročijo škodljive vplive na zdravje ljudi, ki pridejo v kontakt s sekanci. V drobnem materialu in v delih kupov, ki so najbolj mokri, je več spor (Garstang in sod., 2002; Jirjis, 1995; Kofman in Spinelli, 1997).

Na Finskem so primerjali shranjevanje sečnih ostankov na majhnih kupih v sečišču z velikimi kupi na skladišču ter sesekanimi ostanki na terminalu. Po enem letu so ugotovili, da je najbolje pustiti sečne ostanke na kupih v gozdu, saj se tu vlažnost najbolj zmanjša (iz 56 % na 28,5 %). Sečni ostanki na terminalu so pri enaki izhodiščni vlažnosti po enem letu dosegli vlažnost 42,2 %, medtem ko je sesekan material na skladišču začel fermentirati in je dosegel večjo vlažnost od izhodiščne. Pozitiven učinek skladiščenja sečnih ostankov v gozdu je bilo tudi zmanjšanje vsebnosti iglic v lesni biomasi iz 27,7 % na 6,9 % (Nurmi, 1999). Na Švedskem so ugotovili zelo hitro zmanjšanje vsebnosti vlage v kupih sečnih ostankov, ki so jih pustili na sečišču. V treh tednih v juniju se je vsebnost vode zmanjšala iz približno 50 % na 28,6 % (Pettersson in Nordfjell, 2007).

Shranjevanje vpliva tudi na kurilnost lesne biomase. Za okrogli les in sekance ugotavljajo, da kurilnost ostaja stabilna med prvimi štirimi meseci shranjevanja. Kurilnost se nato povečuje do 14. oziroma 18. meseca shranjevanja, nato pa začne upadati (Jirjis, 1995; Nurmi, 1991, 1995; Thörnqvist, 1985).

Na Norveškem so proučevali vpliv pokrivanja kupov okroglega lesa in vej na sušenje. Ugotovili so, da je kupe nujno pokrivati v mokrem delu leta (Filbakk in sod., 2011). Do podobnih ugotovitev so prišli tudi na Finskem, kjer ugotavljajo, da morajo biti kupi pokriti v mokrem delu leta in da je razlika v vlažnosti med pokritimi in nepokritimi kupi 6 % (Nurmi in Hillebrand, 2007). Na primeru sušenja dreves vrbe na Nizozemskem ugotavljajo, da se vlaga v celotnem kupu čez poletje ustali, kasneje pa niha le v zgornjem delu kupa. Zgornji del kupa predstavlja relativno majhno količino lesa, zato raziskovalci zaključujejo, da kupov ni potrebno pokrivati (Gigler in sod., 2000).

Obstaja še ena tehnika sušenja okroglega lesa in sicer sečnja na suš. Drevesa se na začetku (od 15. do 31. julija), ali koncu poletja (od 15. avgusta do 8. septembra) podre in cela pusti v gozdu, da se sušijo. Drevo je takrat še olistano in tako prosta voda transpirira preko listja. Tehnika je uspešna pri listavcih, manj pa pri iglavcih, ki imajo tanjše in krajše prevodne elemente, v katerih je večja površinska napetost. Sušenje na suš traja približno 3 tedne, daljše sušenje nima tako velikega učinka, saj se listje posuši (Možina, 1952). Sečnjo na suš

za uporabo pri lesnih sekancih je pri nas prvi proučeval Žgajnar (Žgajnar, 1988). Ugotovil je, da se pri sečnji na suš pri bukvi po 45 dneh sušenja vsebnost vode v lesu zmanjša za 9,2 %. Tehniko sušenja na suš poznajo tudi v tujini (Nurmi in Lehtimäki, 2011), njena slabost pa je v sušenju iglavcev, saj posekani iglavci predstavljajo nevarnost za pojav lubadarja. Treba je opozoriti, da je pri iglavcih v Sloveniji to nezakonito ravnanje, če to niso lovna drevesa – 30. člen ZOG (ZOG, 2007).

Nasploh lahko trdimo, da bi imeli težave s sušenjem gozdne lesne biomase v gozdu. Področni pravilniki (Pravilnik, 2008) zahtevajo, da se sečišča iglavcev in listavcev zaključijo v 2 mesecih po začetku sečnje. Pravilnik med drugim zahteva, da so iz gozda spravljene vsi gozdni lesni sortimenti. Povedano drugače – gozdne lesne biomase po pravilniku ne smemo sušiti v gozdu za dalj kot 2 meseca, torej jo je potrebno za dodatno sušenje spraviti na negozdne površine, skladišča ali skladišča za lesna goriva.

Iz ugotovitev prej naštetih raziskav lahko zaključimo, da se lesna biomasa najbolje suši, če se jo razcepi in pusti sušiti na sončni legi, v pokritih, zračnih kupih ob gozdni cesti ali pod streho na skladišču (Kofman in Spinelli, 1997; Strehler, 1987). Ti dve rešitvi sta tudi cenovno najbolj ugodni, saj prisilna ventilacija sekancev stane več (Strehler, 1987). Kakšna je ekonomska učinkovitost posameznih načinov sušenja (pokrito, nepokrito, razcepljeno, nerazcepljeno) v primerjavi s sušenjem lesne biomase, ki je zložena v kupe in sušena brez dodatnega dela, pa je v Sloveniji še potrebno raziskati. Dejstvo je namreč, da je naša država klimatsko zelo raznolika.

2.1.3 Stroji za izdelavo sekancev in njihov vpliv na kakovost sekancev

Uporaba sekalnikov in sekancev v zadnjem desetletju strmo narašča (Krajnc in Piškur, 2009a). Uporaba sekalnikov in lesne biomase pri nas ni nova stvar, saj smo se že v osemdesetih letih ukvarjali s promocijo rabe sekancev, izvedeni pa so bili tudi prvi poskusi (Žgajnar, 1986, 1988). Sekanje lesa služi več namenom. Glavni namen je seveda homogeniziranje lesne biomase. Biomaso homogeniziramo zato, da zmanjšamo stroške prevoza in omogočimo avtomatično delovanje kotlov pri končnem uporabniku, oziroma prilagodimo obliko lesne biomase kotlu, v katerem se bo porabila. Načinov homogenizacije je sicer več. Les lahko cepimo, drobimo ali sekamo. Les cepimo z uporabo različnih cepilnikov, ki jih lahko ločimo glede na avtomatiziranost procesa. Cepilniki zahtevajo precej ročnega dela, medtem ko je proces dela na žagalno-cepilnih strojih lahko že povsem avtomatiziran. Končni produkt cepilnikov lesa so v večini primerov drva. Drobljenje lesa se izvaja z uporabo različnih topih orodij, na primer valjev ali kladiv. Stroje, ki les drobijo, imenujemo mlini. Sekanje lesa pa se izvaja z orodji, ki vsebujejo nože. Obstajajo vijačni, diskasti in bobenski sekalniki (Košir in sod., 2009).

Sekalniki so morfološko zelo različni. Razlikujejo se glede na način sekanja, vrsto pogona, osnovni stroj na katerem je sekalnik, glede na način podajanja surovine, največjo debelino lesa in mobilnost. Glede na moč motorja, porabo goriva in druge tehnične lastnosti pa lahko sekalnike delimo na lahke, srednje, velike in zelo velike (Mihelič in Košir, 2008; Škvarč, 2010). Na podlagi podatkovne baze so v letu 2009 sekalnike razdelili na majhne z močjo od 34 do 78 kW, srednje z močjo od 78 do 148 kW, velike z močjo od 149 do 446 kW in zelo velike z močjo nad 447 kW (Košir in sod., 2009). Nadalje lahko sekalnike po istem viru razdelimo še na:

- vrtno sekalnike,
- priključke na traktorju,
- priklopnike,
- sekalnike na delovnem stroju (z ali brez kontejnerja),
- sekalnike na kamionu (z ali brez kontejnerja),
- samostojne sekalnike,
- vertikalne mline,
- horizontalne mline,
- kombinirane sekalnike – stroje za sečnjo,
- stacionarne sekalnike.

Rezanje surovine s sekalnikom porablja manj energije kot uporaba mlina. Ugotovili so, da noži porabijo 20 % manj energije za sekanje kot kladiva in da je bila posledično poraba goriva na suho enoto sekancev za 40 % manjša (Facello in sod., 2012). Ostrina nožev se z uporabo manjša. Nože je potrebno zamenjati po izdelavi 116 do 285 t zelenih sekancev, odvisno od biomase, ki jo sekamo. Na učinkovitost proizvodnje sekancev močno vpliva ostrina nožev. Sekalnik je v poskusu z velikim sitom in novim setom nožev proizvedel za 23 % več sekancev na uro kot z izrabljenimi noži. Na produktivni čas sekalnika najbolj vpliva obraba nožev in velikost sita za sekance. Ti dve spremenljivki sta pojasnili kar 70 % variabilnosti. Zanimiv je tudi vpliv ostrine nožev na porabo goriva. Sekalnik s skrhanimi noži je porabil za 45 % več goriva, kot sekalnik z novimi noži (Nati in sod., 2010). Na hitrost izgubljanja ostrine nožev vpliva tudi surovina. Bolj trd les je težje sekati. Posledično je obraba nožev pri sekanju suhega lesa večja, kot pri sekanju mokrega lesa. Pri sekanju sečnih ostankov smo ob neustrezni pripravi vhodne surovine izpostavljeni tveganju vnosa nečistoč v sekalnik. Nečistoče ali prisotnost kamenja brez dvoma močno vpliva na ostrino nožev.

Vsebnost vode v surovini močno vpliva na sekance. Večja kot je vsebnost vode, tanjši so sekanci, medtem ko je njihova širina večja. Na dimenzije sekancev vpliva več dejavnikov; trdota lesa, vsebnost vlage, temperatura lesa, hitrost rezanja in smer rezanja (Abdallah in sod., 2011). Za nas so iz praktičnega vidika najpomembnejši vplivni dejavniki tip sekalnika, lesna biomasa (veje ali deblo), drevesna vrsta, nastavitve nožev in tip sita (Nati in sod., 2010).

Z upadanjem ostrine nožev se povečuje količina velike frakcije. Na velikostno porazdelitev sekancev močno vpliva tudi surovina. Pri sekancih izdelanih iz sečnih ostankov je večji delež velike frakcije kot pri uporabi hlodov, prav tako je pri sekancih iz sečnih ostankov višji delež prahu zaradi prisotnosti listja. Na lastnosti sekancev vpliva tudi drevesna vrsta, saj imajo nekatere vrste bolj krhek les, ki se lažje zlomi. Tako nastane več velike frakcije (Nati in sod., 2010).

Na učinkovitost dela sekalnika močno vpliva tudi priprava vhodne surovine in lokacija skladišč. Ko pripravljamo kupe okroglega lesa za energijo, moramo poznati tip sekalnika, ki bo izvajal sekanje. Dejstvo je namreč, da neprimerna priprava skladišč močno vpliva na učinkovitost dela (Kucler, 2010).

2.1.4 Viri gozdne lesne biomase

Večina virov lesne biomase pri nas je že v veliki meri izkoriščena. Tu mislimo predvsem na vire lesne biomase, ki je že zbrana na različnih skladiščih in lesnopredelovalnih obratih (Žgajnar, 1996).

Neizkoriščeni viri gozdne lesne biomase pri nas (Košir, 1996a; Košir in sod., 2009) so podobni kot v Skandinaviji. Prav tako so podobna razmišljanja o načinu njihove uporabe. Tuji avtorji govorijo o treh virih; zgodnjih redčenjih za energijo, uporabi nadzemne biomase pri končni sečnji in uporabi podzemne biomase, ki pri nas na gozdnih zemljiščih ne pride v poštev (Hakkila, 2005).

Pri končnih sečnjah in v komercialnih redčenjih razmišljajo o uporabi sečnih ostankov in o integraciji tehnologij pridobivanja biomase v obstoječe sisteme pridobivanja okroglega lesa. Povedano drugače – poleg hlodov in celuloznega lesa se do ceste (glavne vlake) spravi tudi sečne ostanke in ostale nekomercialne dele dreves (vrhači, hlače), kjer se jih nato uporabi za energetske namene – kratka kombinacija okroglega lesa in lesne biomase za energijo (Abbas in sod., 2011; Hakkila, 2005; Hudson in Mitchell, 1992). Avtorji poročajo tudi o zbiranju sečnih ostankov na delovišču v velike kupe in o kasnejšem izvažanju teh ostankov z velikimi zgibnimi polprikoličarji. Nekateri izmed njih imajo tudi možnost stiskanja sečnih ostankov. Več o tem bomo povedali v poglavju 2.2.3.

Povsod po svetu imajo težave z izvajanjem redčenj razen tam, kjer obstaja razvit trg z energijskim lesom (Gingras, 1995). V tujini so se uveljavila tako imenovana energijska redčenja, torej redčenja za pridobivanje lesne biomase za energijo. Redčenja za energijo so redčenja, v katerih so dimenzije dreves premajhne, da bi lahko pridobili celulozni les. V redčenjih za energijo pridobivamo le les za energetske rabo. Če pridobijo tudi pomemben delež celuloznega lesa in je energijski les le stranski produkt, govorijo o prvih redčenjih. Redčenja za bioenergijo so danes koncentrirana v mladih sestojih, kjer je bila nega

zanemarjena (Heikkilä in sod., 2007). Pozitivne posledice redčenj za energijo so izboljšanje stojnosti sestojev, dvig kakovosti sortimentov v končnih sečnjah in povečanje ponudbe lesa za energijo na trgu. Pri redčenjih priporočajo uporabo celih ali vsaj neokleščenih dreves. Možna je tudi kombinacija z drobnim okroglim lesom – celuloznim lesom. Izvajanje del je možno z motorno žago pa tudi s strojno sečnjo. Da se ta izplača, naj bi (za finske razmere) bil povprečen volumen debla med 20 in 30 dm³, višina sestoja pa nad 10 m (Hakkila, 2005). Drevesna metoda ni priporočljiva na občutljivih rastiščih (Stupak in sod., 2008).

Podatke o trajnostno razpoložljivih količinah lesne biomase potrebujemo tudi zaradi drugih razlogov, ki so bolj tehnološke narave. V Sloveniji je danes že večje število podjetij, ki se ukvarjajo z pridobivanjem lesne biomase za energetske potrebe (Košir in sod., 2009). Vsa so tudi opremljena s stroji, ki lesno biomaso homogenizirajo, oziroma jo pripravijo za racionalnejši transport in uporabo v kotlu. Viri te biomase so sicer različni, od komunalnih lesnih odpadkov na deponijah do ostankov iz žag, a so si s tehnološkega vidika skoraj vsi proizvajalci podobni, saj za potrebe večjih odjemalcev uporabljajo sekalnike (Košir in sod., 2009). Tudi mi se bomo posvetili izključno sekalnikom, saj so tudi ekonomsko za naše razmere najugodnejši. Omejili se bomo na tehnologije, ki so predstavniki določenih tipov tehnologij in za katere imamo verodostojne podatke iz lastnih in domačih raziskav.

2.2 TEHNOLOGIJE PRIDOBIVANJA LESA

Vsem tehnologijam je skupno, da skušajo iz gozda pridobiti čim več uporabnih sortimentov. Glavni in najbolj vreden proizvod pridobivanja lesa je okrogli les, konkretno hlodi za luščenje, furnirski hlodi in hlodi za žago. Vsi ti proizvodi so uporabni za mehansko predelavo v pohištveni in ostali lesno predelovalni industriji ter zelo pomembna strateška surovina in najbolj uporaben del drevesa. Lesna biomasa za energijo tega vira ne bi smela ogrožati (Košir in sod., 2009). Seveda pri pridobivanju lesa ne pridobimo samo hlodov.

Velik del izkoristljive nadzemne lesne biomase predstavlja les slabše kakovosti. Ta les se lahko neposredno uporabi kot tehnični les (jamski les, drogovi, pragovi, tramiči in piloti) ali pa se predela mehansko ali kemično. Z mehansko predelavo izdelujemo vezane, panelne, iverne, lesno-cementne, vlaknene in opažne plošče. S kemično predelavo lesa proizvajamo lesovino (za to se uporablja brusni les), celulozo, policelulozo in papir (iz lesovine in celuloze). Pod kemično predelavo lesa razumemo tudi izdelavo oglja, uplinjanje lesa in sežig lesa (Lipoglavšek, 1980). Na svetu torej največ lesa porabimo za kemično predelavo.

Poznamo več načinov pridobivanja lesa v odnosu do izrabe drevesa. V Sloveniji poznamo samo izrabo nadzemnega dela drevesa. Angleški termin (ang. Whole tree) ustreza rabi drevesne metode pri pridobivanju lesa. Večinoma v državi sicer uporabljamo le deblo, vse več pa je tudi tehnologij, ki za energijski les izkoriščajo tudi veje in vrhače (Krajnc, 2012). V tujini poznajo tudi izrabo celotnega drevesa oziroma celovito izrabo drevesa (ang. Complete tree), kjer se poslužujejo tudi uporabe panjev in koreninskega sistema, večinoma za energetske potrebe (Roser in sod., 2008).

Slovenski avtorji za naše razmere prepoznavajo štiri možnosti uporabe nadzemne biomase celega drevesa (Košir in sod., 2009):

- tradicionalna raba drevesa, ki predstavlja izrabo vsega možnega okroglega lesa, za energijski les ostanejo le sečni ostanki in vrhači;
- tehnologija pridobivanja biomase 1, po kateri v mlajših sestojih iz drevesa odrežemo le vrednejši okrogel les, tanek okrogel les, sečne ostanke in vrhače porabimo za energetska rabo;
- tehnologija pridobivanja biomase 2, po kateri v starejših sestojih od debla odrežemo le najvrednejši okrogel les, manjvreden okrogel les, sečne ostanke in vrhače porabimo za energetska rabo;
- tehnologija pridobivanja biomase 3, po kateri celotno drevo porabimo za energetska rabo.

Na ta razmerja izrabe okroglega lesa in lesa za energijo močno vplivajo predvsem cene na tržišču. Dejstvo je namreč, da je cena energijskega lesa že nekaj časa na enaki (precej visoki ravni), medtem ko cena okroglega lesa zaradi krize lesne industrije upada. S tem se seveda spreminja tudi ekonomsko vrednotenje zgoraj opisanih možnosti. Dejstvo je, da bi moral ves

kakovosten okrogel les iti v nadaljnjo predelavo, a to zaradi delovanja trga v zasebnem sektorju že dolgo časa ni več pravilo.

Tehnološki cilji pridobivanja lesne biomase so različni glede na vrsto sečenj. Različne vrste sečenj imajo različne zahteve po logistiki, organizaciji, stroških in pričakovanih proizvodih. Glede na vse te dejavnike se spreminjajo tudi tehnologije. Poznamo tri vrste sečenj (Košir in sod., 2009):

- sečnje rednega gospodarjenja z gozdovi so redčenja in končne sečnje, ki so načrtovane. K tem sečnjam štejemo tudi sanitarne sečnje iz različnih vzrokov;
- sečnja zaradi ujm, ki se pojavljajo naključno: vetrolom, snegolom, žledolom, požari;
- sečnje na gozdnih površinah zaradi izrednih dogodkov (krčitve, gradnje cest) in na negozdnih površinah (sadošnjaki, čiščenja zaraslih površin, čiščenje pod daljnovodi itd.).

V nadaljevanju bomo prikazali več delitev tehnologij pridobivanja lesa. Ločili jih bomo na tehnologije za izdelavo okroglega lesa, tehnologije pridobivanja lesa za energetske rabo in kombinirane tehnologije pridobivanja lesa. Seveda takšna delitev tehnologij ni edina možna, a je primerna za uporabo v naši raziskavi. Tehnologije okroglega lesa so po tej definiciji tehnologije, pri katerih do gozdne ceste spravimo le okleščeno deblo drevesa. Tehnologije za energetske rabo so tehnologije, pri katerih je edini namen pridobivanje lesne biomase za energijo. Pri teh tehnologijah do ceste spravimo vso nadzemno biomaso, ki jo nato uporabimo kot energijski les. Kombinirane tehnologije pridobivanja lesa so tehnologije, pri katerih se od drevesa loči hlode, preostali del drevesa pa se uporabi kot energijski les.

2.2.1 Tehnologije pridobivanja okroglega lesa

Gozdarstvo je v svetu zelo različno. Kot se namreč spreminjajo terenske razmere in lastnosti sestojev ter tal, tako se spreminja tudi gozdarstvo. Golosečnih sistemov je v svetu vse manj, tudi v Skandinaviji se močno usmerjajo v redčenje gozda. Plantaže so pomemben vir lesa in drugih proizvodov v Južni Ameriki, Afriki, Aziji in Avstraliji. Tudi v Južni Evropi, tukaj mislimo predvsem na Španijo, Portugalsko, Francijo, južno Italijo, pa tudi na Veliko Britanijo, je zaradi zgodovinskih vzrokov veliko plantaž.

Še bolj, kot je v svetu različno gozdarstvo, so različne tehnologije pridobivanja lesa. Kljub vsemu pa lahko ugotovimo trende tehnologij pridobivanja okroglega lesa. Tehnologije okroglega lesa delimo na tradicionalne tehnologije kratkega lesa, tehnologije dolgega lesa in sodobne tehnologije kratkega lesa (Košir, 1996b). Glede na tehnološki razvoj so najbolj preproste tradicionalne tehnologije kratkega lesa, sledijo tehnologije dolgega lesa, najbolj razvite pa so sodobne tehnologije kratkega lesa.

Tradicionalne tehnologije kratkega lesa se uporabljajo v manj tehnološko razvitih delih sveta predvsem v Afriki, Aziji in južni Ameriki. Pravzaprav so te tehnologije še zmeraj pogoste tudi v južni Evropi ter Turčiji, pomembno vlogo pa igrajo tudi v urbanem gozdarstvu

(Shrestha, 2005). Za te tehnologije je značilna uporaba človeške in živalske moči (konji, govedo, sloni) predvsem pri spravilu lesa do gozdne ceste (Ghaffariyan in sod., 2005; Košir, 1996b; Naghdi in sod., 2009).

Tehnologije dolgega lesa so pogoste v Kanadi in ZDA, kjer uporabljajo stroje za podiranje in zbiranje. Le-ti stoječa drevesa podrejo, v primeru tankih dreves tudi zberejo, ter zložijo v kupe v gozdu (Adebayo in sod., 2007; Becker in sod., 2006; Dodson, 2006). Seveda je vedno možna sečnja dreves tudi z motorno žago ter zbiranje lesa z vitlom. Kupe dreves nato do ceste spravijo s traktorji (sedlasti traktorji in traktorji z vertikalnimi kleščami). Tehnologija vključuje še uporabo stroja za izdelavo (procesorja), ki drevesa na cesti klešči. Hlodi se nato odpeljejo k porabniku. Tehnologijam okroglega lesa je večinoma dodan tudi sekalnik ali pa mlin, s katerim zmeljejo ostanke in slabša drevesa. V Evropi so bile tehnologije dolgega lesa dolgo časa pogoste v predelih, kjer razmere takšen način dela omogočajo. S tem mislimo predvsem na Nemčijo in del srednje Evrope. Za evropske tehnologije dolgega lesa je značilno podiranje in kleščenje dreves z motorno žago, spravilo pa z močnimi traktorji z vitlom in manjšim hidravličnim dvigalom. Pogosta je tudi uporaba sedlastih traktorjev (Biernath, 2007; Eisemann, 2009). Med tehnologije dolgega lesa lahko prištejemo tudi sodobne večbobske žičnice s procesorskimi glavami. Ta tehnologija je tehnologija dolgega lesa, saj tukaj iz delovišča spravljamo cela drevesa ali pa (če so pretežka) njihove dele. Kleščenje se pri iglavcih vrši izključno na cesti. Tehnologija je značilna za hribovit svet in se pojavlja na vseh žičničarskih terenih, tudi v Sloveniji.

Sodobna tehnologija kratkega lesa se je razvila v Skandinaviji. Tehnologija se v angleščini imenuje »Cut To Length«, za sistem pa se pogosto uporablja kratica CTL. Ta sistem smo proučevali tudi v našem delu. Pri tej tehnologiji stroj za sečnjo drevo podre, ob panju izdelava sortimente ter jih večinoma tudi sortira. Les nato pobere zgibni polprikoličar ter ga odpelje do kamionske ceste, kjer sledi zlaganje v kupe, včasih pa tudi sortiranje lesa.

Razvoj tehnologije je precej zanimiv. Zgibni polprikoličar so v Skandinaviji začeli uporabljati že v 60-ih letih. Bil je nadomestilo za vozove, katere so vlekli konji. Eno-prijemni stroj za sečnjo se je razvil iz procesorjev (dvo-prijemnih strojev), ki so lahko drevo prežagali in oklestili. Procesorju so dodali zmožnost podiranja dreves in tako so ustvarili eno-prijemni stroj za sečnjo, ki je bil predstavljen leta 1982 (Nordfjell in sod., 2010). V nekaj letih je izpodrinil sistem s tremi stroji (stroje za podiranje in zbiranje lesa, stroje za izdelavo in zgibne polprikoličarje). Čeprav je bil v začetku namenjen predvsem za redčenja, si je hitro utrl pot v končne sečnje in v 90-ih letih prejšnjega stoletja začel izpodrivati dvo-prijemne stroje, ki so delali v končnih sečnjah (Eliasson, 1998). Dvo-prijemne stroje za sečnjo je komplet nadomestil do leta 1995, ko so jih nehali oglaševati. Iz Skandinavije poznamo več študij učinkov strojev za sečnjo. Ugotovili so, da na učinkovitost strojne sečnje vpliva veliko dejavnikov: tip stroja, velikost drevesa, intenziteta redčenja, število dreves na

hektar, terenske razmere, izkušnost strojnika in predpisani gojitveni ukrep (Eliasson in sod., 1999; Lageson, 1997; Suadicani in Nordfjell, 2003).

Poleg velikih strojev za sečnjo poznamo tudi majhne stroje za sečnjo, z nižjo nabavno ceno, manjšimi učinki in boljšo dimenzijsko prilagojenostjo mlademu gozdu. Te stroje so proučevali predvsem v Skandinaviji (Kärhä in sod., 2004; Ligné in sod., 2005; Siren in Hannu, 2003). Stroji za sečnjo manjših dimenzij so bolj prilagojeni mlademu sestoju. Težava nastane zaradi dosega hidravličnega dvigala. V naših razmerah, pri obstoječem stanju mehanizacije tudi zgodnejša redčenja izvajamo z večjimi stroji. Razlog zato je ponovna uporaba sečnih poti v naslednjem redčenju ter trenutno stanje mehaniziranosti v državi. Če uporabljamo stroj z manjšim dosegom hidravličnega dvigala, povzročimo, da je del sečnih poti v naslednjih redčenjih neuporaben. Zato so v tujini razvili različne načine za izvajanje dela (ang. ghost lines), a težave niso rešili. V naših razmerah bo tudi v prihodnje zagotovo eden pomembnejših načinov dela kombinacija strojne sečnje in usmerjenega podiranja z motorno žago. Majhni stroji za sečnjo so se že v devetdesetih letih prejšnjega stoletja razvili tudi kot priključek na traktorju za majhne dimenzije sestojev (zgodnja redčenja), lahke terenske razmere in predvsem zasebni sektor (Gullberg in Johansson, 1996a, 1996b; Johansson, 1994, 1996, 1997).

Posebnost strojne sečnje je sortiranje sortimentov pri panju. Pri tej tehnologiji namreč les v večini primerov sortira stroj za sečnjo. Seveda je možno, da sortimente sortira tudi zgibni polprikoličar, a raziskave kažejo (Gingras in Godin, 1997), da je najceneje, če sortira stroj za sečnjo, saj na ta način prihranimo pri spravilu lesa. Podobna študija je bila izvedena tudi na Švedskem, kjer poročajo, da se produktivnost zmanjša za 1 %, če les sortira stroj za sečnjo, če pa ga sortira zgibni polprikoličar, se ta produktivnost zmanjša za 3 ali 4 % (Brunberg in Arlinger, 2001). Na produktivnost vpliva tudi način zlaganja okroglega lesa v kupe. V primerjavi štirih strojnikov na stroju za sečnjo je bilo ugotovljeno, da je vpliv dobrega zlaganja v kupe na produktivnost precejšen. Na pravilni razdalji 300 m so ugotovili 20 % razliko v učinku spravila lesa zaradi načina zlaganja (Vaatainen in sod., 2006).

Sodobna tehnologija kratkega lesa si je utrla pot tudi v druge dele sveta. Znani so poskusi iz Nove Zelandije (Evanson in McConchie, 1996), Avstralije (Ghaffariyan in sod., 2012), Rusije (Gerasimov in sod., 2011), z Japonske (Iwaoka in sod., 2007), iz Turčije (Arıcak in sod., 2011) pa tudi s Hrvaške (Krpan in Poršinsky, 2002). Že v devetdesetih letih so to tehnologijo uporabljali tudi v Severni Ameriki, zlasti pri redčenjih (Bulley, 1999; Ewing in Lirette, 1995; Huyler in LeDoux, 1999b, 1999a; Lanford in Stokes, 1996; LeDoux in Huyler, 2001; Phillips, 2000; Plamondon, 1995; Tufts, 1997; Tufts in Brinker, 1993a, 1993b; Wang in sod., 2005). Prav tako so bili izvedeni poskusi s sečnimi glavami za simultano podiranje več dreves (Gingras, 2004). Izkazalo se je, da je bila sodobna tehnologija kratkega lesa v nekaterih razmerah bolj primerna kot uveljavljene tehnologije dolgega lesa, zato je v ZDA še danes uporabljana (Gingras, 1994; McNeel in Ballard, 1992).

V Slovenijo je strojna sečnja prišla z demonstracijo dela stroja za sečnjo na Ravniku (Marušič, 1998) in v Žekancu (Košir in Robek, 2000). Prva gozdarska gospodarska družba se je s strojem opremila leta 2000, leta 2002 pa je sledilo posvetovanje o strojni sečnji v Sloveniji. Število strojev je v nadaljnjih letih raslo. Trenutno imamo v državi že več kot 10 parov strojev za sečnjo in zgibnih polprikoličarjev za strojno sečnjo.

2.2.2 Tehnologije pridobivanja energijskega lesa

V Sloveniji ne poznamo čistih redčenj za energijo. Najbližje energijskim redčenjem v državi so čiščenja grmišč in požarišč na krasu, a še tukaj se vsi za druge namene uporabni sortimenti ločijo od energijskega lesa. Tudi v tujini so takšni primeri redki. Večina avtorjev opozarja na gojitvene učinke takšnih redčenj in na dejstvo, da tržne cene sekancev takšnih redčenj ne prenesejo (Hakkila, 2005). Potrebne so torej spodbude za vlaganja v gozdove, ki so različna od države do države, in segajo vse od direktnih spodbud, do subvencionirane cene zelenih sekancev.

Redčenja v gozdu je možno opravljati na več načinov. Klasična tehnologija bi v naših razmerah obsegala delo motorne žage in traktorja, ki bi drevesa v mlajših razvojnih fazah zbiral v vrstne linije ter opravljal spravilo celih dreves. Podoben način zgodnjih redčenj, a z uporabo stroja za podiranje in zbiranje ter traktorja s kleščami, je bil opisan v ZDA (Pan in sod., 2008).

Sodobne tehnologije bi vključevale novejšje stroje, ki so prilagojeni za izdelavo sekancev v gozdu. Primeri takšnih strojev so Valmet 801C Bioenergy (Valmet Combi, 2005) in sekalniki s kontejnerjem na podvozju zgibnega polprikoličarja (Dutch Dragon, Bruks 805CT). Težava teh tehnologij je predvsem v tem, da so stroji opremljeni le z grabežem, torej mora sečnjo dreves opraviti drug stroj. Odgovor na to dilemo je komplet stroja Silvatec 878CH in zgibnega polprikoličarja s kontejnerjem. V tem primeru lahko sekalnik drevesa podira in podaja v sekalnik, sekance pa nasipa v kontejner, ki ga nato bodisi strese v zgibni polprikoličar, ali pa na kratkih razdaljah odpelje na kamionsko cesto. Zanimiva je tudi primerjava več načinov dela v smrekovem sestoju z Danske (Suadicani, 2003), kjer so sekance izdelovali v sestoju z manjšim sekalnikom, spravljali pa so z zgibnim polprikoličarjem.

Slaba stran teh tehnologij je vsekakor njihova ekološka primernost. Dejstvo je, da so ti stroji veliki. Izpostavimo naj predvsem njihovo višino, zaradi katere bi ob vožnji po sečni poti v sklenjenem sestoju zagotovo imeli še več težav kot zgibni polprikoličar. Tudi teža teh strojev je velika, zato bi za naše razmere najverjetneje potrebovali nekoliko manjše stroje takšne vrste, najverjetneje pa bi bilo potrebno tudi izvesti določene ukrepe za zmanjšanje pritiska na tla.

Na tem mestu se bomo dotaknili še baliranja gozdne lesne biomase, saj je poleg sekanja to ena izmed možnosti za povečanje homogenosti produkta in predvsem olajšanja transporta. V Skandinaviji so razvili sistem baliranja sečnih ostankov (ang. bundling). Baliranje je tehnologija, ki jo uporabljajo za ustvarjanje stisnjenih in enakomernih bal iz raztresene in nehomogene lesne biomase. V bale se stiskajo sečni ostanki, vrhači in drugi nekomercialni sortimenti. Baliranje je možno uporabljati tudi za baliranje celih dreves manjših premerov. Takšne bale lahko uporabljamo in prevažamo s konvencionalno opremo za prevoz okroglega lesa. Bale omogočajo dobro sušenje lesne biomase, predvsem pa omogočajo nižje stroške prevoza v primerjavi z kontejnerskim prevozom sekancev. Dejstvo je, da je bale še vedno potrebno sesekati. Ker je pri uporabi tehnologije baliranja največji prihranek pri prevozu, se bale sekajo na terminalu ali pa pri končnem uporabniku (Johansson in sod., 2006; Kärhä in Vartiamaäki, 2006). Bale omogočajo učinkovito in hitro izrabo lesne biomase in se lahko uporabljajo tudi pri tehnologijah pridobivanja lesa za energetske rabo.

Slabi lastnosti baliranja sta nizka hitrost dela in dejstvo, da je baliranje dodatna operacija. Samo baliranje je bistveno manj učinkovito kot sekanje, medtem ko je urni strošek baliranja skoraj enak urnemu strošku sekanja (Spinelli in sod., 2007b). Glavni prednosti baliranja sta logistika in organizacija. Operacije s sekalniki potrebujejo natančno planiranje, saj sekalnik potrebuje tovornjak, v katerega nasuje sekance. Če tovornjaka ni, se dogajajo prepogosti zastoji, ki lahko ogrozijo učinkovitost sekalnika. Baliranje takšnih omejitev nima, saj je stroj samostojen. Prednost baliranja je tudi majhna potreba po prostoru na skladišču oziroma na cesti.

Primerjave učinkovitosti sistemov sekanja, baliranja oziroma prevoza nehomogenizirane lesne biomase so pokazale, da se baliranje in transport nehomogeniziranega materiala izplača le, če imajo pri porabniku stacionaren sekalnik. Na ta način zmanjšamo stroške sekanja in tako delno nadomestimo višje stroške vožnje nehomogeniziranega materiala oziroma dodatne operacije (baliranje). Transport nehomogeniziranih ostankov je lahko stroškovno opravičljiv le, če imamo primerno mešanico vrhačev, slabega okroglega lesa in vej. Prevoz samih sečnih ostankov je zaradi nizke navidezne gostote ekonomsko neupravičen, saj ne izkoristimo nosilne kapacitete tovornjaka. Iz istega razloga lahko takšen transport izvajamo le na zelo kratke razdalje. Raziskovalci tudi poročajo, da je glavna prednost sistema vožnje sečnih ostankov predvsem nizka investicija v opremo. Sekalnik in stroj za baliranje sta namreč zelo draga stroja (Rawlings in sod., 2004). Baliranje je doživelo tudi poskuse uporabe v drugih delih Evrope (Cuchet, 2004; Lazdans in sod., 2009; Spinelli in sod., 2007b). Uporaba tehnologije baliranja je pri nas malo verjetna, saj zahteva velike koncentracije sečenj in posledično veliko koncentracijo sečnih ostankov.

Problem nizke gostote sečnih ostankov med kamionskim prevozom skušajo reševati z razvojem tovornjaka z napravo za stiskanje sečnih ostankov (Becker in sod., 2012).

2.2.3 Kombinirane tehnologije pridobivanja lesa

Kombinirane tehnologije pridobivanja lesa so tehnologije, pri katerih les, ki smo posekali, ločimo na primarne produkte. Te nato razporedimo (prodamo) različnim porabnikom na tak način, da nam prinesejo tem več vrednosti (Hudson in Mitchell, 1992).

Kombinirane tehnologije so se razvile iz potrebe po čim boljšem izkoristku posekane lesne biomase. Raziskovalci identificirajo tri razloge za razvoj takšnih sistemov, ki pa jih v takšni ali drugačni obliki najdemo tudi pri nas (Hudson, 1995):

- pojav potrebe po večjih količinah lesne biomase za energijo in posledično zahtevo po nižjih stroških pridobivanja biomase za energijo;
- uporaba drevesnih metod pridobivanja lesa, kjer ob cesti ostajajo velike količine lesne biomase;
- potencialna uporaba kombiniranih tehnologij kot orodja za nego mlajših razvojnih faz gozda – tukaj mislimo predvsem na nekomercialna redčenja.

V literaturi je opisano veliko kombiniranih sistemov. V našem pregledu se bomo omejili le na najbolj značilne za posamezna področja po svetu. Za ZDA so značilni sistemi dolgega lesa, kjer se drevesa z vejami spravijo do velikih skladišč ob gozdni cesti. Pri teh sistemih se na skladiščih ustvarjajo veliki kupi sečnih ostankov, ki upravljavcem povzročajo težave. Logičen in relativno cenen korak naprej je uporaba sekalnikov in odvoz že zbrane lesne biomase v toplotarne (Baker in sod., 2010; Bolding in sod., 2009; Leinonen, 2004; Sabourin in sod., 1992).

Bolj kompleksna situacija je v Skandinaviji, kjer je prevladujoča tehnologija strojne sečnje. To je tehnologija kratkega lesa (izdelujemo sortimente pri panju), stroj za sečnjo pa iz sečnih ostankov ustvari vejno preprogo. To za kombinirane tehnologije ni ustrezno, saj velik del surovine pustimo v gozdu. O strategijah ravnanja s sečnimi ostanki bomo povedali več v naslednjem poglavju. Predlaganih rešitev za uporabo kombiniranih tehnologij v Skandinaviji je več, raziskovalci (Björheden, 1998; Kallio in Leinonen, 2005) poročajo o uporabi metode za izdelavo hlodov v gozdu, pri čemer se slabši les pusti neokleščen. Energijski in okrogel les iz gozda odpeljejo z zgibnim polprikoličarjem. Tej metodi je podobna za redčenja predlagana metoda dveh kupov (Kärhä, 2011; Nurmi, 2007), ki temelji na sortiranju okroglega lesa na en kup in sečnih ostankov na drug kup. Drugi raziskovalci pri redčenjih predlagajo uporabo kombiniranih strojev za sečnjo in spravilo lesa (Hallonborg in sod., 1999). Finci so skušali predstaviti tehnologijo baliranja v gozd. V ta namen so razvili manjši stroj za izdelavo bal, ki je iz kupov sečnih ostankov izdeloval bale, ki jih je nato zgibni polprikoličar naložil in odpeljal do ceste (Jylhä in Laitila, 2007). Nadaljnji razvoj te tehnologije je pripeljal do razvoja stroja za sečnjo, ki sečne ostanke tudi balira, primeren pa je predvsem za redčenja (Laitila in Väättäinen, 2012).

V Sloveniji se kombinirane tehnologije uporabljajo precej pogosto. Pod kombinirane tehnologije lahko štejemo vse linije žičnih žerjavov, kjer uporabljamo drevesno metodo in po delu kupe sečnih ostankov uporabimo za izdelavo zelenih sekancev. Sem spadajo tudi vsi sestoji listavcev, kjer (primer iz Postojnskega GGO) po kombinirani strojni sečnji listavcev izvajajo spravilo sečnih ostankov, vej in vrhačev z zgibnim polprikoličarjem.

Odvoz vej in vrha ali celih dreves mlajših razvojnih faz se lahko izvaja z zgibnim polprikoličarjem. Ker je takšna lesna masa zelo voluminozna, tuji avtorji poročajo o razširitvah palic na stroju, ali pa (če to ni mogoče, ker stroj dela v sestoji) o podaljšanju dolžine polprikolice (Kallio in Leinonen, 2005). Vse te rešitve so za delo v sestoji manj primerne, zato na tržišču obstaja več zgibnih polprikoličarjev in traktorskih polprikolic, ki lahko sečne ostanke in cela drevesa stiskajo. Primeri takšnih strojev so Ponsse BTS (Hager, 2013), nadgradnja na polprikoličarju ABAB »Carrier« (Biernath, 2008) in polprikolica za stiskanje priklopljena na traktor »Havu-Hukka« (Kallio in Leinonen, 2005).

2.2.3.1 Strategije ravnanja s sečnimi ostanki

Strategij ravnanja s sečnimi ostanki po pridobivanju lesa je več. Moffat (Moffat in sod., 2006) za golosečne sisteme predlaga več možnosti. Sečne ostanke lahko uporabimo za izdelavo vejnatih preprog, lahko jih odstranimo iz delovišča, zažgemo na delovišču, razporedimo po vsem delovišču, zložimo v kupe, lahko pa jih tudi sesekamo za energetske rabo ali pa mulčimo. Ponekod sečne ostanke tudi zakopljejo v tla.

Pri nas uporabljamo dve strategiji:

- Sečne ostanke pustimo v delovišču.
Pri strojni sečnji sečne ostanke uporabimo za izdelavo vejnatih preprog po katerih vozijo stroji. Ker so sečni ostanki povoženi in vtisnjeni v tla, ni nevarnosti za razvoj podlubnikov, tla pa so zaradi te preproge ojačana. Kadar sekamo z motorno žago, je v navadi zlaganje sečnih ostankov na kupe. To imenujemo gozdni red. Predpisuje ga pravilnik o izvajanju sečnje (Pravilnik, 2008). Slaba stran zlaganja sečnih ostankov na kupe je zmanjšanje površine, na kateri se lahko izvrši pomlajevanje. Prednost puščanja sečnih ostankov v sestoji je, da v gozdu puščamo večino hranil, saj se le-ta v veliki meri nahajajo v listih in tankih vejah. Na ta način ne siromašimo rastišča.
- Sečne ostanke odstranimo z delovišča.
Odstranjevanje sečnih ostankov z delovišča je možno, a predstavlja izziv z vidika gospodarnosti. Sečni ostanki so razpršeni po veliki površini, njihovo zbiranje pa je zato zelo drago in neučinkovito. Situacija se spremeni, če so sečni ostanki že zbrani na enem mestu. V Sloveniji imamo takšne primere pri žičničnem spravilu lesa, kjer je žičnica opremljena s procesorsko glavo. Pri uporabi takšne tehnologije se na skladišču ob cesti oblikujejo veliki kupi sečnih ostankov, ki jih po odhodu žičnice sesekajo in prodajo kot zelene sekance (Mihelič in Košir, 2011).

Tretja, manj ekonomsko realna možnost za uporabo sečnih ostankov za nadaljnjo predelavo je zbiranje sečnih ostankov na kupe v delovišču. To lahko delajo sekači ali pa stroj za sečnjo, ki v tem primeru ostankov ne polaga pod sebe. V obeh primerih morajo biti sečni ostanki zbrani v neposredni bližini vlake oz. sečne poti. Te sečne ostanke lahko nato uporabi stroj za izdelavo sekancev, ali pa jih na cesto spravi specialni zgibni polprikoličar, ki je prilagojen za spravilo takšne surovine (Biščak, 2008; Košir in sod., 2009).

2.2.4 Tehnologije pridobivanja lesa v Sloveniji – trendi in nadaljnji razvoj

V prejšnjih poglavjih smo precej podrobno predstavili in razdelili različne tehnologije pridobivanja lesa po svetu in doma. V nadaljevanju bomo skušali te tehnologije umestiti v naše razmere.

Tehnologije pridobivanja okroglega lesa imajo pri nas dolgo tradicijo – lahko trdimo, da so tradicionalne. V zadnjem času beležimo tudi porast tehnologij kombiniranega pridobivanja lesa, ki omogočajo večjo izrabo pridobljene biomase. Tehnologije pridobivanja energijskega lesa v zgodnjih redčenjih (glavni produkt proizvodnje so sekanci), pri nas niso uveljavljene. Menimo, da bi bilo takšne ekonomsko precej zanimive tehnologije, skupaj z prilagojenim načinom gojenja gozda, potrebno vpeljati, predvsem zaradi vedno večjih površin mlajših razvojnih faz, ki niso negovane. Kot navajajo domači avtorji (Diaci in sod., 2012), se je v obdobju od leta 1970 do 1990 nega opravljala na 29.000 ha gozda, kar je predstavljalo 3,1 % površine gozda. Od leta 2002 do 2011 pa se je nega izvajala le še na 9.648 ha gozda, kar predstavlja 0,91 % površine naših gozdov. Situacija je daleč od idealne, zaskrbljujoče pa je, da je odstotek nege upadel tako v državnih gozdovih – 1,8 %, še bolj pa v zasebnih gozdovih, kjer se nega opravi le na 0,61 % površine gozdov. S takšnim načinom (ne)delo ogrožamo stojnost sestojev, predvsem pa kakovost bodočih sestojev.

Pri vpeljavi novih tehnologij je pogosto slišati pomisleke o odnašanju hranil iz gozda (drevesna metoda pri žičnici). Menimo, da teh težav v primeru zamujenih redčenj ne bi smelo biti, saj se takšna redčenja ne izvajajo na 10 let, temveč v daljših časovnih intervalih. Za tehnologije pridobivanja energijskega lesa pri nas obstaja še ena ovira. Porabe zelenih sekancev pri nas skoraj ni, saj nimamo ustreznih objektov s pečmi, ki bi lahko prenesle visoko vsebnost vode in nizko kakovost sekancev. Večina zelenih sekancev, ki jih pridobimo danes z kombiniranimi tehnologijami, se izvozi v Avstrijo, kjer je trg z zelenimi sekanci razvit, poleg tega pa je elektrika iz zelenih sekancev tudi dodatno subvencionirana (Lipiec, 2013). Razvoj trga z lesnimi sekanci v Avstriji je rezultat povezovanja lastnikov gozdov, ki hočejo iz gozda iztržiti več, in stabilne politike podpore temu sektorju, ki ga izvajajo avstrijske dežele že zadnjih 28 let (Egger in sod., 2010).

V Sloveniji imamo težave z lesno industrijo in gozdarstvom. Že pred letom 2000 namreč število zaposlenih v panogi upada, še hujše pa je, da upada tudi dodana vrednost na enoto proizvoda. Zaradi boljših razmer na trgu in boljše solventnosti se vse več slovenskega lesa

izvaža v sosednje države, predvsem Avstrijo in Italijo. Težave sektorja je prepoznala tudi vlada, ki je odreagirala z Akcijskim načrtom za povečanje konkurenčnosti sektorja (Akcijski načrt, 2012). V akcijskem načrtu izpostavlja potrebo po povečanju sečnje in nege gozda, povečanje količin in predelave lesa na višjih stopnjah ter povečanje porabe lesa in razvojem trga za lesne proizvode in storitve.

Predvsem prva točka akcijskega načrta, torej potreba po povečanju sečnje in nege gozda, je pomembna za naše delo. Nega gozda je v zadnjih 20-ih letih stagnirala in ni bila opravljena v zadostni meri (Diaci in sod., 2012). Če bomo hoteli doseči cilj nege gozda in morda celo bolj ambiciozno poskusili nadoknaditi zamujeno, bomo potrebovali nove tehnologije pridobivanja energijskega lesa.

Če vemo, da iz zgodnjih redčenj pridobimo večinoma zelene sekance, bi bilo vsekakor smotrno za te sekance v državi imeti tudi porabnike. Tukaj se kot rešitev vsaj delno ponuja avstrijski model z večjim številom manjših sistemov za ogrevanje središč manjših in večjih mest. Prednost lesne biomase je vsekakor v njeni lokalnosti, obnovljivosti in stabilni ceni. Nemški podatki kažejo, da sta ceni sekancev in drv precej stabilni, predvsem v primerjavi s cenami fosilnih goriv (CARMEN, 2013).

Poleg vseh naštetih prednosti je prednost uporabe lesne biomase tudi zmanjševanje potreb po uvozu energije, energetska neodvisnost, povečanje števila lokalnih delovnih mest, država pa ima prednosti pri trgovanju s CO₂ in izpolnjevanju najnovejših evropskih ciljev (Communication, 2008). Izzivi, ki se kažejo na področju ogrevanja v Sloveniji, so predvsem vzpostavitev sistemov za porabo lesne biomase slabše kakovosti, zagotovitev dolgoročnih pogodb za odkup sekancev, potrebno pa je tudi spodbujati razvoj sistema energetskega pogodbenišтва, pri katerem končni odjemalci nosijo manjši delež tveganja. Pri vsem skupaj seveda ne smemo pozabiti na lastnike gozdov, ki so pri nas lastniki velike večine gozdov. Potrebno jih je aktivirati, združiti in jim pokazati, da je v gozdu sonaraven in trajnosten potencial za zaslužek (Pezdevšek Malovrh, 2010).

2.2.5 Gospodarnost tehnologij pridobivanja lesa

Družba postavlja tehnologije pridobivanja lesa pred zelo zahtevno nalogo. Sodobne tehnologije pridobivanja lesa morajo biti okolju prijazne hkrati pa tudi gospodarne. Naloga vsekakor ni lahka, ni pa nemogoča. V pričujočem delu skušamo ugotoviti razmerja gospodarnosti med posameznimi tehnologijami.

Raziskave gospodarnosti tehnologij v tujini so številne. Tuji raziskovalci so ugotavljali gospodarnost verig pridobivanja biomase (Spinelli in sod., 2007a; Spinelli in Hartsough, 2001; Spinelli in sod., 2002; Spinelli in Magagnotti, 2010; Spinelli in sod., 2010; Spinelli in sod., 2006), različnih načinov dela pri sečnji in spravilu (Kärhä, 2006; Nurmi in Lehtimäki,

2011) in različne metode racionalizacije dela v gozdu (Hallonborg in sod., 1999; Valmet Combi, 2005).

Težava nastopi pri primerljivosti raziskav z našimi razmerami. Dejstvo je, da je v vsaki državi drugačno socialno okolje, možnosti plasiranja proizvodov, razvitost industrije, predvsem pa so različni naravni dejavniki, s čimer mislimo predvsem na teren in sestoje. Primerljivost ovirajo še različni predpisi in omejitve, ki jih predpišejo države same – od osne obremenitve pri tovornjakih do različnih obremenitev plač delavcev in njihove višine do cene naftnih derivatov.

Oprli smo se na domače raziskave iz tega področja, v katerih so avtorji ugotavljali gospodarnost različnih tehnoloških verig (Košir in sod., 2009).

2.3 OKOLJSKI VIDIKI PRIDOBIVANJA LESA

Okoljski vidiki pridobivanja lesa se prepletajo z uporabljanimi tehnologijami. Okoljske vidike bi morali obravnavati kot podpoglavje tehnologij pridobivanja lesa, vendar smo se zaradi kompleksnosti tematike in logičnega sosledja poglavij raje odločili za samostojno poglavje. Vplivi na okolje so integralno povezani s tehnologijami. Brez tehnologij namreč vplivov na okolje v takšni obliki ne bi bilo. Trdimo lahko, da ima vsaka tehnologija določen in značilen vpliv na gozdni prostor.

Vplivov tehnologij na gozdni prostor je veliko, več o tem bomo povedali v nadaljevanju. V našem delu smo se osredotočili predvsem na proučevanje poškodb dreves in poškodb tal. Poškodbe dreves so problematične zaradi zmanjševanja kakovosti in vrednosti odraslega sestoja. Poškodbe tal so še bolj kritične. Tla so namreč posebna in zelo kompleksna struktura, ki nastaja v velikem časovnem razdobju pod vplivom velikega števila dejavnikov. Zato so enkratna in neponovljiva. Zaradi dolge dobe nastajanja pa predstavljajo neobnovljiv naravni vir.

2.3.1 Poškodbe stoječega drevja

Poškodbe na stojećem drevju lahko razdelimo na poškodbe, ki so posledica naravnih dejavnikov, in na poškodbe zaradi antropogenih dejavnikov. Vzroki poškodb na drevesih zaradi naravnih dejavnikov so predvsem poškodbe zaradi padajočega kamenja, strele, vpliva prostoživečih živali ter gliv in žuželk. Poškodbe, ki nastajajo zaradi človekovega vpliva, lahko razdelimo na poškodbe, ki nastanejo zaradi nepravilnega gospodarjenja z gozdom ter na poškodbe, ki nastanejo zaradi pridobivanja lesa (Ivanek, 1976).

Posledice poškodb stojećih dreves v sestoji so (Ivanek, 1976):

- zmanjšanje števila nosilcev gozdnogojitvenih funkcij v sestoji,
- zmanjšanje števila vseh zdravih osebkov v sestoji,
- manjša biološka in mehanska stabilnost sestoja zaradi bolezni in vetra,
- negativen vpliv na količinski in vrednostni prirastek lesa (glive),
- večja nevarnost erozije,
- večanje stroškov obnove in vzdrževanja,
- manjšanje varovalnih in socialnih funkcij gozda.

Poškodbe dreves lahko razdelimo tudi glede na razvojne faze gozda. Tudi njihov vpliv na rast in razvoj gozda je različen glede na razvojno fazo. Poškodbe pomladka, mladja ali gošče ovirajo naravno obnovo gozda in povečujejo vlaganja v gozdove, saj so potrebna vlaganja v umetno obnovo gozda. V starejših razvojnih fazah, letvenjaku, drogovnjaku in debeljaku, pa se kažejo kot polomljena ali izravana drevesa, polomljene veje ter stisnine in odrtine na deblu, korenovcu in koreninah (Ivanek, 1976). Poškodbe v mlajših razvojnih fazah imajo največje ekonomske posledice, saj ostajajo v sestoji dlje časa. Zmanjšana kakovost prirastka

in s tem sestoj ima resne posledice, saj sta tekoči in vrednostni prirastek nižja, kot bi bila sicer, prav tako je kulminacija vrednostnega prirastka tudi po vrednosti nižja kot sicer. Poškodovani sestoj tudi slabše izkorišča proizvodno sposobnost rastišča, v primerih velikih poškodb pa se lahko pojavlja potreba po predčasnem pomlajevanju sestoja, kar je v nasprotju s sonaravnostjo in trajnostjo gospodarjenja (Košir, 1998a).

V literaturi ni jasnih odgovorov ali mehanske poškodbe dreves povzročijo zmanjšanje debelinskega in višinskega prirastka. Manjše poškodbe namreč le mestoma prekinajo kambij. V smrekovih sestojih v Skandinaviji (Isomäki in Kallio, 1974 cit. po Vasiliauskas, 2001) so po poškodbah korenovca ugotovili 35 do 40 % zmanjšanje višinskega in debelinskega prirastka, poškodbe debla pa so prirastek zmanjšale za 15 %. Na Hrvaškem (Krpan in sod., 1993), v sestojih hrasta in bukve, ugotavljajo za 1,0 do 4,7 % letno zmanjšanje volumenskega prirastka pri poškodovanih dominantnih drevesih. Velikost in globina poškodb sta v raziskavi pozitivno korelirala z zmanjšanjem prirastka. V raziskavi pa niso izločili vpliva poškodovanosti tal na prirastek. Več drugih avtorjev ugotavlja zmanjšanje prirastka za 14 do 25 % zaradi poškodb stoječega drevja (Vasiliauskas, 2001), medtem ko več raziskovalcev (Staines in Welch, 1984; Zaruba in Snajdr, 1966 cit. po Vasiliauskas, 2001) te trditve zavrača. Zmanjšanja prirastka zaradi poškodb korenovca in debla po divjadi namreč niso ugotovili. Tudi na Japonskem zmanjšanja prirastka dreves zaradi poškodb niso ugotovili (Suzuki in sod., 1993).

Eden izmed stranskih učinkov mehanskih poškodb stoječega drevja je tudi pojav obarvanja lesa. Obarvanje lesa ni nujno povezano z vstopom gliv v les, saj nekateri avtorji poročajo, da v bližini poškodbe les ni bil inficiran z mikroorganizmi, les pa se je vseeno obarval. Avtorji sklepajo, da je obarvanje lesa naravni zaščitni mehanizem pred napadom gliv (Aufsess, 1984 cit. po Vasiliauskas, 2001). Večina drevesnih vrst je zelo dovzetna za infekcije poškodovanih delov. Med avtorji, ki poročajo o teh pojavih, je sicer veliko razlik, lahko pa zaključimo, da v 60 do 100 % primerov poškodb na stojećem drevju pride do obarvanja ali trohnjenja (cit. po Vasiliauskas, 2001).

Okužba dreves z glivami največkrat ne predstavlja neposredne nevarnosti obstoju drevesa, saj glive napadajo osrednji del debla, ki je mrtev. Kljub temu pa glive povzročajo veliko gospodarsko škodo, saj z razkrojem lesa uničujejo najvrednejši del lesne mase (Ivanek, 1976). Kot bomo še povedali je večina poškodb dreves skoncentrirana na spodnjih dveh metrih debla (poglavje 2.3.1.9), kjer je ekonomska vrednost lesa največja.

Razvoj trohnobe pri smreki, ki je zelo občutljiva drevesna vrsta, je proučevalo več avtorjev. Pri nas ugotavljajo (Ivanek, 1976; Košir, 1998b), da se trohnoba razvije v deblu, v povprečju na dolžini 1 m od mesta poškodbe. Trohnobo so ugotavljali več kot 10 let po poškodbi. Do zelo podobnih rezultatov so prišli tudi švedski raziskovalci, saj poročajo, da poškodbe korenin povzročijo trohnobo lesa na prvih 4 metrih dolžine debla od korenovca (Hagner in

sod., 1964 cit. po Vasiliauskas, 2001). Druga švedska študija je pokazala, da je dolžina razširjenosti trohnobe na deblu po 10 letih po poškodbi v večini primerov med 2 in 3 m, po poškodbah starih 33 let pa je bila dolžina trohnobe več kot 5 m (Nilsson in Hyppel, 1968 cit. po Vasiliauskas, 2001). V nasprotju s smreko, bukev ni tako občutljiva na razvoj trohnobe in različna obarvanja zaradi poškodb po spravilu lesa, seveda pa se zaradi vdora zraka lahko pojavi rdeče srce (Diehl in Seidenschnur, 1990; Ivanek, 1976).

Ko na drevesu naredimo mehansko poškodbo, drevo z obstoječimi in novonastalimi biokemičnimi snovmi ter tkivi omeji izsušitev in razkroji obstoječa tkiva. Ta odziv se imenuje kompartmentalizacija, ki izolira poškodovana tkiva tako, da zaščiti osnovne funkcije drevesa. V vsakem primeru se razvijajo prevalitvena tkiva na robu poškodbe in površinski kalus na izpostavljenem lesu. Tkiva, ki nastanejo po ranitvi drevesa, poškodbe prerastejo (cit. po Marion, 2007). Hitrost preraščanja je tesno korelirana z radialno rastjo drevesa pri smreki, hrastu in jesenu (cit. po Vasiliauskas, 2001). Pomemben je tudi odnos med velikostjo površine poškodbe in popolnim zaprtjem poškodbe. Pri sitki (*Picea sitchensis* (Bong.) Carriere) je bilo opaženo (Welch in sod., 1997), da v 15 letih zapre vse poškodbe debela manjše od 60 cm², poškodbe večje od 60 in manjše od 180 cm² pa v istem času niso bile zaprte. Poškodba velikosti nad 30 cm² ima več kot 50 % verjetnost okužbe (Doležal, 1984). Pri bukvi so ugotovili zaprtje poškodb brez infekcije pri ranah širokih manj kot 5 cm. Pri poškodbah širokih od 5 do 8 cm je bilo takšnih primerov 70 %, pri poškodbah širših od 8 cm pa je bilo zaprtih poškodb brez infekcije le 50 %. Zaprtje poškodbe preprečuje naknadne okužbe in nadaljnji razvoj infekcije v okuženi poškodbi (cit. po Vasiliauskas, 2001).

Poškodbe dreves, ki jih povzročimo tekom življenjske dobe dreves, so krive za nižjo ekonomsko vrednost lesa ob končni sečnji. Te izgube niso majhne. Pri nas se je s to tematiko prvi ukvarjal Ivanek (Ivanek, 1976), ki je za zelo nizke poškodovanosti stoječih dreves (do 25 %) ugotovil kar od 5 do 12 % nižjo prodajno vrednost lesa. V presoji koncepta gospodarjenja s številnimi, po jakosti šibkimi, redčenji avtor modelno ugotavlja, da takšen koncept povzroča veliko število poškodb že v mlajših razvojnih fazah. Rezultat tega je zmanjšanje vrednosti sortimentov in povečanje količine sečnih ostankov. Pri primerjavi vrednosti poškodovanih in nepoškodovanih dreves ter z upoštevanjem stroškov pridobivanja lesa Ivanek (Ivanek, 1976) ugotavlja, da se v nepoškodovanem sestoju pridobivanje izplača že pri 22 cm prsnega premera, v poškodovanem sestoju pa šele pri 30 cm (Košir, 1998b).

Tudi v svetovni literaturi zasledimo veliko raziskav na temo zmanjšanja vrednosti sestoja zaradi poškodb. Zaradi občutljivosti in ekonomske zanimivosti so raziskave večinoma usmerjene v smreko. Finančne izgube naj bi bile precejšnje. V smrekovih sestojih spodnje saške so vrednost letne izgube zaradi trohnobe ocenili na 1 milijon DEM na leto (Kato, 1969), v Baden-Würtembergu pa je ocenjena izguba znašala kar 25 milijonov DEM letno (Dietz, 1981). Na Švedskem cenijo ekonomske škode zaradi poškodb korenin in korenovca

pri spravilu lesa na 200 do 430 švedskih kron na hektar v 10 letnem obdobju (Dehlen, 1977). Vrednost poškodovanih in zaradi trohnobe prizadetih smrekovih hlodov je 30 % nižja, v primerjavi z zdravimi hlodi enakih dimenzij. Glede na obseg poškodb naj bi se vrednost sestojev zaradi trohnobe zmanjšala za 7 do 20 % (cit. po Vasiliauskas, 2001). Do podobnih rezultatov prihajajo tudi Britanci, ki za smrekov sesto, ki je bil v 80 % poškodovan zaradi divjadi ugotavljajo za 20 % nižje donose (Guy, 1983). Švicarji (Butora in Schwager, 1986) ugotavljajo 11,6 % izgubo dohodka, če se med delom poškoduje 35 % izbrancev. Ugotovljeno je bilo tudi, da ob zrelosti sestoj, zaradi poškodb od 16 do 50 % hlodov prve kakovosti preide v energijski les in celulozni les (cit. po Vasiliauskas, 2001).

2.3.1.1 Razvoj raziskovanja poškodb stoječega drevja v Sloveniji

Začetki raziskav o vplivih tehnologij na sesto in stoječa drevesa segajo v sedemdeseta leta dvajsetega stoletja. Z raziskavami na tem področju je začel Ivanek (Ivanek in Krivec, 1974), ki je prvič v našem prostoru podal klasifikacijo poškodb stoječih dreves. V svojem nadaljnjem delu je proučeval poškodbe dreves pri spravilu s traktorji in konjsko vprego ter poškodbe skušal predvsem ekonomsko vrednotiti (Ivanek, 1976). Raziskave so se nadaljevale (Krivec, 1975) s poskusi ugotavljanja poškodb na objektih redne sečnje, kjer so bile spremljane poškodbe dreves po ročnem spravilu, spravilu s traktorji in konjsko vprego, prav tako pa so raziskovali poškodbe po sečnji lesa.

V osemdesetih letih se je delo nadaljevalo z raziskavami poškodb sestojev listavcev po traktorskem spravilu v zimski in letni sečnji (Žagar, 1982) ter primerjavami poškodb na sestoji v drogovnjakih, po traktorskem spravilu kratkega in dolgega lesa (Južnič, 1984).

Raziskave poškodb po traktorskem spravilu se nadaljujejo v devetdeseta leta, ko potekajo raziskave o ugotavljanju lokacij poškodb v sestoji (Papac, 1992; Šolar, 1994), ugotavljanju poškodb po spravilu z gozdarskim zgibnikom v zimski sečnji (Serec, 1997), potekajo pa tudi raziskave o poškodbah pri spravilu z žičnim žerjavom (Fabjan, 1998; Lapajna, 2000). Prav tako se ves čas razvijajo metode ugotavljanja poškodovanosti dreves v sestoji (Beber, 1998; Vintar, 1995). Pomembne raziskave so potekale tudi na področju sanacije poškodb z različnimi zaščitnimi premazi (Ljubec, 1993). Avtor ugotavlja, da je sanacija poškodb precej draga in se uporablja le za najvrednejša drevesa v sestoji ter za poškodbe večje od 10 cm².

Večina raziskav se je do tedaj osredotočala na uporabo sodobnih tehnologij, pri tem pa se je pozabljal na dejstvo, da poškodbe nastajajo po vsakokratnem posegu tehnologije v gozd. Zato so raziskovalci razvili teoretični model naraščanja poškodb drevja pri redčenjih (Košir in Cedilnik, 1996) in ga v praksi, na primeru gorskih gozdov (Košir, 1998a) ter rednih sečenj (Košir, 2000) tudi preverili. Po modelu, z ozirom na ekološke in ekonomske dejavnike, je sledila presoja koncepta zgodnjih redčenj (Košir, 1998b).

Po letu 2000 se je še zmeraj raziskovalo poškodbe dreves po traktorskem spravilu v državnih (Klun in Poje, 2001; Vesel, 2001) in zasebnih gozdovih (Žun, 2002). Ker se je v Sloveniji že začela uvajati strojna sečnja, se težišče raziskav seli na nove tehnologije. Tako že leta 2000 nastanejo prve objave raziskav poškodb stoječega drevja s sodobnimi tehnologijami (Košir in Robek, 2000), raziskave pa se nadaljujejo (Delavec, 2003; Košir, 2008b, 2008a; Košir in Mihelič, 2011) še sedaj.

2.3.1.2 Razvoj metod raziskovanja poškodb drevja v Sloveniji

Na področju razvoja metod in primerjav med metodami vzorčenja je bilo v državi v preteklosti narejeno veliko raziskav, zato tej temi posvečamo posebno poglavje.

V raziskavah iz sedemdesetih in osemdesetih let ne moremo govoriti o dodelanih vzorčnih metodah. Običajno so znotraj večjega objekta izbrali ploskve, na katerih so spremljali delovni proces. Na teh ploskvah so poškodbe drevja popisovali po opravljenem delu, na ozkem pasu ob vlakih (Žagar, 1982) ali pa spremljali sečnjo in spravilo lesa ter poškodbe na drevju beležili sproti (Južnič, 1984). Slaba stran prve metode je, da z njo ne zajamemo poškodb celotnega sestoja, medtem ko je druga metoda delovno zelo intenzivna, saj zahteva stalno prisotnost raziskovalcev na delovišču. Velika prednost druge metode je, da dobimo podatke o pošodbah drevja ločeno za sečnjo in spravilo lesa. Podobno metodo, torej metodo sprotne beleženja poškodb je v svojem delu uporabil tudi Ivanek (Ivanek, 1976), v devetdesetih so na ta način delali tudi na trajnih raziskovalnih ploskvah (Papac, 1992; Šolar, 1994).

Vzporedno se začne intenziven razvoj vzorčnih metod ugotavljanja poškodb drevja po sečnji in spravilu lesa. Do sredine devetdesetih avtorji, zaradi ugotavljanja več drugih parametrov (poškodbe po sečnji, detajlna razporeditev poškodb v sestoji) še uporabljajo sprotni popis poškodb med delom (Papac, 1992; Šolar, 1994). V Sloveniji uporabljane vzorčne metode lahko danes razdelimo v tri večje skupine, in sicer na metodo poskusnih ploskev, na katerih se izvede popolni popis, metodo pasov, ki je primernejša za klasične tehnologije in metodo krožnih ploskev, ki daje dobre rezultate pri novejših tehnologijah pri gostejši mreži prometnic.

Metoda poskusnih ploskev je tesno povezana z metodo popolnega popisa. Raziskovalci v sestoji izločijo ploskve, na katerih spremljajo delo, nato pa popišejo vsa drevesa na ploskvah in ugotavljajo poškodbe. To metodo lahko zasledimo že na začetku raziskovanja poškodb drevja v Sloveniji. Uporabljali so jo na mariborskem (Ivanek, 1976) in kočevskem (Južnič, 1984) ter na brežiškem gozdnogospodarskem območju (Papac, 1992). Na ta način so avtorji tudi testirali metode (Vintar, 1995).

Metoda pasov (Robek in Košir, 1996) je bila razvita za potrebe ugotavljanja poškodb drevja in znanstvenega proučevanja tega problema, njena praktična izvedba pa je namenjena tudi hitri oceni kakovosti dela v praksi. Avtorja na podlagi 15 analiziranih delovišč ugotavljata pomembne razlike med zimskimi in letnimi delovišči ter povezavo med poškodbami tal in dreves. Metoda je namenjena za proučevanje klasičnih tehnologij sečnje z motorno žago in spravila lesa s traktorjem. Na slovenskem so jo začeli uporabljati po letu 1995. Metoda se je obnesla tudi pri redčenjih s tehnologijo sečnje z motorno žago in spravila z žičnim žerjavom (Fabjan, 1998; Lapanja, 2000).

Prednost te metode je tudi možnost ocenjevanja poškodovanosti tal in mladja na delovišču. Nosilec informacije o poškodovanosti so pasovi – torej ocenjujemo poškodovanost posameznih pasov in ne posameznih dreves (Robek in Košir, 1996). Temeljne primerjave med posameznimi vzorčnimi metodami in popolnim popisom stanja so bile narejene v začetku devetdesetih (Vintar, 1995). Avtorica je primerjala metodo pasov in različne dendrometrijske metode (krožne ploskve, Bitterlichova metoda) s popolnim popisom stanja sestoja. Ugotovila je, da so vzorčne metode uporabnejše in boljše, kot popolni popis. Prav tako ugotavlja, da so dendrometrijske metode, kljub svoji objektivnosti, za uporabo v praksi neprimerne, saj so časovno preveč zahtevne. Za metodo pasov ugotavlja, da je objektivna metoda ter da ustreza postavljenim časovnim zahtevam (pregled 10 ha velikega delovišča v enem delavniku). Ugotovljeno je bilo (Beber, 1998), da znaša dnevna norma za znanstveno metodo ugotavljanja poškodb drevja in tal 9,08 ha/dan, za poenostavljeno metodo (popis poškodb drevja) pa 13,10 ha/dan.

Metoda krožnih ploskev je sistematična metoda vzorčenja s ploskvami. Temelji na metodah, ki so se pri strojni sečnji uporabljale v Skandinaviji (Fröding, 1982). Podobne metode so poznane tudi v ZDA (Han in Kellogg, 2000a), kjer so ugotovili, da sistematično vzorčenje pri ugotavljanju poškodovanosti drevja daje najboljše rezultate, z napako od -1,6 do +3,4 %. Kot smo že omenili, je metoda primerna predvsem za tehnologije, kjer so gostote prometnic zelo velike. Težava pri uporabi metode pasov pri strojni sečnji je predvsem v dejstvu, da je skoraj nemogoče popisati celoten pas, ne da bi ga sekala prometnica. Na ta način skoraj nikoli ne dobimo popolnega pasu, kar nam pokvari rezultate, saj pri metodi pasov delamo samo s celotnimi pasovi. Več o metodah, uporabljenih v naši raziskavi, je napisano v poglavju 3.2.

2.3.1.3 Primerljivost metod uporabljenih v literaturi s sodobnimi metodami uporabljenimi v Sloveniji

Metod, ki so uporabljene v dostopni domači in tuji literaturi, ne moremo direktno uporabiti pri vrednotenju rezultatov naših raziskav. Razlogov za to je več:

- Različnost kategoriziranja velikosti poškodb

V mednarodni literaturi se pojavljajo zelo različne definicije poškodbe drevja. Večina starejših objav, tujih in domačih, ima zelo široke razrede poškodovanosti, ki niso neposredno primerljivi z našimi raziskavami.

- Različne delitve lokacije poškodb na drevesu

Glavna težava pri delitvi lokacije poškodb je ohlapnost delitve posameznih delov drevesa. Predvsem je to izrazito pri razmejitvi korenovca in debla. V starejših objavah je korenovec do višine 1 metra (Ivanek, 1976; Ivanek in Krivec, 1974), v novejših objavah pa kot korenovec razumemo spodnji del debla, do 0,3 metra višine od tal. Nekateri avtorji ugotavljajo le poškodbe na korenovcu in deblu, izpuščajo pa poškodbe korenin, vej ter krošnje (Južnič, 1984; Žagar, 1982). V tujini so pristopi do tega vprašanja še bolj raznovrstni. V nekaterih raziskavah (Siren, 1981, 1982) na primer ločujejo le korenine in deblo.

- Starost poškodb

Ločitev starosti poškodb na stare, nove ter nove in stare je relativno nova. Uporabljati se je začela v devetdesetih letih, pomembna pa je predvsem za ugotavljanje akumulacije poškodb na drevesih. Zanima nas torej, katera oziroma koliko dreves je bilo poškodovanih v predhodnih posegih in koliko dreves je bilo poškodovanih pri zadnjem posegu v sestoju.

- Nezanesljivost vzroka nastanka poškodbe

Ugotavljanje vzroka poškodbe je zanesljivo le pri sprotne spremljanju dela v sestoju. Ugotovljena je bila neprimernost ugotavljanja vzroka poškodbe po opravljenem delu (Vintar, 1995), zato nastanka poškodbe v naših raziskavah nismo proučevali. V tuji literaturi je pogosto ugotavljan vzrok nastanka poškodb.

- Ugotavljanje poškodb na vseh drevesih v sestoju ali le na izbrancih

Način spremljanja poškodb na izbrancih je poznan predvsem iz tuje literature. Ta podatek nas zanima predvsem, kadar skušamo poškodbe ekonomsko vrednotiti (Ivanek, 1976). Glede na nizke odstotke poškodovanosti sestoj nekaterih tujih avtorjev menimo, da so popisovali poškodbe samo na izbrancih, saj drugače tako nizkega števila poškodb ne moremo tolmačiti. V svoji raziskavi na Finskem Siren (Siren, 1981) ugotavlja 2 % poškodovanost, Eriksson (Eriksson, 1981) na Švedskem 3 %, na Škotskem (El Atta in Hayes, 1987) 2 % in v Rusiji (Georgievsky, 1957 cit. po Vasiliauskas, 2001) 4 % poškodovanost. V splošnem nas je tekom naših raziskav zanimal vpliv poškodb na gozd kot celoto, zato smo ugotavljali poškodbe vseh dreves s prsnim premerom nad 10 cm, pri nekaterih poskusih pa smo vključili tudi drevesa z manjšim premerom.

- Različno pojmovanje dreves v sestoju in ob vlakih

Različni avtorji postavljajo mejo, kje se konča področje ob vlaki in kje se začne sestoj precej različno. Pri metodi sprotnega popisovanja (Ivanek in Krivec, 1974) meja ni izrecno omenjena, avtorja opredelita, da so to poškodbe, ki nastanejo neposredno ob vlaki, medtem ko v drugih raziskavah (Žagar, 1982) to mejo začrtajo na 2-metrski pas na vsako stran vlake.

2.3.1.4 Dejavniki, ki vplivajo na poškodovanost dreves

Dejavnikov, ki vplivajo na količino poškodb dreves v sestoju je več in so med seboj povezani – kot sta povezana tudi sečnja in spravilo. Na število poškodb vpliva jakost odkazila oziroma sečnje, letni čas, terenske značilnosti, razvojna faza gozda, drevesna vrsta, terenske razmere, priprava dela in strokovni nadzor, uporabljena tehnologija in v veliki meri tudi človeški dejavnik, torej motiviranost in izurjenost delavca ter način plačila.

Številni avtorji ugotavljajo, da ti dejavniki vplivajo na kakovost izvedbe del na neposreden in posreden način. Vpliv priprave dela na poškodbe so proučevali v Srbiji, kjer so ugotovili (Doležal, 1984 cit. po Papac, 1992) za 30 % zmanjšanje poškodb ob ustrezni pripravi dela. V Sloveniji je bilo ugotovljeno (Papac, 1992), da je delavec povzročil vsaj 10 % poškodb pri sečnji in da se tem poškodbam da izogniti.

Vpliv nagrajevanja delavcev so proučevali v Nemčiji, kjer so ugotovili, da pri spravilu lesa, plačilo po času zniža poškodovanost za 4,7 % (Butora in Schwager, 1986). Isti vir trdi, da velikost poškodbe narašča z močjo stroja, dolžino sortimenta in velikostjo bremena. Pri nas je te odvisnosti proučeval Papac (Papac, 1992), ki je ugotovil, da je najpomembnejši dejavnik poškodb dolžina sortimenta. Le-ta je pomembnejša kot dolžina privlačenja, volumen bremena in čas privlačenja. Naraščanja števila poškodb z velikostjo stroja (Nichols in sod., 1994) v ZDA niso ugotovili, je pa res, da je bila dolžina sečnih poti na hektar pri težjem stroju bistveno večja kot pri manjšem.

Na Kitajskem (You in sod., 2009) so ugotovili, da je količina poškodb odvisna od jakosti sečnje, gostote sestoja in volumna drevesa.

Na Finskem (Siren, 1981) so ugotavljali vpliv velikosti drevesa, jakosti sečnje in števila preostalih dreves, a je rezultate težko prenesti v naše razmere. V drugi raziskavi ugotavljajo, da sta glavna vplivna dejavnika na količino poškodb število preostalih dreves in čas potreben za sečnjo in izdelavo drevesa (Siren, 1982). Na Norveškem pa so ugotovili (Fjeld in Granhus, 1998) močne odvisnosti med poškodovanostjo dreves v sestoju ter interakcijo jakosti sečnje in tehnologije. Odstotek odstranjene temeljnice je pojasnil 22 % variance, odvzeti volumen 29 %, največjo pojasnjevalno moč pa je imela horizontalna projekcija krošenj, ki je pojasnila 40 % variance.

V Sloveniji je Košir (Košir, 2000) primerjal število drevja, jakost sečnje, gostoto sekundarnih prometnic in poškodbe drevja. Ugotovil je, da je količina poškodovanosti drevja v sestoji odvisna od gostote sekundarnih prometnic in jakosti sečnje. Gostota prometnic na poškodbe ne vpliva neposredno temveč posredno preko razdalje zbiranja, saj so raziskave pokazale, da pri večji razdalji zbiranja lesa nastaja več poškodb (Butora in Schwager, 1986). Prav tako delež poškodb ni neposredno odvisen od jakosti sečnje. Tudi ta odvisnost je posredna, saj je od jakosti redčenja odvisen delež poškodovanega drevja. Ugotavlja tudi (Košir, 2000), da je število dreves na hektar boljši kazalec od starosti sestoja. S primerjavo modela in raziskav je ugotovil, da je najmanj poškodb v sestojih mlajših razvojnih faz in pri nižjih koncentracijah posekane lesne mase. Večja gostota prometnic pozitivno vpliva na zmanjšanje deleža poškodb, a je njen vpliv majhen. Delež poškodovanega drevja ob koncu proizvodne dobe je odvisen od števila posegov in od deleža poškodb po vsakem posegu (Košir, 2000).

2.3.1.5 Poškodbe mladja

Del poškodb sestoja so tudi poškodbe mladja. Pod mladje uvrščamo vsa drevesa, ki imajo prsni premer manjši kot 10 cm. Zaradi zakona akumulacije poškodb dreves v sestoji imajo poškodbe mladja posebno težo, saj drevo poškodujemo že v mladosti in se tako že zelo zgodaj uvrsti v skupino starih poškodb. Velik je tudi vpliv poškodb mladja na njegovo perspektivnost, saj je poškodovano mladje zlomljeno, poteptano, močno upognjeno, ali pa olupljeno (Košir, 2008a).

Mladje običajno poškoduje pravilno sredstvo, predvsem pri zbiranju lesa s traktorjem, zato avtorji (Petreš, 2004; Košir, 2008a) opozarjajo na pomembnost dobrega načrtovanja. Nenačrtovane vlake v mladih sestojih niso dopustne, hkrati pa morajo načrtovalci poskrbeti za ustrezno odprtost sestoja. Glede na odprtost sestoja avtorji ugotavljajo več odvisnosti. Večja, kot je površina mladja, večja je poškodovana površina. S tem je povezana tudi gostota načrtovanih vlak, saj večja kot je površina mladja, boljša mora biti odprtost s prometnicami za zagotavljanje kakovostnega dela. Zanimivo je tudi, da večja kot je pomlajena površina, večje število vlak je bilo evidentirano, ne glede na to, ali so bile načrtovane ali ne. Poškodbe mladja se povečujejo z velikostjo površine mladja. Največje poškodbe so ugotovljene pri 17 % površine sestoja.

V raziskavi mladja (Košir, 2008a) ugotavljajo, da se odstotek poškodovanega mladja zmanjšuje proti koncu regeneracijskega obdobja, hkrati pa se povečuje delež poškodovanih letvenjakov. Celotno življenjsko dobo sestoja so glede na dinamiko poškodovanosti razdelili na tri obdobja:

- v prvi fazi, ko mladje postaja odrasel gozd, poškodovanost narašča od nič in se med odstranjevanjem starih dreves, ki so oblikovala stari sestoj povečuje. Poškodovanost se zmanjšuje v naslednjem obdobju, ko je izvedenega malo redčenja;

- v drugi fazi, ko je mladje prisotno a neperspektivno, je čas, ko nas zanima obstoječi sestoj. Začne se prvo komercialno redčenje. Poškodovanost narašča, saj že s prvim redčenjem poškodujemo drevesa s prsnim premerom manjšim od 10 cm, ki so pomešana v obstoječih mladih sestojih;
- v tretji fazi, ko mladje postane perspektivno, se poškodovanost zmanjšuje, saj je prisotnih vse manj odraslih dreves v pomlajencu. Večina odraslih dreves je že bila poškodovana.

Ugotavljajo tudi (Košir, 2008a), da ni pomembne razlike med starostnimi razredi glede na sisteme gojenja gozdov. Razlog je v mozaični razporeditvi razvojnih faz, pri čemer razlika med sistemi gojenja ni vedno očitna. Iz raziskave izhaja še ena pomembna ugotovitev. Dokazano je bilo, da gostota vlak močno vpliva na poškodbe mladja. Torej boljša odprtost sestoja in posledično boljša dostopnost ugodno vplivata na zmanjševanje poškodb mladja, obenem pa boljša odprtost pomeni nekoliko več poškodb obstoječega sestoja.

Poškodbe mladja so ugotavljali tudi na Hrvaškem (Petreš, 2004; Sabo, 1999). V novejši raziskavi (Petreš, 2004) so uporabljali traktorje v hrastovih gozdovih. Ugotovili so poškodovanost mladja med 3,9 in 15,3 %. Navedeni odstotek velja za primerjavo vseh poškodovanih dreves proti vsem nepoškodovanim.

2.3.1.6 Delež poškodovanih dreves v sestoju po pridobivanju lesa

Ker sta sečnja in spravilo lesa povezana procesa, je veliko avtorjev ugotavljalo poškodbe dreves ločeno, po sečnji in po spravilu. V iglastih sestojih na Pohorju (Ivanek, 1976) so ugotovili 12 % poškodovanost po sečnji v letvenjakih, 6,7 % poškodovanost po sečnji v drogovnjakih in le 1,4 % poškodovanost po sečnji v debeljakih. V listnatih sestojih na kočevskem ugotavljajo (Južnič, 1984), da je sečnja vzrok 18,7 % poškodb dreves pri debelni in 11,2 % pri sortimentni metodi. Na brežiškem so ugotovili 37 % poškodovanost (Papac, 1992), na novomeškem pa, da je kar 35,8 % poškodb nastalo zaradi sečnje (Šolar, 1994). V raziskavi poškodovanosti dreves v Sloveniji, s podatki zbranimi iz ploskev popisa gozdov (Robek in Medved, 1997), ugotavljajo 12,3 % poškodovanost sestojev po sečnji in spravilu lesa. Nižji odstotki poškodovanosti so najverjetneje posledica nezanesljivosti ugotavljanja poškodb dreves v večji časovni oddaljenosti od časa pridobivanja lesa in dejstva, da je zelo težko ugotoviti dejanski vzrok poškodbe.

Redkeje v literaturi zasledimo samo ugotavljanje poškodb po sečnji – brez spravila lesa. V Iranu ugotavljajo 9,2 % poškodovanost po sečnji listavcev. Ugotovili so tudi, da v debeljaku največ poškodb povzroči sečnja debelih dreves (Azarnoush in sod., 2010), s čimer se strinjajo tudi naši avtorji (Šolar, 1994). Pri sečnji iglavcev so poškodbe zaradi sečnje za 3 do 5 % manjše (Butora in Schwager, 1986) kot pri sečnji listavcev.

Povzamemo lahko, da slovenski avtorji ugotavljajo, da večino poškodb povzroči spravilo lesa. Ta pojav je dobro dokumentiran v domačih in tujih raziskavah. Na Češkem (Douda, 1988b) so ugotovili 92 % poškodovanost zaradi spravila lesa. V Švici (Butora in Schwager, 1986) so ugotovili, da sečnja poškoduje 37 % dreves, 63 % pa lahko pripišemo spravilu. Da so poškodbe po spravilu glavni vzrok za poškodbe drevja, v svojem preglednem članku ugotavlja tudi Vasiliauskas (Vasiliauskas, 2001). Prav iz tega razloga se je proučevanje poškodb sestojov vse bolj premikalo k ugotavljanju poškodb na drevesih po opravljenem delu, torej po sečnji in spravilu lesa. Na ta način ugotovimo vpliv celotne tehnologije pridobivanja lesa na sestoj. Prav zato, ker gre za soodvisnost med poškodbami po sečnji in spravilu smo se odločili (Robek in Košir, 1996), da bomo poškodbe po obeh fazah pridobivanja lesa obravnavali skupaj.

Eden v literaturi najbolj pogosto uporabljenih kazalcev vpliva, ki ga ima tehnologija na sestoj, je vsekakor odstotek poškodovanih dreves v sestoju. Ta kazalec je pri nas uporabljan že v prvih raziskavah (Ivanek, 1976), kjer je bilo ugotovljeno, da pri uporabi traktorskega spravila v smrekovih sestojih na Pohorju tehnologija poškoduje med 17 in 24 % dreves v letvenjaki, med 17 in 20 % v drogovnjaki in med 19 in 20 % dreves v debeljaki. Narejene so bile tudi primerjave med debelno in sortimentno metodo, kjer (Južnič, 1984) ugotavljajo, da je bila poškodovanost pri debelni metodi 18,7 %, pri sortimentni pa 11,2 %. Podatke iz ostalih raziskav povzemamo v preglednici 7.

Preglednica 7: Odstotek poškodovanih dreves v sestoju glede na različne slovenske avtorje, posest, drevesno vrsto, razvojno fazo, čas sečnje in jakost odkazila

Avtor	Posest	Drevesna vrsta	Razvojna faza	Jakost odkazila [m ³ /ha]	Čas sečnje	Delež poškodovanih dreves v sestoju [%]
Papac B., 1992	Državno	Listnati sestoji	debeljak, drogovnjak	37	Letna	30
Šolar S., 1994	Državno	Mešani sestoji	debeljak,	60	/	29
Klun J. in Poje A., 2000	Državno	Mešani sestoji	debeljak	72	Letna in zimska	20
Serec T., 1997	Državno	Iglasti sestoji	mlajši debeljak	37	Zimska	41
Klančnik A., 2001	Zasebno	Iglasti sestoji	drogovnjak	42,8	Letna in zimska	24
Žun B., 2002	Zasebno	Mešani sestoji	debeljak, drogovnjak	7,7 – 305	/	27

Na Hrvaškem nekateri avtorji uporabljajo metodologijo, ki jo je razvil Ivanek, tako da so raziskave primerljive z njegovo. V listavcih so ugotovili (Martinić, 1992), da je bilo po sečnji z motorno žago in spravilu s traktorjem poškodovanih 8,2 % dreves v sestoju. V podobni raziskavi (Krpan in sod., 1993) pa ugotavljajo 38,5 % poškodovanost v nižinskih hrastovih sestojih in le 7,4 % poškodovanost v bukovih sestojih. Treba je povedati, da so v

nižini lahko traktoristi vozili prosto po sestoju. Razlika je težko razložljiva samo s tem vplivom, saj so drugod (Suhartana, 1997) ugotovili, da je razlika med prosto vožnjo v sestoju in vožnjo po vlakih manjša – avtorji navajajo 5 % večjo poškodovanost dreves pri prosti vožnji po sestoju. Zelo nizke odstotke poškodovanosti dreves so zabeležili v Gorskem Kotarju (Sabo, 1999), kjer v sestojih iglavcev in listavcev ugotavljajo poškodovanost od 1,18 do 3,46 %. V Švici (Butora in Schwager, 1986) so ugotovili, da traktorsko spravilo poškoduje 25 do 33 % dreves, spravilo z žičnimi žerjavi pa 34 % dreves. V Italiji raziskav o vplivih sodobnih in klasičnih tehnologij na poškodbe sestoja primanjkuje (Spinelli in sod., 2010), v raziskavi za klasične tehnologije ugotavljajo $13,6 \pm 12,7$ % poškodovanost dreves v sestoju.

V Skandinaviji avtorji v splošnem ugotavljajo nižje stopnje poškodovanosti stoječega drevja. Razloge zato lahko iščemo v metodoloških razlikah (na primer nekaj višji prag velikosti najmanjše poškodbe, ki že šteje za poškodbo).

2.3.1.7 Velikost poškodb drevja v sestoju

Velikost poškodbe je pomembna zato, ker je velikost poškodbe tesno povezana z verjetnostjo za okužbo poškodbe z glivami (cit. po Butora in Schwager, 1986). Odstotek poškodovanih dreves ni dober kazalec za presojanje o tem, ali je ugotovljena poškodovanost sestoja lahko bistveno manjša od dejanske. Največji problem tega kazalca je sama definicija poškodbe, saj nam sprememba praga velikosti poškodbe spremeni delež poškodovanih dreves v sestoju.

Na začetku raziskovanja problematike poškodb so raziskovalci uporabljali razrede velikosti poškodb, ki so precej drugačni, kot ti, ki jih uporabljamo sedaj. Zasnova metodologija (Krivec, 1975) je predvidevala delitev poškodb na precej obširne razrede. Le-ti so bili razdeljeni od 0 do 99, 100 do 299, 300 do 499 in nad 500 cm². To delitev in tej delitvi podobne delitve uporablja več slovenskih in hrvaških avtorjev (Ivanek, 1976; Krpan in sod., 1993; Martinić, 1992; Žagar, 1982), vendar so raziskave pokazale, da večine poškodb na ta način ne zajamemo. Že Ivanek (Ivanek, 1976) namreč ugotavlja, da med delom v gozdu nastane veliko majhnih poškodb in relativno malo velikih. Njegove izsledke povzemamo v preglednici 8.

Preglednica 8: Deleži odrgnin po velikosti in metodi spravila (Ivanek, 1976).

Razredi velikosti poškodb drevja [cm ²]	Spravilno sredstvo		
	Konj	Prilagojeni kmetijski traktor	Zgibnik
Do 100	50,8	33,8	29,8
100 do 299	39,6	35,6	35,6
300 do 499	6,5	14,3	15,5
Nad 500	3,1	16,3	19,1

Kot je razvidno iz preglednice 8, avtor ugotavlja, da večina poškodb drevja pri vseh tehnologijah nastane v prvih dveh razredih in sicer pri konjskem spravilu 90,4 %, pri prilagojenem kmetijskem traktorju 69,4 %, in pri zgibnem traktorju 65,4 %. Njegovim trditvam pritrjujejo tudi raziskave iz tujine, ki jih lahko strnemo v misel, da je večina poškodb, ki nastanejo na drevesih v sestoji, manjša od 100 cm² (Siren, 1981, 1982; Vasiliauskas, 2001). V raziskavi so na Finskem (Fröding, 1982) za zelo različne tehnologije ugotovili, da je 45 % poškodb velikosti do 100 cm², 21 % jih je velikosti od 100 do 200 cm², večjih poškodb pa je 34 %.

Glede na izsledke slovenskih raziskav na Pohorju, kjer so ugotovili večino poškodb v razredu do 100 cm², se pojavi bolj podrobna delitev, ki je bila namenjena predvsem ugotavljanju manjših poškodb in njihovega porazdeljevanja (Južnič, 1984). Velikostni razredi so se ustalili šele po letu 1990. Podlaga za ustalitev razredov so bile raziskave, literatura iz tujine (Fröding, 1992a) ter posvetovanje s kolegi s področja varstva gozdov (Košir, 2012b). Velikostne razrede poškodb in odstotke poškodb, ki so jih v posameznem razredu ugotovili slovenski avtorji, prikazujemo v preglednici 9.

Preglednica 9: Velikostni razredi poškodb dreves in delež vseh poškodovanih dreves v posameznem razredu

Velikostni razredi [cm ²]	Papac, 1992	Šolar, 1994		Klun in Poje, 2001	Žun, 2002	Serec, 1997
	Sečnja in spravilo	Sečnja	Spravilo	Sečnja in spravilo	Sečnja in spravilo	Sečnja in spravilo
Do 10	19	22	8	-	-	-
10 do 29	24	10	26	69	38	16
30 do 49	22	18	21	19	10	13
50 do 99	17	19	25	2	10	24
100 do 199	12	8	9	5	14	22
Nad 200	6	23	11	5	28	25

Velikostni razredi poškodb se tudi v mednarodni literaturi zelo razlikujejo. Na to opozarjamo zaradi možnosti primerjav. Na Finskem (Siren, 1981, 1982) so uporabljali širine razredov poškodb z napredovanjem po 100 ali 200 cm², razredi pa so si sledili do 1600 cm². Na češkem so uporabljali razrede od 0 do 99, od 100 do 999 in nad 1000 cm² (Douda, 1988b), v ameriški literaturi so razredi različni od raziskave do raziskave. Na razlike opozarjamo, saj je pri interpretaciji rezultatov potrebno veliko previdnosti. Največje težave pri študiju literature smo imeli z ugotavljanjem praga poškodbe, torej ugotavljanja dejstva, kako velika mora biti poškodba, da jo še smatramo kot poškodbo. Veliko avtorjev tega podatka ne navaja, v literaturi pa se pojavljajo tudi primeri, ko manjše poškodbe zaradi gospodarske nepomembnosti izpustijo in predstavijo le rezultate večjih poškodb.

2.3.1.8 Vrste poškodb drevja v sestoji

V literaturi lahko zasledimo tudi več raziskav vrste poškodb (odrgnine, stisnine, zlomi vej, izruvano drevo). Pri nas se je s tem problemom v iglavcih prvič ukvarjal (Ivanek, 1976).

Ugotovil je, da so na terenu zabeležili 90 % odrgnin. Z vrsto poškodb, so se ukvarjali tudi drugi avtorji. Papac v listnatih sestoju (Papac, 1992) ugotavlja, da se pri sečnji pojavljajo vse vrste poškodb: stisnine, odlomljeno deblo, odlomljene veje in veje na deblu v približno enakem deležu, dvakrat več je le odrgnin, pri spravilu lesa pa se pojavljajo le odrgnine in stisnine. Skupaj za sečnjo in spravilo v listnatih sestoju pa drugi avtorji (Šolar, 1994) ugotavljajo, da odrgnine predstavljajo 69 % vseh poškodb, sledijo zlomi vej s 15 %, nato stisnine s 13 % vseh poškodb, izruvanin in ostalih poškodb pa je 4 %. Avtor ugotavlja, da veliko večino poškodb drevja v sestoji predstavljajo odrgnine in stisnine 82 %, kar se dobro ujema z ugotovitvami ostalih avtorjev.

2.3.1.9 Lega poškodb na drevesu

Glede lege poškodb na drevesu lahko ugotovimo dvoje:

- Razporeditev lege poškodb je odvisna od faze pridobivanja lesa (sečnja ali spravilo) in od uporabljenih tehnologij.
- Načini ugotavljanja lege poškodb so v literaturi različni. Nekateri avtorji se ukvarjajo le s poškodbami korenin, korenovca in debela do 2 m višine, prav tako precej variira meja korenovec – deblo. Nekateri drugi avtorji pa ločijo le korenine in deblo (Siren, 1981). Obstaja tudi več raziskav, kjer ugotavljajo poškodbe le na deblu.

Pri proučevanju razporeditve lege poškodb na drevesu pri spravilu lesa je bilo ugotovljeno (Papac, 1992), da se 99 % poškodb pojavlja na koreninah, korenovcu in deblu do enega metra višine. Odnos med sečnjo, spravilom in lego poškodb na drevesu pri listavcih prikazujemo v preglednici 10 (Šolar, 1994). Avtor ugotavlja, da se pri sečnji največ poškodb pojavlja na krošnji in deblu, pri spravilu pa na koreninah in korenovcu.

Preglednica 10: Lega poškodb pri sečnji z motorno žago in spravilu s prilagojenim kmetijskim traktorjem (Šolar, 1994)

Lega poškodb na drevesu	Sečnja	Spravilo
Korenovec	6	41
Deblo	36	10
Krošnja	48	0
Korenine	2	49
Deblo in veje	8	0

Kasnejši avtorji v svojih raziskavah ugotavljajo poškodbe po sečnji in spravilu lesa. Njihove ugotovitve prikazujemo v preglednici 11. Iz preglednice je razvidno, da večina poškodb pri sečnji z motorno žago in spravilu s traktorjem nastane na korenovcu in deblu.

Preglednica 11: Ugotovljene lokacije poškodb na drevesu v odstotkih pri različnih avtorjih, glede na sestoje in tehnologije

Lega poškodb na drevesu	Klančnik, 2001	Žun, 2002	Klun in Poje, 2000	Serec, 1997
	Pretežno iglasti sestoji, PKT*	Mešani sestoji, PKT*	Mešani sestoji, zgibnik	Iglasti sestoji, zgibnik
Korenovec	48	36	21	28,5
Deblo	29	41	61	60
Krošnja	10	1	7	1,5
Korenine	7	12	6	6,5
Deblo in veje	6	10	5	3,5

*PKT označuje prilagojeni kmetijski traktor

Do podobnih rezultatov so prišli tudi tuji avtorji. Da se večina poškodb pri spravilu lesa pojavi na višini do dveh metrov od tal so ugotovili na Finskem (Siren, 1981), poročajo pa tudi, da je pri zelo različnih tehnologijah (traktor, motorna žaga, stroj za sečnjo, zgibni polprikoličar, različne kombinacije) na korenovcu in koreninah 32 % poškodb, na deblu do treh metrov pa še nadaljnjih 54 % poškodb (Fröding, 1982). V ZDA ugotavljajo, da se 82,7 % poškodb pri spravilu lesa z zgibnim polprikoličarjem pojavi na višini do 2,13 m od tal (Bettinger in Kellogg, 1993). V Švici (Butora in Schwager, 1986) ugotavljajo, da je 90,5 % poškodb na koreninah, korenovcu in deblu do 2 m višine. Na Hrvaškem (Krpan in sod., 1993; Sabo, 1999) ugotavljajo, da se vse poškodbe pri iglavcih in listavcih pojavljajo na višini do 192 cm od tal. Bolj detajlno je poškodbe glede na lokacijo na drevesu pri listavcih razdelil Martinić (Martinić, 1992). V raziskavi ugotavlja, da je največ – 71,5 % poškodb na korenovcu, sledi deblo z 19,8 %, bistveno manj poškodb pa je v krošnji 5,1 % in na koreninah 3,7 %.

2.3.1.10 Starost poškodb na drevesih

Ugotavljanje starosti poškodb je pomembno za ugotavljanje časa nastanka poškodb in za ugotavljanje predhodne poškodovanosti dreves v sestoji. S tem indikatorjem lahko ugotovimo kakšna je bila poškodovanost sestoja zaradi predhodnih posegov ter kakšen je prirast poškodb po zadnjem posegu v sestoj. Dejstvo je, da se poškodbe dreves v sestoji kopičijo (Košir, 1998a, 2000), saj so po vsakem naslednjem posegu v gozd poškodovana povsem nova drevesa ter del dreves s starimi poškodbami. Pri naslednjih vračanjih v sestoj se nam dogaja, da imamo poleg nepoškodovanih še enkrat, dvakrat in večkrat poškodovane osebke, del poškodovanih dreves pa se odstrani iz sestoja.

Preglednica 12: Starost poškodb glede na razvojno fazo in spravilno sredstvo slovenskih in tujih avtorjev

Avtor	Mešanost sestojev, spravilno sredstvo	Razvojna faza	Starost poškodb		
			Nove	Stare	Stare in nove
Šolar, 1994	Mešani sestoji, PKT	mlajši debeljak	52	29	19
Klančnik, 2001	Pretežno iglasti sestoji, PKT	drogovnjak	53	45	2
Douda, 1988a	Mešani sestoji, PKT	debelsak, drogovnjak	14	11	2
Klun in Poje, 2000	Mešani sestoji, zgibnik	debelsak	10	42	10
Serec, 1997	Iglasti sestoji, zgibnik	mlajši debelsak	20	53	26

Košir (Košir, 1998a) ugotavlja, da se s starostjo sestoja večja delež starih poškodb in tudi drevja s starimi in novimi poškodbami. Analogno se manjša delež na novo poškodovanih dreves, saj je zato vse manj možnosti.

2.3.1.11 Vpliv časa izvedbe del na poškodbe sestoja

Čas sečnje, torej čas izvajanja del, je med pomembnejšimi dejavniki poškodovanosti sestojev. V grobem delimo sečnjo na letno in zimsko. Pozimi naj bi drevesa zaradi svoje neaktivnosti bila manj dovzetna za poškodbe. To domnevo potrjuje več domačih in tujih raziskav. V iglastih sestojih na Pohorju je bilo ugotovljeno (Ivanek, 1976), da pri spravilu s prilagojenim kmetijskim traktorjem poleti nastane od 19 do 20 % poškodb, pozimi pa od 6 do 9 %. Pri spravilu z gozdarskim zgibnikom so deleži podobni; poleti od 17 do 19 %, pozimi le 10 %. V raziskavi, izvedeni v listnatih drogovnjakih in debelskih, ugotavljajo (Žagar, 1982), da je odstotek poškodovanosti pri letni sečnji in spravilu za 13 % večji, kot pri delu pozimi. Do podobnih zaključkov so prišli tudi tuji avtorji, ki poročajo, da so zimske poškodbe manjše in ne tako globoke, kakor v poletnih sečnjah (Isomäki in Kallio, 1974). Podobno ugotavljajo tudi v Švici (Butora in Schwager, 1986), kjer so ugotovili, da je v poletnih sečnjah pogostost poškodb za 25 % večja, prav tako pa so pri spravilu ugotovili za 55 %, pri sečnji za 40 % večje poškodbe kot pri zimski sečnji.

2.3.1.12 Vpliv lokacije drevesa v sestoji na verjetnost poškodbe

Lega poškodb glede na lokacijo drevesa v sestoji je zanimiva, saj nam pove nekaj več o lokaciji drevesa v sestoji. V primerljivi literaturi zasledimo delitev na dva razreda (ob vlaki in v sestoji), pogosto pa tudi delitev na tri razrede (ob prometnici, v sestoji in na razlesnici).

S precejšnjo gotovostjo lahko trdimo, da večina poškodovanih dreves leži ob vlakah (Vasiliauskas, 2001). V eni od finskih študij poročajo o 81 % poškodovanosti dreves blizu vlak (Hannelius in Lillandt, 1970), v drugi pa o tem, da je le 10 % poškodovanih dreves v sestoji oddaljenih za več kot 5 m stran od sredine vlake. Podobno ugotavljajo v ZDA, kjer

so ugotovili (Ostrowsky in Dirkman, 1991), da je 82 % poškodb lociranih do 7,62 m od sredine vlake. V primerjavi več tehnologij ugotavljajo (Han in Kellogg, 2000b), da je bilo v razdalji 4,6 m od sredine sekundarnih prometnic povzročenih 56 % poškodb sestoja pri žičnici, 64 % pri strojni sečnji in 80 % pri spravilu s traktorji.

Razloge za takšno porazdelitev poškodb so podrobno razčlenjevali v Švici (Butora in Schwager, 1986). V raziskavi so ugotovili veliko večjo poškodovanost dreves, ki so v pasu do 40 m od vlake. Ugotovili so, da je verjetnost poškodbe drevesa v sestoku večja, čim bližje vlake je. Razlog je v tem, da mimo dreves, ki so od vlake oddaljena 80 m poteka spravilo bistveno manjšega števila hlodov, kot mimo dreves, ki so od vlake oddaljena 10 m. Posledično je verjetnost za nastanek poškodbe na drevesih blizu vlake večja, saj se mimo njih spravlja večje število hlodov. Pri nas je primerjava razlik med poškodbami dreves v sestoku in ob vlakah (Ivanek, 1976), pokazala, da značilnih razlik ni. Rezultate študije predstavljamo v preglednici 13. Kot vidimo, je poškodovanost glede na lokacijo precej variabilna. Ponekod odstotki poškodovanosti dreves v sestoku celo presegajo poškodbe ob vlaki, drugje je poškodovanost v sestoku enaka poškodovanosti ob vlaki.

Preglednica 13: Strukturni deleži števila poškodovanih dreves v sestokih in ob vlakah glede na razvojno fazo in spravilno sredstvo (Ivanek, 1976)

	Letvenjak (50 – 60 let)		Drogovnjak (70 – 80 let)		Debeljak (90 – 100 let)	
	[%]					
Spravilno sredstvo	PKT*	zgibnik	PKT*	zgibnik	PKT*	zgibnik
Lokacija poškodbe	v sestoku	ob vlaki	v sestoku	ob vlaki	v sestoku	ob vlaki
V sestoku	23,1	16,0	20,0	16,3	17,9	19,4
Ob vlaki	37,2	26,1	15,6	21,1	29,2	20,8

* PKT je okrajšava za prilagojeni kmetijski traktor

Na Hrvaškem so v listavcih (Martinić, 1992) ugotovili, da je v sestoku 61,5 % poškodb, ob vlaki pa le 38,5 %, torej je bilo poškodb dreves v sestoku več kot ob vlakah. Bolj intenzivno se je s tem vprašanjem ukvarjal Papac (Papac, 1992), ki je ponovil eksperiment podoben švicarskemu, a zmanjševanja poškodovanih dreves z oddaljenostjo od vlake ne ugotavlja. Razlog je lahko v majhnem vzorcu.

2.3.1.13 Raziskave poškodovanosti dreves v Severni Ameriki

Kot ugotavljajo že ameriški avtorji sami (Hassler in sod., 1999) je »število različnih metodologij za ugotavljanje poškodb dreves po pridobivanju lesa skoraj enako številu študij«. To je tudi razlog, da smo poglavje o metodologijah in poškodbah sestoja v Ameriki postavili v posebno poglavje. Stanje se izboljša po letu 2000, saj se je stroka začela bolj aktivno ukvarjati z metodologijami. Predstavljena je metodologija (Stehman in Davis, 1997) stratificiranega vzorčenja poškodb dreves v sestoji, ki je razdeljen na stratum ob vlaki in na stratum v sestoji. Ob vlaki vzorčijo z metodo blokov v sestoji pa sistematično, z metodo krožnih ploskev. Bloki so kvadratne ploskve, ki so položeni pravokotno na prometnico in segajo 3 m na vsako stran vlake. Z načini in stopnjami vzorčenja so se ukvarjali tudi drugi (Han in Kellogg, 2000a), a nikjer ne omenjajo podrobne razdelitve poškodb glede na velikost ali starost. Pozitiven vpliv teh del na nadaljnje raziskave je v tem, da definirajo poškodbe kot poškodbe kateregakoli dela drevesa (ne samo debla) in da usmerjajo avtorje k ugotavljanju poškodb na vseh drevesih, ne samo na izbrancih.

Primerjave med avtorji nadalje otežujejo tudi različne mere, s katerimi ugotavljajo poškodbe. Le-te so opredeljene, kot odstotki poškodovanih dreves glede na vrsto, skupno velikost odrgnine v kvadratnih čevljih na aker in odstotek odrgnin razdeljen v tri razrede glede na drevesno vrsto (Bettinger in Kellogg, 1993). Kelley (Kelley in sod., 1983) poroča o odstotku poškodovanih dreves glede na premer drevesa. Drugi avtorji (Lamson in sod., 1985) uporabljajo za mero število uničenih dreves na aker (0,4047 ha), odstotek preostale temeljnice, ki je bila uničena in število dreves na aker z odrgninami. Prav tako uporabljajo za mero temeljnico po drevesnih vrstah in odstotek poškodovane temeljnice. Omenili smo samo nekaj primerov, a očitno je, da so primerjave že med samimi avtorji zelo problematične, če ne nemogoče. Dejstvo pa je, da so te študije med prvimi, ki omenjajo poškodbe pri delu s strojno sečnjo in stroji za podiranje in zbiranje lesa ter drevesno metodo. Iz tega razloga jih tudi omenjamo.

Prav tako v literaturi težko najdemo definicijo poškodbe glede na njeno velikost. Šele Fajvan (Fajvan in sod., 2002) poda bolj detajlno definicijo velikosti poškodb. Poškodbe so ugotavljali na izbrancih in samo na prvih 4,9 m višine debla. Poleg tega so metodo izboljšali z ugotavljanjem poškodb na koreninah in korenovcu (30 cm od tal). Poškodbe na ostalih delih drevesa (drugi in tretji hlood ter krošnja) so ugotavljali le z odstotkom poškodovanosti. Velikost poškodbe delijo na tri razrede (Bustos in sod., 2010): majhna poškodba je manjša od 65 cm² srednja sega od 66 do 323 cm², velika poškodba pa je poškodba večja od 323 cm².

V raziskavi sečnje z motorno žago in spravila s traktorjem ugotavljajo (Fajvan in sod., 2002), da je na ploskvah ostalo 1380 dreves, od tega je bilo 697 poškodovanih in 170 uničenih, torej je bila poškodovanost 37 %. V drugi raziskavi traktorskega spravila ugotavljajo poškodbe na 8,5 % debel izbrancev (Dwyer in sod., 2004). V listnatih sestojih so

ugotavljali tudi poškodovanost dreves po opravljenem delu s traktorji (Lamson in sod., 1985). Ugotavljali so več vrst poškodb, od katerih nas najbolj zanimajo odrgnine. Ugotovili so 15 % poškodovanost, sklepamo pa, da so ocenjevali poškodbe le na izbrancih. Povprečna velikost poškodbe je bila 70 cm^2 . Podobne deleže poškodovanosti ugotavljajo tudi druge (Verrier, 1978). V mešanih gozdovih so ugotavljali poškodbe po spravi lesa (Bustos in sod., 2010) z zgibnim polprikoličarjem (poškodbe po sečnji s strojem za sečnjo so predhodno izločili). Ugotavljajo 73 % poškodovanost dreves, od katerih je imelo manjše poškodbe debla 67 % poškodovanih dreves, večje poškodbe pa 32 % dreves. Prav tako poročajo, da je na ploskvah 27 % dreves utrpelo poškodbe korenin.

Različno poteka tudi označevanje in izbira drevja za sečnjo. V splošnem lahko za evropske avtorje trdimo, da večina uporablja odkazilo dreves za sečnjo, v Severni Ameriki pa uporabljajo več pristopov. Bettinger (Bettinger in Kellogg, 1993) poroča, da je gozdar označil le drevesa, ki se jih ne sme posekati na majhnem delu površine, velikosti 1 ha. Na ta način je strojnik vedel kakšna lesna zaloga se pričakuje po sečnji. Podobno so delali v več drugih raziskavah (Camp, 2002; Dwyer in sod., 2004). V raziskavi (Cline in sod., 1991) izvedeni v listnatih in mešanih sestojih poročajo, da so ugotovili razliko med poškodbami dreves v sestojih, kjer so drevesa odkazali, in tam, kjer jih niso. Razlika sicer ni značilna, a v označenih sestojih naj bi bilo poškodb več. V raziskavi v Mainu (Nichols in sod., 1994) so uporabili metodo blokov in odkazilo, pri katerem so uporabili označevanje dreves za sečnjo.

Poškodbe pri popolni strojni sečnji v iglavcih je proučevalo več avtorjev. Ugotavljajo (Han in Kellogg, 2000b), da stroj za sečnjo povzroči več poškodb (63,8 %), kot zgibni polprikoličar (28,6 %). V drugi raziskavi so ugotovili 29,4 % poškodovanost pri popolni strojni sečnji (Han in Kellogg, 2000a). Spravilo lesa pa povzroči večje poškodbe, saj je bila povprečna poškodba po sečnji velika $55,8 \text{ cm}^2$, po spravi pa $69,2 \text{ cm}^2$. Avtor ugotavlja tudi, da so poškodbe korenin po spravi lesa večje. V izogib poškodbam pri sečnji priporoča optimalno gostoto sečnih poti in čim manj zavojev v izogib poškodbam pri spravi lesa.

Poškodbe sestoja pri sečnjah za biomaso je ugotavljalo več avtorjev. Pri pridobivanju gozdne lesne biomase za sečnjo večinoma uporabljajo stroje za podiranje in zbiranje lesa, za spravilo pa zgibne traktorje s kleščami in sedlaste traktorje s kleščami. Sortiment se izdeluje na skladiščih v gozdu. V iglavcih s temeljnico po sečnji $17 \text{ m}^2/\text{ha}$ ugotavljajo 17,6 % poškodovanost preostalih dreves v sestoju (Ostrofsky in Dirkman, 1991). Prav tako je raziskava pokazala izrazit trend zmanjševanja poškodb z oddaljenostjo od vlake. Raziskava je zanimiva tudi zaradi precej podrobnega spremljanja velikosti poškodb. Ugotavljajo, da je večina poškodb na deblu in koreninah manjših od $63,5 \text{ cm}^2$. Ugotovitve raziskave o velikostih poškodb prikazujemo v preglednici 14.

Preglednica 14: Odstotek poškodovanih dreves glede na velikost poškodbe v posameznih velikostnih razredih in lokacijo poškodbe (Ostrofsky in Dirkman, 1991)

Velikostni razredi poškodb [cm²]	Odstotki poškodb debla glede na velikostne razrede [%]	Odstotki poškodb korenin glede na velikostne razrede [%]
63,5–190,4	50,4	36,6
190,5–317,4	20,5	26,4
317,5–444,4	10,1	12,7
444,5–517,4	6,5	7,1
517,5–698,4	4,1	4,2
698,5–825,4	3,3	2,3
825,5–952,4	1,2	3,1
> 952,5	4,0	7,7

Raziskava podobne tehnologije pridobivanja biomase (Hartsough, 2003), kjer je bil gojitveni predpis odstranjevanje vseh dreves s prsnim premerom med 10 in 25 cm, je pokazala, da je bilo v sestoji po pridobivanju lesa poškodovanih 23 % izbrancev. Temeljnica pred redčenjem je znašala 37,4 m²/ha, po redčenju pa 21,1 m²/ha. Gostota dreves pred posegom je znašala 1280 dreves/ha, po posegu pa 343 dreves/ha.

Poškodbe pri žičničnem spravilu je ugotavljalo več avtorjev. 30 % poškodovanost je ugotovil Fairweather (Fairweather, 1991). Raziskava treh načinov redčenja (Kellogg in sod., 1986) je pokazala, da je pri sečnji na golo 12 % poškodovanih dreves (na robu delovišča), pri kratki razdalji med preostalimi drevesi so zabeležili 47 % in pri dolgi razdalji med preostalimi drevesi 61 %. Poroča tudi, da je večina poškodb nastala v razdalji do 6,1 m od linije. Poškodbe po sečnji in spravilu so proučevali v Kaliforniji, kjer so ugotovili (Miles in Burk, 1984) 25 % poškodovanost dreves zaradi sečnje in 34 % poškodovanost zaradi spravila z žičnico. V Britanski Kolumbiji so ugotovili 33,2 % poškodovanost stoječega drevja (Howard, 1996). Rezultate iz te raziskave prikazujemo v preglednici 15. Podobno, kot Miles in Burk so ugotavljali tudi poškodbe po vzroku. Ugotovili so, da sečnja poškoduje 14,5 %, spravilo po trasi 19,2 % dreves, največ poškodb pa povzroči privlačenje lesa do linije – kar 56,3 %. Zaradi dveh ali več vzrokov je bilo poškodovanih 9,9 % dreves.

Preglednica 15: Povzetek rezultatov raziskave; Podatki o sestoji pred sečnjo in po njej ter deleži poškodovanosti glede na velikost in lokacijo poškodb dreves v sestoji (Howard, 1996)

Podatki o sestoji pred in po redčenju		Sestoj 1	Sestoj 2	Skupaj [%]
Jakost redčenja [% volumna]		33	25	
Povprečen prsni premer odstranjenega drevesa [cm]		20	22	
Povprečen prsni premer dreves, ki so ostala v sestoji [cm]		24	26	
Razredi velikosti poškodb dreves [cm ²]	0-25			29,3
	26-100			27,0
	101-225			19,0
	> 225			24,6
Lokacije poškodb dreves	Korenine			12,2
	Prvi meter			36,2
	Spodnja tretjina debla			9,1
	Srednja tretjina debla			0,8
	Zgornja tretjina debla			0,2
	Večkrat in na več mestih poškodovano drevo			41,6

2.3.1.14 Raziskave poškodovanosti dreves s sodobnimi tehnologijami kratkega lesa

Hkrati z uvajanjem strojne sečnje oziroma sodobnih tehnologij kratkega lesa smo v Sloveniji začeli proučevati tudi poškodovanost dreves. Tako že leta 2000 (Košir in Robek, 2000) poročajo o uporabi metode ploskev s sistematičnim vzorčenjem pri ugotavljanju poškodb drevja. Ta metoda se uporablja tudi v vseh ostalih raziskavah na naših tleh. V tuji literaturi zasledimo več načinov vzorčenja. Med najbolj pogostimi so metode krožnih ploskev s sistematičnim ali naključnim vzorčenjem ter metoda blokov.

2.3.1.14.1 Delež poškodovanih dreves v sestoji po strojni sečnji in spravi lesa z zgibnim polprikoličarjem

V raziskavi na objektu, kjer so prevladovali iglavci, predvsem bor (Košir in Robek, 2000), so pri iglavcih ugotovili 8 % poškodovanost dreves po strojni sečnji in spravi lesa, pri listavcih pa 13 %. Vzorčili so na 2,6 % površine delovišča. Rezultati druge raziskave v iglavcih (Delavec, 2003) se s to študijo precej dobro ujemajo, saj so ugotovili 8,2 % poškodovanost dreves v iglavcih in listavcih. Podatke o sestojih, v katerih so bile izvedene raziskave, prikazujemo v preglednici 16.

Preglednica 16: Podatki o strojih in deloviščih ter gojitvenih parametrih slovenskih raziskav

Avtor	Košir in Robek, 2000	Delavec, 2003
Sečnja	Timberjack 1270B	Timberjack 1270B
Spravilo	Timberjack 1410	Timberjack 1110
Drevesna vrsta	črni bor 16,4 %, rdeči bor 71,6 %, cer 8,1 %, ostalo 3,7 %	smreka 66 %, jelka 32 %, bukev 2 %
Nadmorska višina [m]		1110–1260
Naklon		10°
Velikost delovišča [ha]		2,56
Število dreves pred redčenjem [n]	1646	
Lesna zaloga m ³ /ha	80–503	
Jakost odkazila		124,11 m ³ /ha
Jakost redčenja	25 % lesne zaloge, 77 m ³ /ha	31 % lesne zaloge
Povprečno neto drevo	0,11 m ³ /drevo	
Povprečno bruto drevo		0,22 m ³ /drevo

V tuji literaturi so razlike med raziskavami poškodovanosti precej velike. Na Slovaškem (Ferenčík in Stanovský, 2011) so v dveh bukovih sestoju po strojni sečnji ugotovili 14 in 24 % poškodovanost dreves v sestoji. V Skandinaviji ugotavljajo nižje odstotke poškodovanosti kot v naših raziskavah in v ZDA. Na Norveškem v smrekovih sestoju ugotavljajo (Fjeld in Granhus, 1998) 11,6 % poškodovanost. Na Švedskem so v sestoju rdečega bora (Lageson, 1997) za tri različne načine dela ugotavljali poškodovanost okrog 5 %. Za redčenje tankih dreves (thinning from below) so ugotovili 5 % poškodovanost sestoji, za nadzorovano redčenje debelejših dreves (thinning from above) 4,6 % poškodovanost in za enak način dela brez nadzora 5 % poškodovanost. V drugi zelo obširni raziskavi poškodb dreves pri redčenjih (Fröding, 1992b) so za strojno sečnjo ugotovili 5,9 % poškodovanost. Na Finskem so proučevali poškodbe dreves po strojni sečnji (Siren, 1982) in po spravilu z zgibnim polprikoličarjem (Siren, 1981). Strojna sečnja je bila proučevana v 15 sestoju, kjer poročajo o povprečni poškodovanosti 11,1 %. Poškodbe so ugotavljali na več deloviščih, na katerih je poškodovanost segala od 5 % na najmanj poškodovanem delovišču do 21,9 % poškodovanosti na najbolj poškodovanem delovišču. V raziskavi o spravilu lesa pa poročajo o izredno nizkih deležih poškodovanosti, ki naj bi dosegala le 1 % poškodovanosti. Razlog tako nizkih deležev najverjetneje leži v drugačnem načinu izračunavanja deleža poškodovanosti in v bistveno manjših gostotah drevja pri redčenjih.

V ZDA ugotavljajo precej višje deleže poškodovanosti. Razloge za to smo podrobneje predstavili v poglavju 2.3.1.13. Po strojni sečnji in spravilu v iglavcih (Bettinger in Kellogg, 1993) ugotavljajo 39,8 % poškodovanost dreves v sestoji. Prav tako so v iglavcih v Oregonu (Han in Kellogg, 2000b) ugotovili poškodovanost raziskovalnih sestojev v razponu od 31,9 do 41,3 %. Prag poškodb v tej raziskavi je bil 60 cm². Višje odstotke poškodovanosti sestoji pa ugotavljajo v Washingtonu, kjer poročajo o 47 % poškodovanosti.

V Mainu (Heitzman in Grell, 2002) so za smrekove sestoje ugotovili širok razpon poškodovanosti in sicer med 26,8 in 40,3 %.

2.3.1.14.2 Velikost poškodb na drevesih po strojni sečnji in spravilu lesa

Slovenski avtorji glede porazdelitve velikosti poškodb pri strojni sečnji ugotavljajo, da večina poškodb nastane do velikosti 100 cm². Na Žekancu (Košir in Robek, 2000) je bilo ugotovljeno, da do te velikosti nastane 67 % poškodb, drugi avtorji (Delavec, 2003) pa poročajo o 54 % poškodovanosti dreves v sestoji.

Preglednica 17: Ugotovljeni odstotki poškodovanosti glede na posamezne razrede velikosti poškodb na drevesih

Avtor	Razredi velikosti poškodb [cm ²]				
	10-29	30-49	50-99	100-199	Nad 200
Košir in Robek, 2000	28	26	13	13	21
Delavec, 2003	36	9	9	0	46

Primerjave s tujimi raziskavami pokažejo na razlike v mejah razredov poškodovanosti. Bettinger (Bettinger in Kellogg, 1993) poroča, da znaša skupna velikost poškodb na objektu 2,94 m²/ha ter da je velikost povprečne poškodbe 170 cm²/ha. Podobne enote uporabljajo tudi v Oregonu (Han in Kellogg, 2000b), kjer poročajo o manjših skupni velikosti poškodb. Le-te so bile na dveh objektih med 2,43 in 2,54 m²/ha, na tretjem objektu pa so bile bistveno manjše – le 1,12 m²/ha. O nekoliko manjših pošodbah poročajo iz Slovaške, kjer so ugotovili (Ferenčík in Stanovský, 2011), da je velikost povprečne poškodbe 108 cm², ugotovljena skupna velikost poškodb pa je bila 1,81 m²/ha. Na Norveškem ugotavljajo (Fjeld in Granhus, 1998), da je povprečna poškodba na drevesih s prsnim premerom manjšim od 10 cm 79 cm², za drevesa s prsnim premerom večjim od 10 cm pa je velikost povprečne poškodbe 105 cm². Bolj natančno o strukturi poškodb poročajo v Mainu. Rezultate njihove raziskave podajamo v preglednici 18.

Preglednica 18: Rezultati raziskave (Heitzman in Grell, 2002) ter ugotovljeni odstotki poškodovanosti glede na posamezne razrede velikosti poškodb

Odstotek poškodovanosti [%]	Velikostni razredi poškodb [cm ²]					
	< 12,4	12,5-25,4	25,5-38,1	38,2-76,2	76,3-127	> 127
40,3	84,25	9,25	3,25	2,3	0,5	0,5
26,8	67,75	17,25	6,5	5,0	1,75	1,75

V raziskavi 403 sestojev na Švedskem (Fröding, 1992b) poškodbe dreves v sestoji sicer precej podrobno delijo (preglednica 19), a je potrebno opozoriti, da vrednosti v preglednici veljajo za vse tehnologije, ne samo za strojno sečnjo.

Preglednica 19: Rezultati raziskave in ugotovljeni odstotki poškodovanosti ter razredi poškodovanosti dreves

Avtor	Odstotek poškodovanosti [%]	Velikostni razredi poškodb [cm ²]			
		0–14	15–100	100–200	> 200
Fröding A., 1992b	5,9	23,9	11,3	1,1	1,2

Na Finskem v sestoji bora in smreke za kombinacijo več tehnologij sečnje in spravila ugotavljajo 71,5 % poškodb v razredu od 99 do 199 cm² in 28,5 % v razredu nad 200 cm² (Siren, 1982). V drugi raziskavi, ki se je ukvarjala z različnimi spravnimi sredstvi (Siren, 1981), ugotavljajo 54,8 % poškodb v razredu od 99 do 199 cm² in 43,7 % v razredu nad 200 cm². Če povzamemo, lahko ugotovimo, da spravilo povzroča večje poškodbe.

2.3.1.14.3 Lokacija poškodb na drevju v sestoji po strojni sečnji in spravilu lesa

V Sloveniji ugotavljamo, da je pri strojni sečnji malo poškodb krošnje in vej. Na Žekancu so ugotovili (Košir in Robek, 2000), da je na deblu nastalo 68 % poškodb, na korenovcu 13 % in na koreninah 11 % poškodb. Na Gorenjskem (Delavec, 2003) so na deblu ugotovili 28 % poškodb, na korenovcu 36 % in na koreninah 36 % poškodb dreves v sestoji.

Ugotovitve iz tuje literature se skladajo z ugotovitvami naših raziskovalcev. Bettinger (Bettinger in Kellogg, 1993) ugotavlja, da je večina poškodb blizu tal. Do višine 2,13 m so ugotovili 82,7 % poškodb. Treba je poudariti, da poškodb korenin v raziskavi niso ugotavljali. V Mainu so ugotovili, da so vse poškodbe na višini od tal do 2,7 m, vendar pa moramo povedati, da so v raziskavi ugotavljali le poškodbe debla. Na Slovaškem (Ferenčík in Stanovský, 2011) so na deblu nad 1 m višine od tal ugotovili 25 % poškodb, na deblu do 1 m od tal 42 % poškodb, na korenovcu 22 % poškodb in na koreninah le 1 % poškodb. Na Norveškem (Fjeld in Granhus, 1998) ugotavljajo 26 % poškodb na deblu nad 1 m višine od tal, na koreninah 12 %, največ poškodb (62 %) pa so ugotovili na deblu od tal do 1 m višine. Poškodb korenovca niso ugotavljali.

V drugi švedski raziskavi (Fröding, 1992b) ugotavljajo $82,3 \pm 2,0$ % poškodb debla in $17,7 \pm 1,9$ % poškodb korenovca in korenin. Ugotovljeni podatki veljajo za več tehnologij, ne le za strojno sečnjo.

Na Finskem so za različne tehnologije spravila lesa v iglavcih (Siren, 1981) ugotovili 55 % poškodb debla, 36,8 % poškodb korenin in 8,2 % poškodb korenovca.

2.3.1.14.4 Lokacija poškodb dreves v sestoji po strojni sečnji in spravilu lesa

Tuji avtorji pogosto ugotavljajo poškodbe dreves v sestoji glede na lokacijo drevesa. V raziskavi v smrekovih sestojih (Heitzman in Grell, 2002) poročajo o izrazitem trendu večje poškodovanosti ob prometnici. Na prvem objektu so ugotovili 43 do 60 % poškodovanost dreves ob prometnicah, na drugem objektu, v katerem so delali z velikim strojem, pa so

poškodovanosti nekoliko nižje in segajo od 30 do 43 %. Zanimivo je, da so z velikim strojem ugotovili nižje poškodovanosti dreves ob prometnicah. Res pa je, da so na obeh objektih delali različni strojniki.

2.3.1.15 Sklep pregleda literature

Iz pregleda literature lahko povzamemo, da metode raziskovanja poškodb dreves v sestojih v svetu in pri nas niso objektivizirane. Avtorji različno definirajo prag poškodbe, prav tako velikokrat izpuščajo ugotavljanje poškodb na določenih delih drevesa, ali pa poškodbe ugotavljajo le na izbrancih. Zaradi tega je rezultate raziskav težko posploševati in uporabljati stare raziskave za neposredno primerjavo.

Primerjave med raziskavami otežuje tudi dejstvo, da se s spremembo tehnologije spremeni tudi način in stopnja vzorčenja. Razlogov za to je več. Če primerjajmo strojno sečnjo in klasične oblike sečnje z motorno žago in spravirom s traktorjem ali žičnim žerjavom, lahko ugotovimo, da je gostota prometnic pri strojni sečnji bistveno večja, kot pri klasičnih tehnologijah. Iz tega razloga so metode, ki so uporabne pri klasičnih tehnologijah neprimerne za uporabo pri strojni sečnji. Raziskovalci tako za proučevanje poškodb po strojni sečnji večinoma uporabljajo metode krožnih ploskev in blokov.

2.3.2 Poškodbe tal

Deli tega poglavja poročila so objavljeni v končnem poročilu projekta CRP V4-1126 Možnosti in omejitve pridobivanja biomase iz gozdov.

Poškodbe tal so eden izmed vplivov, ki jih ima pridobivanje lesa na gozd. Pri poškodbah tal je najbolj problematična vožnja po gozdnih tleh, saj z vožnjo po tleh spreminjamo lastnosti tal.

Z vožnjo po naravnih tleh, zakonitostmi, silami, lastnostmi podlage in strojev za vožnjo se ukvarja veda imenovana teramehanika. Gozdarstvo ni prva stroka, ki si zastavlja vprašanja o prevoznosti naravnih tal ter vplivih in učinkih, ki jih ima vožnja na tla. Pred nami si je vprašanja o prevoznosti tal zastavljala predvsem vojska, ki je tudi glavni pobudnik začetkov teramehanike. Veliko dela o vplivu vožnje na tla so naredili tudi v kmetijstvu, saj so opazili, da vožnja spreminja lastnosti tal, kar lahko sčasoma vpliva na količino pridelka. V našem delu smo se oprli na teramehaniko, iz katere smo črpali razumevanje zakonitosti prevoznosti terena in posledično tudi vplive na tla.

Glavni objekt in cilj našega raziskovanja predstavlja strojna sečnja, oziroma z njo povezana vožnja po gozdnih tleh. V Sloveniji je poškodbe tal v preteklosti proučevalo več avtorjev. Ukvarjali so se z vplivom prometnic na gozdni prostor (Dobre, 1985), kjer predvsem za gozdne ceste ugotavljajo, da so skupaj z prometom, ki po njih poteka, vir negativnih vplivov na gozdna tla (Dobre, 1986). Kasneje so tudi širše raziskovali ukrepe za zmanjšanje negativnih posledic pri gradnji gozdnih prometnic (Levstek, 1991) ter negativne vplive na tla pri sekundarnih gozdnih prometnicah (Rebula, 1991).

Veliko pozornosti je bilo posvečene presoji vplivov gradnje in uporabe gozdnih prometnic na okolje (Šubic, 1991). Pri nas je bilo tudi več poskusov vrednotenja poškodb tal na podlagi padca prirastka lesa vzdolž gozdnih prometnic. Poskusov vrednotenja je bilo več (Sterle, 1991; Trafela, 1986), a je ugotovitve naših in tujih raziskav (Standish in sod., 1988) težko posplošiti.

Nobena od teh vej raziskovanja ni direktno primerljiva z poškodbami tal, ki jih obravnavamo v našem delu. Problematika vožnje po naravnih tleh se je pojavila šele s prihodom strojne sečnje in pojavom sečnih poti, ki jih ta tehnologija za delo potrebuje. Sečne poti namreč niso in ne smejo biti grajene, temveč so del gozda, ki se sme uporabljati le za namene strojne sečnje, ne pa tudi za vožnjo z drugimi pravilnimi sredstvi. Pregled literature z vidika odprtosti sestojev in motene površine sestoja, ki sta potrebni za strojno sečnjo, smo zastavili nekoliko širše, saj nas ne zanima samo strojna sečnja. Izbor literature za primerjave je bil zelo selektiven, saj je raziskav s tega področja zelo veliko, mi pa predstavljamo le najbolj primerljive z vidika metod in objektov.

Ekološke razmere se med državami razlikujejo, prav tako se razlikujejo tudi metode merjenja poškodb tal. Neposredne primerjave naših ugotovitev z ugotovitvami v drugih državah so torej zelo otežene, če ne že nemogoče. Metode za ocenjevanje poškodb tal po prehodu strojev na vlakih in na sečnih poteh so pri nas v razvoju. Pričujoče delo je poskus uporabe in razvoja metode za ugotavljanje poškodovanosti tal, ki temelji na nekaterih tujih raziskavah (Poršinsky, 2005a; Saarilahti, 2002a). Analize motenj tal pri danih razmerah bi v prihodnosti za posamezen stroj lahko omogočale napovedovanje obsega motenj tal. Zanima nas torej napovedovanje obsega motenj tal, predvsem globina kolesnic.

Za napovedovanje talnih sprememb moramo več povedati o lastnostih tal in načinih za proučevanje tega kompleksnega sistema. Zaradi kompleksnosti proučevanega objekta se je večina raziskovalcev zatekala k modelom. V pregledu literature bomo predstavili načine in pristope k modeliranju tal, modeliranju kolesa in pristope k modeliranju celotnega sistema, torej odnosa kolo – tla. Razumevanje odnosov v teh modelih je namreč potrebno za napovedovanje in razumevanje motenj tal.

Pri pregledu literature navajamo tudi ugotovljene vplive vožnje na tla in ukrepe za zmanjševanje negativnih vplivov vožnje na tla.

2.3.2.1 Tehnologije pridobivanja lesa in poškodbe tal

Ves transport v sestoju se izvaja po tleh, ki obenem predstavljajo tudi substrat za rast dreves (Wästerlund, 1992). V naših razmerah poteka skoraj brez izjem tudi znotraj rastočega sestoja (živa drevesa pri redčenjih in pomlajen sestoj v končnih sečnjah), medtem ko v golosečnih sistemih temu ni vedno tako.

V gozdarstvu poznamo več različnih tehnologij, ki imajo različne vplive na tla. Na tla slabo vplivajo predvsem pravilna sredstva, ki po tleh vozijo, medtem ko je žično spravilo (če je izvedeno pravilno) tlem prijazno. Vprašajmo se, zakaj je sodobna tehnologija strojne sečnje pri nas problematizirana. Dejstvo je namreč, da traktorji v gozdu pri nas delajo že več kot 50 let, vožnja pa v smislu poškodb tal do sedaj ni bila predmet polemike. Na vprašanje lahko vsaj deloma odgovorimo s primerjavo dostopa do drevesa, ki jo obe tehnologiji potrebuje. Potrebna gostota prometnic za traktorsko spravilo je relativno nizka, saj traktor breme zbira na območju, ki je veliko toliko, kot je dolga jeklena vrvi navita na bobnu vitla, razdalja zbiranja pa je večja še za razdaljo usmerjenega podiranja dreves.

Vendar to ni edini razlog. Košir (Košir, 2010b) navaja, da ima sodobna tehnologija kratkega lesa še danes negativen predznak zaradi nenadzorovanega uničevanja gozdnih virov v preteklosti. Tehnologija je namreč potrebovala velike koncentracije in je bila optimizirana za velike sečnje na golo. Premik se je zgodil v osemdesetih letih, ko so ti stroji postali primerni tudi za delo pri redčenjih. Predvsem pomemben je bil prehod od dvoprijemnih (ang. double-grip) v enoprijemne (ang. single-grip) stroje za sečnjo. Hkrati pa je potekal tudi premik pri

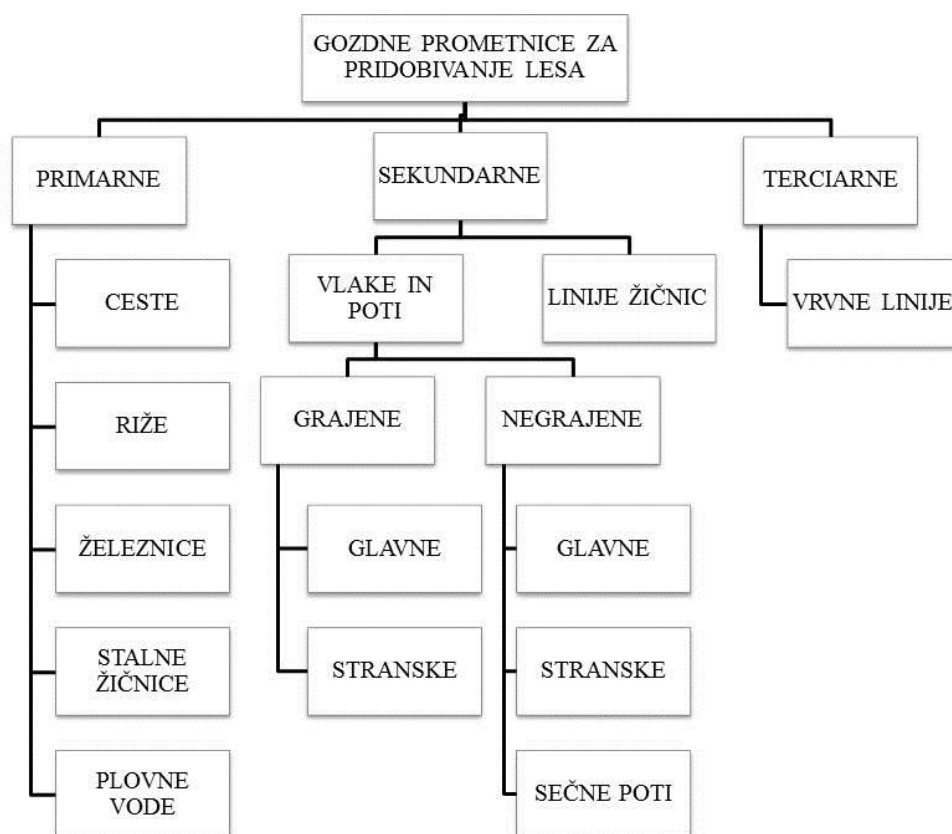
spravilu lesa, kjer so opuščali vlačenje dolgega lesa in prehajali na vožnjo že izdelanih sortimentov z zgibnimi polprikoličarji (Košir, 2010b). Slabe izkušnje iz tujine so vodile k oblikovanju več primerov dobrih praks (ang. best management practices), torej skupkov navodil praktične narave, ki so deloma podprta z raziskavami.

Šele izkušnje in nadaljevanje raziskav bo pokazalo, kakšen vpliv ima strojna sečnja na gozdna tla. Vsekakor lahko trdimo, da ima dobra priprava dela, predvsem primerno izločanje sečnih poti, kakovostna izvedba in kontrola, pomemben vpliv na okoljsko prijaznost tehnologije.

Kakšne so torej osnovne značilnosti tehnologije popolne strojne sečnje, po katerih se razlikuje od drugih tehnologij. Pri popolni strojni sečnji zbiranja lesa ni. Stroj za sečnjo drevo podre, ga oklesti in izdela sortimente. Prav tako v večini primerov opravi tudi sortiranje sortimentov ob sečni poti in jih tako pripravi za zgibni polprikoličar. Stroj mora imeti dostop do vseh odkazanih dreves, oziroma mora biti od vseh dreves odmaknjen največ toliko, kolikor znaša doseg hidravličnega dvigala. To je temeljna zahteva za uporabo te tehnologije. Treba je opozoriti, da je temu pogoju potrebno zadostiti, saj drugače uporaba tehnologije popolne strojne sečnje ni možna. Zahteva po dostopu do vseh dreves v sestoji se odraža v bistveno večji gostoti sekundarnih prometnic, kot je to v primeru klasičnih tehnologij sečnje in spravlja lesa. V Sloveniji namreč prosta vožnja po sestoji ni dovoljena, oziroma jo kontroliramo in skušamo njene vplive omejiti z načrtovanjem omrežja gozdnih prometnic. Stroju za sečnjo sledi zgibni polprikoličar, ki sortimente naloži na prostor za tovor ter jih nato odpelje iz sestoja. Tukaj je torej naslednja posebnost strojne sečnje. V primerjavi s klasičnimi tehnologijami torej tovor vozimo in ga ne vlačimo. Iz vidika porabe energije je vožnja bolj učinkovita kot vlačenje lesa (Krivec, 1967). Dejstvo je, da po sestoji vozijo večja in težja vozila. Zgibni polprikoličar je zaradi prostora za tovor, ki je precej širok in visok, zglobov navkljub manj gibljiv in okreten, zato potrebuje boljše (bolj ravne in široke) sečne poti kot stroj za sečnjo. Kot smo že omenili, glavni vir poškodb tal predstavlja spravilo lesa. Tudi ta tehnologija ni izjema, saj zgibni polprikoličar po sestoji vozi večkrat in močneje vpliva na tla kot stroj za sečnjo.

2.3.2.1.1 Gozdne prometnice

Najprej pojasnimo, kaj v tem delu pomenijo gozdne prometnice in s katerimi gozdnimi prometnicami se pravzaprav ukvarjamo. Gozdne prometnice so grajene in negrajene površine gozda (linije) po katerih se premika stroj ali del stroja (žičnica) z bremenom ali brez njega. V delu ne obravnavamo primarnih in terciarnih prometnic, temveč se ukvarjamo le s sekundarnimi prometnicami. Delitev prometnic je uporabljana že dalj časa (Košir, 2002). Prikazujemo jo na spodnji sliki, vendar smo jo nekoliko priredili.



Slika 1: Vrste prometnic pri pridobivanju lesa, prirejeno po Koširju (Košir, 2002)

Najprej pojasnimo nekaj pojmov iz zakonskih in podzakonskih aktov. Gozdna vlaka je po definiciji grajena ali negrajena gozdna prometnica, namenjena spravilu lesa s pravilnimi sredstvi (Pravilnik, 2009a). Pravilnik opredeljuje grajene gozdne prometnice kot gozdne prometnice, katerih kote planuma v mešanem profilu odstopajo od kote terena za več kot 0,5 m na pretežni dolžini trase, sicer so negrajene gozdne prometnice. V istem pravilniku so določeni tudi minimalni tehnični standardi za izgradnjo vlake:

- širina planuma vlake lahko znaša največ 3,5 m,
- največji podolžni naklon lahko doseže (odvisno od tipa talne podlage) od 12 % na zelo občutljivi podlagi, do največ 40 % na zelo stabilni podlagi,
- prečni naklon pobočne gozdne vlake mora biti zaradi lažjega spravila za 5 do 10 % nagnjen proti notranji strani,
- odvodnjavanje mora biti urejeno s prečnimi jarki, gostote določene s podolžnim naklonom, občutljivostjo podlage in padavinskega režima.

Če povzamemo tehnične zahteve pravilnika, ugotovimo, da sečne poti ne morejo in ne smejo izpolnjevati določenih zahtev za gozdne vlake. Na sečnih poteh ne moremo že vnaprej predpisovati podolžnega naklona, še manj pa prečnega naklona, prav tako pa nikakor ne smemo urejati odvodnjavanja s prečnimi jarki. Za sečne poti prav tako ne sme veljati gozdni

red, saj je polaganje sečnih ostankov na sečne vlake zaželeno, zaradi zmanjševanja poškodb tal.

Gostota sekundarnih prometnic mora zadoščati osnovnemu pogoju, ki je, da z njimi omogočimo transport lesa s celotne površine. Gostota je torej najbolj odvisna od tehnologije sečnje in spravila lesa. Sečne poti so pogojene s tehnologijo strojne sečnje in spravila lesa, ki zahteva, da se stroj pripelje do primerne razdalje od drevesa. Ta razdalja je odvisna od dolžine hidravličnega dvigala na stroju in je med stroji različna. Če strojno sečnjo primerjamo s traktorskim pravilom, ugotovimo, da je minimalna gostota prometnic med tehnologijama različna. Traktorji zato sečnih poti ne smejo uporabljati, temveč se lahko gibljejo le po glavnih in stranskih vlakah.

Glavni namen sečnih poti je torej omogočiti stroju za sečnjo in zgibnemu polprikoličarju ustrezen (potreben) dostop do dreves. Stroja se gibljeta po brezpotju, saj se sečnih poti ne gradi, niti se jih drugače ne popravlja oziroma ureja. Po končanem delu sečne poti ostanejo v sestoji in se jih ne uporablja do naslednjega posega s strojno sečnjo

Poleg zgoraj omenjene delitve prometnic, obstaja še delitev sekundarnih prometnic glede na obremenitev (Košir, 2004). Delimo jih na glavne vlake, stranske vlake in sečne poti. Glavne in stranske so največkrat vnaprej grajene na nosilni podlagi, običajno so daljše, položnejše in bolj obremenjene od stranskih vlak. Pri strojni sečnji se pojavijo še sečne poti, ki niso vnaprej grajene in so s transportom najmanj obremenjene.

Razlogov za odločitev za uporabo termina sečna pot je torej več in ležijo predvsem v pravnem pojmovanju tipa prometnic in delitvi sekundarnih prometnic glede na obremenitev (Košir, 2004). Uporaba termina vlaka torej predvideva določene minimalne standarde, ki jih sečna pot ne sme imeti. Sečna pot je torej po tehnoloških kriterijih negrajena sekundarna gozdna prometnica namenjena sodobnim tehnologijam strojne sečnje in spravila lesa.

2.3.2.1.2 Odprtost gozdov pri tehnologiji strojne sečnje

O potrebi po velikih gostotah sekundarnih prometnic in odvisnosti le-teh od dolžine dvigala, pri uporabi strojne sečnje, poročajo že v raziskavi v Žekancu. Stroj za sečnjo drevesa podira, klesti in kroji ter sortimente zлага v kupe. Zgibni polprikoličar nato po sekundarnih prometnicah les vozi do ceste. Avtorji ugotavljajo, da to z vidika ohranjanja gozdnega okolja prinaša spremembo razmerja med poškodbami drevja in poškodbami tal. V Žekancu je skupna dolžina vseh sekundarnih prometnic znašala 485,86 m/ha. Avtorji ugotavljajo, da je ta gostota prometnic za takšno tehnologijo (stroj za sečnjo je imel doseg dvigala do 10 m) običajna. Povprečna širina primarnih vlak je znašala 366 ± 20 cm, povprečna širina sekundarnih vlak in sečnih poti pa je znašala 346 ± 12 cm. Povprečna širina vseh vlak je znašala 353 ± 15 cm. Na delovišču je bilo ob tokratni sečnji spremenjeno $17,3 \pm 0,6$ % površine tal, kar je skoraj petina površine gozdnih tal na objektu (Košir in Robek, 2000).

Načrtno uvajanje strojne sečnje so v Žekancu proučevali tudi iz gojitvenega vidika. Avtorji so modelirali gostoto pomožnih prometnic. Kot glavne dejavnike, ki vplivajo na gostoto, izdvajajo relief, sestojne razmere in doseg hidravličnega dvigala. Z modeliranjem so ugotovili, da znaša gostota prometnic pri dosegu dvigala 10 m 500 m/ha, pri dolžini 5 m pa 1000 m/ha. Ugotovitve so pokazale, da je zaradi visoke gostote vlak in teže strojev, sečnja z njimi dovoljena le v primernih vremenskih razmerah in izven vegetacijske dobe. Ugotavljajo tudi, da se temeljnica po posegu v sestoji zmanjša za 18 % na račun sečnje na sekundarnih prometnicah (Diaci in Magajna, 2002).

Na postojnskem območju so primerjali sekundarne prometnice pri vlečenju in spravilu lesa in ugotavljali primernost traktorskih vlak za vožnjo lesa z zgibnim polprikoličarjem. Rezultati raziskave kažejo, da je potrebna gostota pravih poti pri traktorskem spravilu za več kot polovico manjša kot pri spravilu lesa z zgibnim polprikoličarjem. Avtor ugotavlja, da le 3 % vlak ni bilo primernih za spravilo lesa z zgibnim polprikoličarjem, da pa je bilo za spravilo lesa potrebnih dodatnih 61 % pravih poti. Ugotovljena skupna gostota vlak za klasične tehnologije je bila 147 m²/ha, za tehnologijo strojne sečnje pa 359 m²/ha. Doseg hidravličnega dvigala, stroja za sečnjo je znašal 15 m. Širina zunanjih robov kolesnic pri klasični tehnologiji je znašala 2,85 m, pri strojni sečnji pa 3,48 m, pri čemer so prometnice ožje pri spravilu navzgor. Izmerjena širina svetlega profila je pri klasični tehnologiji 4,28 m, pri strojni sečnji pa 5,28 m (Žlogar, 2007).

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

2.3.2.1.3 Površina motenih tal v tujih raziskavah

Površina motenih tal je pomembna predvsem zaradi obsega in verjetnosti nastanka poškodb na tleh. Velikost motene površine je tudi močno odvisna od uporabljene tehnologije. V preglednici 20 prikazujemo površine objektov z motenimi tlemi v posameznih objavah tujih avtorjev.

Preglednica 20: Pregled tuje literature na temo poškodb tal in velikosti motenj

Avtor in leto	Sečnja	Spravilo	Površina objekta z motenimi tlemi	Površina velikih poškodb	Debelina vejne preproge
Froehlich, 1978	Motorna žaga	Traktor FMC200 jeklene gosenice	12–15%	4 %, na glavnih vlakah	
Reisinger in sod., 1988	Motorna žaga	Kolesni traktor			
Watt in Krag, 1988	Motorna žaga	Majhni gosenični traktorji	19,6–20,3 %		
Wronski, 1984	Motorna žaga	Forwarder Volvo 971	23 %		
Wood in sod., 2003	Timberjack 1240B, Valmet 911	Timberjack 1210, Valmet860, Hemek TD81	33 %, 42 %, 42 %, 55%		
Vidrine in sod., 1999	Ponsse HS 15 Ergo	Ponsse S 15 ergo	10,9–12,5 %		15,5±3,1
Spinelli in sod., 2010	Motorna žaga	Gosenični traktor Kolesni traktor		2,5–12,0	
Lasak, 1990	Makeri 34T	Makeri 34T	14,9 %		

Površine poškodovanih tal so odvisne tudi od načina gospodarjenja. Za golosečne sisteme poročajo, da je po spravi z goseničnimi traktorji od 25 do 30 % površine tal motenih (Froehlich, 1978), medtem ko nekateri drugi avtorji (Dyrness, 1965 cit. po Froehlich, 1978) poročajo, da je so poškodbe bistveno večje, zabeležili so kar 66 % motene površine.

V preglednem članku o poškodbah tal (Reisinger in sod., 1988) so ugotavljali motenost tal na objektih, na katerih so izvajali delo s kolesnimi traktorji in žičnimi žerjavi. Rezultate raziskave prikazujemo na spodnji preglednici. Pod poškodovana tla so pojmovali tla, na katerih je bil odstranjen opad, a brez vidnega stiskanja tal. Kot močno poškodovana tla so razumeli tla, na katerih je bil izpostavljen mineralni sloj tal, pojavlja pa se tudi premik tal in zbijanje tal.

Preglednica 21: Pregled poškodovanosti tal v odstotkih površine objekta za kolesne traktorje in žične žerjave

Sistem	TR 1	TR 2	TR 3	TR 4	TR 5	TR 6	ŽŽ 1	ŽŽ 2
Poškodovana tla	-	7 %	2 %	12 %	7 %	13%	1 %	16 %
Močno poškodovana tla	34 %	14 %	23 %	25 %	9 %	17 %	0 %	11 %

Kot je razvidno iz preglednice 21, v kateri »TR« pomeni uporabo kolesnega traktorja, »ŽŽ« pa uporabo žičnice, delež motenih tal, ki so poškodovana ali močno poškodovana, niha v razponu od 16 do 37 % za traktorske tehnologije. Delež poškodb tal pri uporabi žičnega žerjava je majhen. Avtorji poleg tega ugotavljajo tudi, da uporaba drevesne metode povzroči več poškodb tal kot uporaba debelne metode, saj pri drevesni metodi ni sečnih ostankov, s katerimi so armirali poškodovane dele vlak. Močno motena in stisnjena tla se pojavljajo predvsem na primarnih vlakih in na skladiščih (Reisinger in sod., 1988). Tudi iz srednje Evrope poročajo o majhnih poškodbah tal pri uporabi žičnih žerjavov v primerjavi s traktorskim pravilom (Modry in Hubeny, 2003).

Dokazano je, da so poškodbe tal hujše na sečnjah na golo, kot pri redčenjih in izbiralnem redčenju. Američani (Dickerson, 1968) poročajo o poškodbah 21 % tal pri sečnjah na golo in 14 % na izbiralnem redčenju. Predvsem je pomembno dejstvo, da je bilo na objektu, kjer so izvajali sečnjo na golo, dvakrat več močno poškodovanih tal. S tem se strinjajo tudi drugi avtorji (Burger in sod., 1985), ki poročajo, da se pri sečnjah na golo vozi po večjih površinah kot pri redčenjih. Potrebno pa je poudariti, da so motnje tal pri golosečnih sistemih sicer večje, a po sečnji vsaj 100 let po sestoji ne vozimo več. Razlika je v primerjavi z redčenji očitna, saj se tu v gozd vračamo na 10 ali 20 let in tako poškodbe tal ponavljamo.

Raziskav v komercialnih redčenjih s strojno sečnjo je več. Avtorji poročajo, da so v tem tipu redčenj prometnice, katere se naredi v prvem redčenju, uporabljane tudi v kasnejših redčenjih. Zaradi tehnoloških omejitev strojne sečnje so razdalje med prometnicami med 15 in 30 m. Če predpostavljamo širino prometnic med 4 in 5,5 m, je motene površine med 12 in 25 %, s čimer se strinja tudi več skandinavskih in severnoameriških avtorjev (Eriksson, 1981; Fröding, 1982; Wästerlund, 1992; Wronski, 1984).

2.3.2.2 Lastnosti tal

Da lahko bolj natančno definiramo poškodbe tal, moramo nekaj več povedati o gozdnih tleh. Tla v gozdu so rezultat delovanja tlotvornih dejavnikov na površinski sloj litosfere. Delovanje pedogenetskih procesov pod pokrovom vegetacije vodi v oblikovanje gozdnih tal. Gozdna tla niso enaka, kot travniška ali njivska tla. Od drugih tal se ločijo predvsem po morfoloških lastnostih. Površje gozdnih tal je pokrito s plastjo organskih snovi, v tleh pa si sledijo talni horizonti z značilno zgradbo in zaporedjem (Robek, 1994).

Tla so zelo heterogena snov, njihova osnovna značilnost je horizontalna in vertikalna anizotropnost, to je spremenljivost lastnosti v prostoru. Izgled in obliko tal opisujemo z morfološkimi lastnostmi. V povezavi s horizontalno anizotropnostjo govorimo o zunanji morfologiji tal, v povezavi z vertikalno anizotropnostjo pa o notranji morfologiji tal. Pri notranji morfologiji nas zanima določanje vrste in zaporedja talnih horizontov, ki so podlaga za klasifikacijo tal. Zunanja morfologija določa reliefne značilnosti, skeletnost (skalovitost in kamnitost) in živi ter mrtvi pokrov vegetacije (Tla, 1987).

Tla so najbolj kompleksen del gozdnega ekosistema, zaradi velike raznolikosti pa jih je tudi težko proučevati. S tlemi, njihovim razvojem, lastnostmi in klasifikacijo, se ukvarja pedologija, z vplivom tal na živa bitja pa edafologija. Naše zanimanje o tleh je bližje teramehaniki torej vedi, ki se ukvarja predvsem z interakcijo vozil (koles in gosenic) s tlemi ali snegom, v zadnjem času pa tudi z negativnimi vplivi vožnje na tla (Drescher in Hambleton, 2010).

Kot lahko ugotovimo iz literature, nam za poznavanje prevoznosti, vplivov vožnje na tla in predvidevanje njihovih posledic, ni potrebno poznati vseh lastnosti tal. Glavne lastnosti tal, ki nas zanimajo z vidika modeliranja odnosa kolo – tla so trdnost, nosilnost in odpornost tal, delno pa tudi strižna trdnost tal. Te lastnosti v nadaljevanju tudi definiramo.

Nosilnost tal je sposobnost tal, da podprejo breme, ki pritiska na tla. V gozdarstvu nosilnost razumemo kot največjo dovoljeno kontaktno površino kolesa, ki jo izražamo v MPa (Poršinsky in sod., 2006). Slaba lastnost nosilnosti je, da ne vemo kakšna je dejanska stična površina pnevmatike in tal, saj je le-ta odvisna od lastnosti pnevmatike in lastnosti tal.

Trdnost tal je njihova sposobnost prenesti silo, ki deluje nanje brez pojava deformacije. O komponentah, ki dajejo kompleksnim in večslojnim gozdnim tlem trdnost, vemo zelo malo (Wästerlund, 1989). Deli tal, ki vplivajo na njihovo trdnost, so tekstura tal, skelet, humusna plast in koreninski preplet. Trdnost tal določa nosilnost tal in njene vlečne lastnosti, s tem pa je določena tudi prevoznost tal (Poršinsky in sod., 2006). Prevoznost tal je za nas zelo pomembna, saj predstavlja sposobnost tal, da prenašajo promet. Idealna tla so prevozna, če imajo dovolj veliko nosilnost, da podpirajo vozilo. Nujno pa morajo imeti zadostne vlečne lastnosti, da se lahko razvije trenje med tlemi in pnevmatiko, ki mora biti dovolj veliko, da premaga kotalni upor in omogoča vlačenje (Hayes in Ligon, 1981). Nosilnost tal, strižna trdnost in odpornost tal na penetriranje so odvisne od vlažnosti tal, gostote tal, in velikosti talnih delcev. Univerzalne modele za trdnost tal je težko oblikovati, saj so v oblikovanje trdnosti tal vpletene tudi frikcijske in elektrokemične sile v tleh (Saarilahti, 2002c).

Strižna trdnost tal je lastnost tal, ki opisuje stopnjo strižne sile, ki jo posamezna tla lahko prenesejo. Strižna trdnost tal je posledica trenja in vezi med talnimi delci in je zelo pomembna za ugotavljanje vlečnih lastnosti tal. Povedano drugače, strižna trdnost je močno povezana z vlečno silo in posledično s silo vlačjenja, ki jo stroj lahko prenaša na tovor (na primer breme pri traktorju) (Poršinsky in sod., 2006; Šušnjar in sod., 2006). Metod za merjenje strižne trdnosti je več. V literaturi se uporablja t. i. »vane shear« test, kjer merimo navor ki je potreben, da se tla porušijo. Ker strižna trdnost tal ni eden izmed pomembnejših dejavnikov za globino kolesnic, je ne bomo podrobneje obravnavali.

Suha navidezna gostota tal je definirana kot razmerje mase suhih trdnih delcev glede na skupni volumen tal. Skupni volumen tal vključuje volumen trdnih delcev tal in prostora (zraka) v porah (Klute, 1986). Metod ugotavljanja navidezne gostote tal je več, lahko jo ugotavljamo z kopeckijevimi cilindri, izkopom, potapljanjem ali uporabo radiacije (Klute, 1986). Ker navidezna gostota tal definira maso suhih tal na enoto volumna trdne, tekoče in plinaste faze se najpogosteje uporablja za opisovanje zbijanja tal. Navidezna gostota pa ne pove ničesar o potencialu za zbijanje tal. Trdnost tal pove, ali se bo pojavila prerazporeditev talnih delcev, ki zmanjšuje poroznost tal. Med trdnostjo tal in navidezno gostoto ni preprostih odvisnosti, saj je trdnost tal funkcija nasprotujočih si sil, torej tistih, ki tla utrujejo (tajanje, radialna rast korenin, premikanje vetra, ki se prenaša na korenine in izguba

vode v tleh – suša) in tistih, ki zemljo rahljajo (talna flora in favna, zamrzovanje, nabrekanje finih frakcij med navlaževanjem tal). Navidezna gostota je močno odvisna od vrste tal, zlasti talne sestave (razporeditve talnih delcev, organske snovi, mineralogije glinaste frakcije in strukture) in je pri isti vrsti tal odvisna od njihove vlažnosti (Froelich in McNabb, 1984). Navidezna gostota (ki vpliva na odpornost tal) s povečevanjem vsebnosti vode v tleh sicer upada (Vaz, 2003), a ta pojav za nosilnost in zbijanje tal ni ključen.

Z vidika zbijanja tal nas bolj zanima stisnjena navidezna gostota tal, ki z večanjem vsebnosti vlage narašča, a le do neke točke nasičenosti, ko začne zopet upadati. Z večanjem gostote tal se večja tudi nosilnost tal, kar pomeni, da vožnjo najboljše prenašajo ravno prav vlažna in zbita tla. Peščena ilovica ima največjo navidezno gostoto pri 20 % vlažnosti. Tudi nosilnost je takrat največja – okoli 55 kPa (Froelich in McNabb, 1984).

Vlažnost tal je ena izmed najpomembnejših lastnosti tal z vidika prevoznosti in poškodb tal (Saarilahti, 2002a). Za ugotavljanje vlažnosti tal obstaja več postopkov (Klute, 1986). V našem delu smo uporabljali metodo sušenja tal v peči in metodo TDR (Time Domain Reflectometry). Na koherentnih tleh ima vsebnost vode velik vpliv na prevoznost, medtem ko voda ne vpliva tako močno na prevoznost (Bekker, 1960), niti na globino kolesnic (Froelich in McNabb, 1984) pri frikcijskih tleh. Prevoznost in nastanek kolesnic sta torej precej povezana z velikostjo talnih delcev oz. vsebnostjo gline in peska. Vsekakor so vsa tla najbolj občutljiva na poškodbe pri visoki vsebnosti vode, to je blizu poljske kapacitete. Kot smo že povedali tla najboljše prenašajo obremenitev, če so ravno prav vlažna (Froelich in McNabb, 1984).

Tekstura tal je razmerje med posameznimi mineralnimi frakcijami v tleh. Mineralni delci se razlikujejo po velikosti in obliki. Po velikosti jih delimo na skelet, ki je večji od 2 mm, pesek, katerega velikost je od 0,05 do 2 mm, melj, katerega velikost sega od 0,05 do 0,002 mm in glino, ki je sestavljena iz delcev manjših od 0,002 mm. Teksturni trikotnik je poskus delitve tal glede na teksturne razrede (FAO in UNESCO, 2003).

Tekstura tal je za prevoznost tal pomembna predvsem zaradi količine vsebnosti gline, ki ima veliko sposobnost sprejemanja vode – ob navlažitvi takšna tla nabreknejo. Prepustnost takšnih tal je zaradi ozkih kapilar majhna. Vpliv gline na prehodnost in prevoznost tal je velik. V teramehaniki se tla z veliko vsebnostjo gline imenujejo koherentna tla. Glavna sila v takšnih tleh je namreč kohezija. Tla z velikim deležem večjih delcev imenujemo frikcijska tla. Glavni dejavnik nosilnosti v njih je notranje trenje (Bekker, 1960). Vlažnost ima v takšnih tleh malo vpliva (Froelich in McNabb, 1984). Tekstura tal ima velik vpliv na mehanske lastnosti tal, saj so le-te določene z razmerjem talnih delcev in vsebnostjo in velikostjo talnih por (Šušnjar in sod., 2006)

Skelet ali kamninski drob je prisoten v tleh in predstavlja frakcijo tal, ki je večja od 2 mm. Ima majhno specifično površino, zato v tleh učinkuje fizikalno in povečuje zračnost tal, praviloma omogoči tudi večje pritiske na tla brez večjih sprememb (Košir, 2010b). Talni skelet deluje kot ojačitev tal. Vplival pa naj bi tudi na strižno trdnost tal, zmanjševal obremenitve in povzročil manjšo zbitost tal (Wronski, 1984). Odgovora na vprašanje, v kolikšni meri, pa še nismo našli (Wästerlund, 1989). Skelet lahko razdelimo na več velikostnih skupin: 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) (Zupan in sod., 2010). Glede na vsebnost skeleta ločimo več kategorij tal: malo skeletna tla z manj kot 10 % skeleta, srednje skeletna tla (od 10 do 50 % skeleta) ter močno skeletna tla (nad 50 % skeleta) (Zaharov, cit. po Zupan in sod., 2010).

Koreninski preplet tal oziroma prekoreninjenost tal je pomembna armatura in vpliva na nosilnost tal, na drugi strani pa je ranljivi del sestoja (Košir, 2010a). Korenine lahko razdelimo na dve skupini: večje kot 20 mm in manjše kot 20 mm. Drevesa imajo večinoma vsaj štiri glavne korenine, ki imajo premer večji kot 20 mm na razdalji 1 m od korenovca. Te korenine se pod težo strojev ne pretrgajo, pogosti pa so pojavi poškodovane skorje (Wästerlund, 1989). Tanke korenine se pod kolesom lahko zdrobijo ali zmečkajo. Skupno število korenin je med 60 in 120 korenin/m², skupna dolžina pa 200 do 500 m/m² (Cheyney, 1929; Wronski, 1984). Natezna trdnost korenin znaša med 10 in 60 N/mm², a je njihova trdnost in elastičnost najverjetneje odvisna od drevesne vrste in kakovosti rastišča. Zaradi prisotnosti korenin se, po nekaterih raziskavah, trdnost tal v svežih tleh poveča za 50 do 70 %, zato avtorji predlagajo uporabo manjših in lažjih strojev (5 do 7 ton), ki bi tla poškodovali manj, saj bi v bistvu vozili po koreninah. Avtorji navajajo, da se velike poškodbe tal pojavijo ob pretrganju koreninske »preproge« (Wästerlund, 1994). Nekatere raziskave nakazujejo, da se trdnost tal poveča proporcionalno glede na koncentracijo ali površino preseka vseh vlaken v tleh (Gray in Ohashi, 1983).

Nizka stopnja zračnosti tal je v literaturi pogosto citiran vzrok za slabo rast korenin v zbitih tleh. Različne vrste so različno občutljive na trdnost in zračnost tal. Pomemben vpliv ima tudi zmanjšanje gostote koreninskega prepleta (cm/cm³) v zbitih tleh. Ugotovljena je bila tudi manjša globina prekoreninjenosti. Zbitost tal ima velik vpliv na višinsko rast sadik (Froelich in McNabb, 1984).

2.3.2.3 Modeliranje odnosa kolo – tla

V literaturi lahko govorimo o treh skupinah metod za modeliranje odnosa kolo – tla:

- metoda WES,
- Bekker-jeva metoda,
- matematične metode.

Matematične metode so osnovane na teoriji plastičnosti in mehanskih lastnostih tal. Metode so primerne za raziskovanje, ne pa za uporabo v praksi.

Bekker-jeva metoda (Bekker, 1960) temelji na teoriji elastičnosti in plastičnosti tal (Atterberg, 1911 cit. po Poršinsky in sod., 2006). Podatke o nosilnosti tal dobimo s pomočjo krožnih plošč, ki jih pod konstantnim pritiskom vtisnemo v tla. Krožnih ploskev mora biti več, morajo pa biti tudi različno velike, saj tla odreagirajo drugače, če je ploskev manjša ali večja. Iz teh meritev dobimo različen ugrez tal pri konstantnem pritisku in različnih (znanih) velikostih plošč. Iz enačbe nato izračunamo modulus elastičnosti (E). Bekker-jeva metoda je uporabna na področjih, kjer so velike površine homogenih tal in dovolj prostora, saj so naprave, ki jih v metodi uporabljamo velike. Metoda za uporabo v gozdarstvu ni primerna.

Ugotavljanje odpornosti tal z penetrometrom (metoda WES) je ena izmed najbolj pogosto uporabljenih metod za ugotavljanje in predvidevanje prevoznosti tal in mobilnosti vozil po brezpotju (Poršinsky in Horvat, 2005; Saarihahti, 2002a; Wronski in Humphreys, 1994). Metodo so razvili pri ameriški vojski. Metoda je osnovana na semi-empiričnem modeliranju parametrov kolesa in merjenju odpornosti tal. Nosilnost tal je v direktni povezavi z odporom tal na penetriranje. Konusni indeks lahko razumemo kot direktni indikator nosilnosti tal (Saarihahti, 2002a). Drugi raziskovalci so v enačbah vlečnih lastnosti tal konusni indeks uporabljali kot mero za trdnost tal (Hayes in Ligon, 1981). Konusni indeks je zelo uporaben, saj ga lahko uporabljamo kot mero za trdnost, nosilnost ter zbitost tal (Bygdén in sod., 2004). Rezultati tehnike penetriranja v tla imajo močno odvisnost z ugrezom vozila (ang. vehicle sinkage) in silami, s katerimi tla nasprotujejo vožnji (Poršinsky in sod., 2006).

Odpornost tal na terenu ugotovimo s pomočjo penetrometra. Definirana je kot povprečna sila penetriranja na zgornjih 150 mm tal (Procedures, 1999). Enota v kateri izražamo odpornost tal so kilo paskali (kPa). Rezultate prikazujemo s krivuljo odpornosti tal, ki nam pove kolikšna sila je potrebna za potisk okroglega stožca, s kotom 30° , skozi določeno globino tal (ASAE, 1994). S penetrometri po ASAE standardu torej merimo odpornost tal. Ta odpornost pa je v praksi enaka konusnemu indeksu, le da je ta po definiciji izražen v empiričnih enotah (lb/in^2). Zaradi tega bomo v nadaljevanju kot mero odpornosti tal uporabljali kar stari in uveljavljen izraz konusni indeks, ki ga izražamo v metričnih enotah (kPa). Konusni indeks je torej točkovna mera, ki je sestavljena iz komponent strižne, kompresijske in natezne sile, ki močno variira z vlažnostjo tal (Mulqueen in sod., 1977).

Poznamo več vrst penetrometrov. Delimo jih na statične in dinamične ter penetrometre, ki jih spustimo na tla (ang. drop penetrometer) (Jones in Kunze, 2004). Zaradi praktičnosti uporabe, omejenega prostora v gozdu, uporabnosti in nehomogenih tal, pa se omejujemo na ročne iglične in digitalne penetrometre. Motorizirani penetrometri za rabo v gozdu niso primerni.

Nekateri penetrometri omogočajo tudi menjavo igle. V zelo trdih tleh lahko tako uporabimo iglo z drugačno koničnostjo oziroma vršnim kotom igle (Mali in Košir, 2007). V zadnjem času raziskovalci razvijajo tudi kombinirane penetrometre, s katerimi lahko naenkrat ugotavljamo več parametrov (Vaz, 2003).

2.3.2.4 Modeliranje tal

Zaradi velike heterogenosti tal in njihove zapletene zgradbe so raziskovalci že zelo zgodaj začeli razvijati modele, s katerimi bi bolje opisali posamezna tipe tal in njihove lastnosti. Modelov tal je več, prav tako tudi klasifikacij, saj vsaka klasifikacija služi določenemu namenu.

V nadaljevanju bomo podrobneje opisali različne klasifikacije tal in načine za ugotavljanje parametrov pomembnih za prevoznost tal, kot sta nosilnost in odpornost tal. Modeliranje lastnosti tal je namreč prvi korak k razumevanju sistema kolo – tla.

2.3.2.4.1 Klasifikacije tal

Podatki za klasificiranje tal z vidika prevoznosti, torej predvsem trdnosti tal, je možno pridobiti iz geoloških in pedoloških kart. Ker pa so te podlage le redko kje dovolj natančne, smo prisiljeni uporabljati bolj splošne klasifikacije.

Osnovni kriterij za klasifikacijo tal je porazdelitev talnih delcev. Obstajajo različne sheme (nacionalne in mednarodne). Poleg tega pa še specialne klasifikacije za različne inženirske, vojaške ali agronomske namene. Omenimo samo USCS (Unified Soil Classification System), ki ga uporablja vojska ZDA. Svojo klasifikacijo ima ASAE, obstaja pa tudi NATO – NRMM klasifikacija. Poleg tega obstaja tudi inženirska razdelitev na frikcijska in koherentna tla, kjer so frikcijska tla z vidika prevoznosti neobčutljiva na vsebnost vode, večkratni prehodi pa prevoznost celo povečujejo. Za prevoznost najbolj pomembna lastnost je gostota takšnih tal. Pri kohezivnih tleh so stvari ravno obrnjene. V njih igra največjo vlogo vlažnost tal, če so mokra je prevoznost slaba, z večanjem števila prehodov se prevoznost še poslabša (Saarilahti, 2002a).

2.3.2.4.2 Ocenjevanje nosilne kapacitete tal

V gozdarstvu nosilno kapaciteto tal razumemo kot maksimalni dovoljeni pritisk kolesa na tla. Kot smo že razložili v prejšnjih poglavjih, je ta mera problematična, saj je odvisna od lastnosti tal in kontaktne površine pnevmatike, zato jo lahko razumemo le kot neke vrste vodilo. Pri metodi WES nosilno kapaciteto tal povezujemo direktno z odpornostjo tal, konusni indeks pa lahko razumemo kot indikator nosilne kapacitete tal. Glede na različne pritiske pod kolesi zgibnega polprikoličarja in nosilno kapaciteto tal so na projektu Ecwood, po raziskavah drugih avtorjev, sestavili spodnjo preglednico (Saarilahti, 2002a).

Preglednica 22: Razponi nosilnosti tal (Saarilahti, 2002a)

Tip podlage	Nosilna kapaciteta tal	
	Najmanj kPa	Največ kPa
Šotišče brez gozda	10	40
Svež sneg	10	30
Šotišče pod gozdom	40	70
Glina, mokra	50	150
Aluvialna tla	50	50
Star sneg, -10°C	50	100
Pesek, suh	150	250
Morena, vlažna, drobna	200	500
Grušč, suh	200	700
Glina, vlažna	200	300
Stisnjen sneg, -10°C	200	500
Morena, vlažna, srednje debela	300	600
Grušč, vlažen	300	500
Pesek, vlažen	300	500
Morena, suha	400	800
Glina, suha	400	1200
Močno stisnjen sneg, -10°C	400	900
Grušč, droben	500	500
Led	1000	2000

Poleg konusnega indeksa se v teoriji elastičnosti tal uporablja merjenje nosilne kapacitete tal z obremenjevanjem okroglih plošč. To je tako imenovani modul elastičnosti »E«, ki ga uporabljajo kot odvisno spremenljivko nosilnosti tal. Enačba za modul elastičnosti je sestavljena iz sile s katero obremenijo ploščo, radija in ugreza plošče.

Bekker v svojem delu uporablja koncept flotacije za opisovanje nosilnosti tal. Tudi on uporablja teorijo elastičnosti tal. Za ugotavljanje globine ugreza je sestavil enačbo, ki kot parametre upošteva nosilnost tal, težo na plošči in koeficienta frikcije in kohezije tal, ki sta različna glede na vrsto tal.

Kohezijski koeficient je odvisen od vsebine gline v tleh in vlage, frikcijski pa od kota frikcije v tleh, navidezne gostote tal, razporeditve ter oblike talnih delcev in malo od vlažnosti tal. Modeliranje teh dveh koeficientov je težavno, saj zahteva veliko število testov obremenjevanja plošč z različnimi premeri v različnih vlažnostih razmerah tal (Bekker, 1960; Saarilahti, 2002a).

2.3.2.4.3 Konusni indeks in odpornost tal

Kot smo že omenili, uporabljamo pri metodi WES odpornost tal, ki jo povezujemo z nosilno kapaciteto tal. Logika je torej nekoliko drugačna kot pri teoriji plastičnosti in elastičnosti. Konusni indeks (mera odpornosti tal) je namreč v direktni zvezi z nosilno kapaciteto tal (Saarilahti, 2002c).

Slaba lastnost konusnega indeksa je močna odvisnost od več drugih lastnosti tal (Motavalli in sod., 2003). Nanj vplivajo predvsem vsebnost vode v tleh, tekstura tal, navidezna gostota tal, struktura tal, vsebnost organske snovi v tleh, prisotnost peska in glin ter prisotnost večjih kamnov (Motavalli in sod., 2003; Saarilahti, 2002c). Ti dejavniki imajo največji vpliv na meritve, nekateri avtorji pa navajajo tudi vpliv vodnega potenciala v tleh, agregacije in cementacije (Vaz, 2003). Poleg tal lahko na konusni indeks vpliva tudi vrsta penetrometra in njegovo upravljanje, pa tudi frikcijske sile v tleh (Freitag, 1968; Mulqueen in sod., 1977; Young in sod., 2000).

V eni izmed ameriških raziskav je bilo ugotovljeno, da je konusni indeks v povezavi z navidezno gostoto tal (Miller in sod., 2001). Penetriranje je bilo opravljeno v razmerah blizu poljske kapacitete, avtorji pa so ugotovili dobro korelacijo konusnega indeksa in navidezne gostote tal pri tleh z malo skeleta. Iz tega sledi, da se s povečanjem odpornosti tal poveča zbitost tal, vendar se absolutne vrednosti spreminjajo s spremembo vlage v tleh (Mulqueen in sod., 1977)

Obstaja več študij odpornosti tal na penetracijo. Večina teh modelov uporablja kot vhodno spremenljivko le vsebnost vode v tleh. Obstaja tudi več eno-vhodnih modelov za različne vrste tal, kjer je kot neodvisna spremenljivka upoštevana talna vlaga. Širše uporabni so dvo-vhodni modeli, kjer so vhodne spremenljivke ali gostota tal ali vsebnost glin in vsebnost talne vlage. Tro-vhodni modeli so redkost, vhodi v te modele pa so talna vlažnost, gostota tal in vsebnost glin ali globina tal (Saarilahti, 2002a).

Konusni indeks se razlikuje med vrstami tal, v splošnem se spreminja z globino, vrednost indeksa pa z njo praviloma tudi narašča. Za prehodnost tal je pomemben konusni indeks v vrhnjih plasteh tal, pri čemer vemo, da je za lažji stroj globina, ki je pomembna, manjša, za večji stroj pa večja (Košir, 2010b; Saarilahti, 2002b). Tudi najtežja vozila ne vplivajo na tla globlje kot 0,61 do 0,91 m – odvisno od tipa tal (Bekker, 1960). Za finske razmere ima odpor tal izmerjen na globini 0,15 m največjo napovedovalno moč za modeliranje globine kolesnic (Anttila, 1998 cit. po Saarilahti, 2002a). Zato na Finskem uporabljajo globino od 0,125 do 0,175 m kot kritično globino. Ocenjena kritična globina za naše razmere je med 0,10 in 0,20 m (Košir, 2010b). Iz tega razloga za izračun povprečnega konusnega indeksa v naših razmerah uporabljamo povprečje izmerjenega konusnega indeksa v globini 10 cm in konusnega indeksa v globini 20 cm.

2.3.2.5 Modeliranje kolesa

V tem poglavju bomo predstavili drugi del medsebojnega delovanja sistema kolo – tla. Ukvarjali se bomo z modeliranjem parametrov stroja, ki vplivajo na ugrez. S tem mislimo predvsem na deformacijo kolesa, kontaktno površino in pritisk kolesa, predstavili pa bomo tudi pomen nominalnega pritiska na tla.

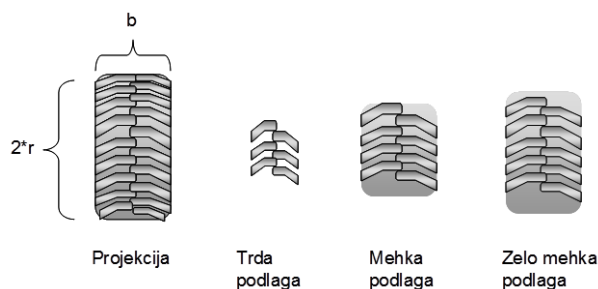
2.3.2.5.1 Modeliranje deformacije kolesa

Vpliv kolesa na tla ima statično in dinamično razlago in pri tem nastajajo razne vrste poškodb. Kot smo že omenili, poznamo štiri vrste deformacije kolesa: togo kolo na trdi podlagi, togo kolo na mehki podlagi, elastično kolo na trdi podlagi in elastično kolo na mehki podlagi. V zadnjo skupino sodi večina primerov v gozdarstvu, čeprav so v primeru vožnje s kolesi z visokim tlakom po slabo nosilnih tleh deformacije bližje primerom stika togega kolesa z mehko podlago. V gozdarstvu imamo torej povečini opravka s kombinacijo gibanja elastičnega kolesa po mehki podlagi, ki pa ima, odvisno od obremenitve, elastične in plastične lastnosti.

2.3.2.5.2 Kontaktna površina kolesa

Kontaktno površino pnevmatike je težko natančno ugotoviti, saj je odvisna od kolesa in lastnosti tal. Kot smo razložili že prej na kontaktno površino pnevmatike vpliva trdnost same pnevmatike, pritisk, s katerim je napihnjena, teža vozila, ki pritiska na pnevmatiko, in lastnosti tal, predvsem njihova trdnost in elastičnost. Nad določeno napihnjenostjo se pnevmatika obnaša kot togo kolo.

Študij dotikalne površine pnevmatike s tlemi sloni na predpostavki, da gre za mehko – mehki kontakt – govorimo torej o elastičnem kolesu na mehki podlagi. Pod silo, ki deluje na kolo, se deformira tako pnevmatika (poveča se kontaktna površina), kot tudi podlaga (z ugrezom se poveča kontaktna površina). Na sliki 2 poenostavljeno prikazujemo vpliv podlage na velikost kontaktne površine (Košir, 2010b).



Slika 2: Oblike kontaktne površine glede na različno trdnost tal (Košir, 2010b)

Za modeliranje kontaktne površine pnevmatike se uporablja več enačb. V gozdarstvu se uporablja preprosta empirična enačba, ki je sestavljena iz sile s katero je obremenjeno kolo ter tlaka v pnevmatiki. Zaradi preprostosti ta model dotikalne površine še zmeraj uporabljajo domači (Košir, 2010b) in tuji avtorji (Sundberg in Silversides, 1988).

2.3.2.5.3 Nominalni pritisk na tla

Nominalni pritisk na tla (NGP) je indikator talnega pritiska, ki se v literaturi pogosto uporablja, saj je robusten in relativno preprost (Košir, 2010b; Mellgren, 1980; Poršinsky in sod., 2011; Saarilahti, 2002a). Pri izračunu NGP upoštevamo obremenitev kolesa oziroma gosenice, obremenjeni polmer kolesa, širino pnevmatike oziroma gosenice ter v primeru gosenic medosno razdaljo koles na polgosenicah (Mellgren, 1980).

NGP predstavlja statični tlak na tla, vozilo torej miruje, teoretično pa je zasnovan na modelu togega kolesa na mehki podlagi. Dotično površino kolesa torej izračunava kot zmnožek polmera kolesa in širine pnevmatike. Pomembna je ugotovitev, da se pri izenačevanju dolžine kontaktne površine kolesa in tal ugrez poveča za 15 % polmera kolesa. S tem se zagotovi dober stik kolesa in tal (Partington in Ryans, 2010). Razporeditev pritiska pod gosenico ni enakomerna, zato so raziskovalci na podlagi semi-empiričnih modelov namesto NGP predlagali uporabo povprečnega maksimalnega pritiska (Rowland, 1972 cit. po Wronski in Humphreys, 1994).

Tako izračunani tlak je manjši kot po drugih izračunih, kar pomeni, da je ocenjevanje prehodnosti terena, v povezavi z ocenjevanjem možnih posledic na tla, optimistično (Košir, 2010b). Drugi avtorji pravijo, da je NGP v realnosti najmanjši možni tlak na tla, ki ga lahko vozilo ustvari v pogojih zmanjšane nosilnosti tal (Poršinsky in sod., 2011). Vprašanje, kakšne kolesnice nastanejo ob določenem tlaku, mora upoštevati razmerje do nosilnosti tal, ki ga dobimo eksperimentalno oz. s terenskim preizkusom ali drugimi izračuni. Pomankljivost izračuna je tudi v tem, da enačbi predpostavljata razmeroma globoke kolesnice. S tem dajeta prednost reševanju vprašanja mobilnosti pred ekološkimi vplivi na tla. Prav tako v model niso vključeni tlaki pnevmatik. Od tlaka je namreč odvisna deformacija pnevmatike, ki se je izkazala za pomembno spremenljivko.

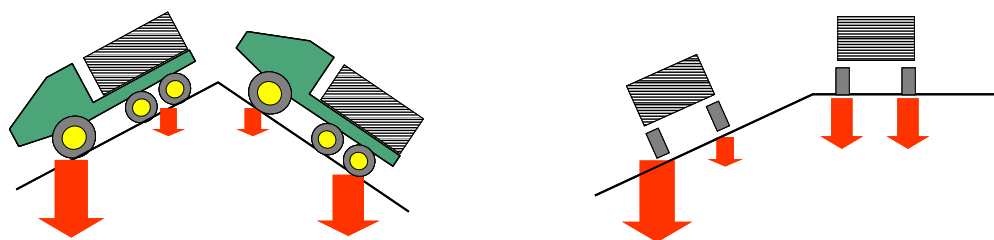
Bistvena prednost enačb nominalnega tlaka na podlago (NGP) je preprostost, zato imajo široko uporabo ne le pri proizvajalcih gozdarskih strojev, temveč celo v znanstveno raziskovalni literaturi (Košir, 2010a; Poršinsky in sod., 2011; Saarilahti, 2002a).

2.3.2.5.4 Pritisk kolesa na tla

Iz teramehanike (Bekker, 1960) izhaja, da je pritisk kolesa ali gosenice na tla odvisen od geometrije stroja in njegove teže ter od dimenzij in trdnosti pnevmatik in njihove opreme

(verige, gosenične verige). Nosilnost tal mora torej biti večja od pritiska stroja na tla, če hočemo, da stroj preči tla po površini.

Če ugotavljamo pritisk na posamezno kolo stroja kot celote, ugotovimo, da je teža na kolesu (W) odvisna od razporeditve mase na praznem oz. polnem vozilu. Pri večini strojev, ki sodelujejo pri popolni strojni sečnji, lahko delimo maso na prednji in zadnji del (sredina je zglob) ter število koles. Pri stroju za sečnjo se razporeditev ne spreminja zelo močno, drugače pa je pri zgibnem polprikolničarju, kjer se teža spreminja glede na natovorjenost. Če primerjamo stroje med seboj, na tlak vpliva predvsem teža celega stroja in število koles (Vossbrink in Horn, 2004). Dotikalna površina kolesa je odvisna od dimenzij kolesa ter tlaka v njem, popolnoma pa se spremeni ob opremi kolesa z goseničnimi verigami (Košir, 2010a). Ne smemo zanemariti tudi vpliva vožnje po razgibanem terenu, kot je to prikazano na spodnji sliki. Rezultati raziskav na traktorjih nakazujejo, da so spremembe razporeditve teže precejšnje. Pri vožnji navzdol se obremenitev zadnje osi zmanjša za 11 %, nasprotno pa se pri vožnji navzgor poveča za 18 % (Košir, 2010a).



Slika 3: Povečanje tlaka stroja na tla zaradi spremembe naklona terena (Košir, 2010a)

Trdimo lahko, da bo stroj ostal na površju, če sta tlak stroja in nosilnost tal vsaj enaka. Težave pa nastopijo na obeh straneh ravnovesnega sistema. Pri tleh zaradi zelo variabilne nosilnosti tal po posameznih horizontih, pri stroju pa zaradi vpliva prenosa strižnih sil na podlago ter različne teže bremen. V realnosti ravnotežje vseeno deluje, čeprav so zakoni, ki ga omogočajo zelo kompleksni, poleg tega pa pri ravnotežju sodeluje tudi veliko spremenljivk. Vemo, da se ravnotežje vzpostavi, ko se pri prehodu stroja ob določenem ugrezu tla zbijejo. S tem naraste njihova gostota in posledično nosilnost. Hkrati se v zgornji plasti poveča vlažnost. Le-ta pri različnih vrstah tal deluje različno, a za naše razmere lahko trdimo, da deluje tako, da tla postanejo še bolj občutljiva na zbijanje. Zato se pri naslednjem prehodu stroja ugrez še bolj poveča. V skrajnih primerih je posledica doseg točke plastične deformacije ali viskozno tečenje talne mase (Košir, 2010a).

V svoji raziskavi je Košir (Košir, 2010a) raziskoval tudi razmerja med NGP in pritiskom kolesa na tla. NGP namreč ni edina možnost za ugotavljanje tlaka na tla. Predlagal je več sprememb enačbe ravnotežja tal, kjer je modeliral predvsem obremenitev sprednje in zadnje osi ter uporabo goseničnih verig. Pokazal je, da so razmerja med obremenitvijo sprednjih in zadnjih koles lahko zelo velika (Wronski in Humphreys, 1994). Temu bi moral slediti tudi

NGP, ki pa je seveda povprečje, s tem pa se skriva velik del obremenitev tal. Ideja je zanimiva in daje veliko možnosti za izboljšanje modelov v prihodnje.

2.3.2.5.5 Ugotavljanje prevoznosti tal

Zavedati se je potrebno, da so bili principi NGP (Mellgren, 1980) in ostale temeljne raziskave (Bekker, 1960) na področju prevoznosti tal narejeni za vojaške potrebe. Zato je razumljivo, da so vrednosti NGP naravnane tako, da še omogočajo prevoznost – v mislih imamo podzemeljsko prečkanje terena. Le-to pa v gozdu seveda ni zaželeno, oziroma je ekološko nesprejemljivo.

Raziskovalci na projektu ECOWOOD so oblikovali trdnostno klasifikacijo tal, v kateri so tla razdelili v štiri razrede občutljivosti, glede na konusni indeks, modul elastičnosti in strižno trdnost tal. Omejitev predstavlja zadnji stolpec, kjer je z nosilnostjo tal opredeljena ekološka primernost tehnologije (strojev). Razlika med njihovimi rezultati in rezultati predhodnih raziskav drugih avtorjev za potrebe vojske (Mellgren, 1980) kažejo na dejstvo, da so na projektu ECOWOOD močno dvignili vrednosti parametrov trdnosti tal in s tem skušali doseči ekološko primernost.

Preglednica 23: Razdelitev razredov trdnosti tal na projektu ECOWOOD (Owende in sod., 2002)

Opis trdnosti tal	Parametri trdnosti tal			Dovoljena obremenitev tal
	Konusni indeks	Modul elastičnosti	Strižna trdnost	
	CI [kPa]	E [MPa]	W [kPa]	NGP [kPa]
1 Trda tla	> 500	> 60	> 60	> 80
2 Povprečna tla	300–500	20–60	20–60	60–80
3 Mehka tla	< 300	< 20	< 20	40–60
4 Zelo mehka tla	< 300	< 20	< 20	< 40

Vrednosti iz preglednice so bile sprejete kot orientacija za vplive na tla. V prihodnosti bi bilo potrebno podobne poskuse ponoviti tudi v naših razmerah, saj so tla v naših pri nas težko primerljiva s skandinavskimi. Preglednice 23 brez dodatnega preverjanja v Sloveniji ne bi smeli uporabljati, vsekakor pa nam lahko služi kot osnova za nadaljno proučevanje.

2.3.2.6 Napovedovanje globine kolesnic

V številnih raziskavah poškodb tal so avtorji zelo uspešni pri reševanju vprašanja, kaj se zgodi s tlemi, če smo jih obremenili z vožnjo. Pri reševanju drugega vprašanja – kakšne so napovedi vplivov na tla – pa se srečamo z negotovostjo. Tudi če poznamo vpliv vsebnosti vode na nastanek kolesnic pri določeni obremenitvi, ne vemo, kolikšna bo vsebnost vode čez nekaj mesecev, ko naj bi potekala proizvodnja na delovišču. Primer kaže na dejstvo, da zelo malo vemo o vrednostih pomembnih spremenljivk v prihodnosti. Napovedovanje posledic za tla pa je v tej luči še toliko bolj težavno. Vsekakor moramo o tleh na nekem delovišču vnaprej poznati tem več podatkov. Vedeti moramo tudi, s kakšno tehnologijo bomo izvajali dela. Pri tem nas najbolj zanima razmerje med grajenimi ter obstoječimi in sečnimi vlakami, če gre za popolno strojno sečnjo na traktorskih terenih. Za brezpotje je ključnega pomena, da poznamo nosilnost tal v določenem trenutku. Ta podatek nam že da orientacijo o tem, ali je teren prehoden ali ne oz. kakšne bodo posledice. Iščemo torej razmerja med konusnim indeksom, nosilnostjo tal in tlakom stroja na tla (Košir, 2010a).

Pri kolesnicah je pomembno opozoriti na sledeče različne pojme:

- prvi prehod stroja – čez opazovano točko se je zapeljalo toliko koles, kot jih ima stroj,
- prvi prehod kolesa – čez opazovano točko se je zapeljalo eno kolo,
- prehod prvega cikla – čez opazovano točko se je najprej zapeljal prazen stroj, nato pa še poln. Razlike od cikla do cikla so velike, pri strojni sečnji ni nujno, da se stroj vrne čez isto točko, saj so poti večinoma krožne.

Pomeni večkratnega prehoda kolesa, stroja in cikla so podobni zgoraj opisanim pojmom, le da so se ti prehodi zgodili večkrat.

2.3.2.6.1 Indeks kolesa

Razmerja med konusnim indeksom, nosilnostjo tal in tlakom stroja nam poda indeks kolesa. Indeks kolesa je poenostavljen model sistema kolo – tla, ki nam v preprosti, brez dimenzionalni obliki pokaže iskana razmerja (Owende in sod., 2002; Poršinsky in Horvat, 2005; Saarilahti, 2002a). Za ugotavljanje indeksa kolesa moramo poznati konusni indeks tal in tlak stroja na tla, ki je sestavljen iz kontaktne površine vseh koles stroja z podlago in teže stroja.

Indeks kolesa neposredno kaže na razmerje med izmerjenim tlakom pri prodiranju penetrometra in predvidenim tlakom stroja na tla ter neposredno vpliva na globino kolesnic (Poršinsky in Horvat, 2005). Ima več pomanjkljivosti, vendar mnoge odtehta preprostost ugotavljanja indeksa kolesa in njegove uporabe.

2.3.2.6.2 Globina kolesnice po enkratnem prehodu stroja

Globino kolesnice po prvem prehodu kolesa (Maclaurin, 1997 cit. po Saarilahti, 2002a) izračunamo iz indeksa kolesa in premera koles stroja. Model je preprost in dobro ponazarja prvi prehod, težava nastopi zaradi dejstva, da se en sam prehod kolesa na objektu zgodi zelo redko. Sodobni strojni imajo namreč več osi, tako da stroj z vsakim prehodom po kolesnici v bistvu doseže stanje večkratnega prehoda stroja.

2.3.2.6.3 Globina kolesnice po večkratnem prehodu stroja

Problem globine kolesnice, po večkratnem prehodu stroja so raziskovalci reševali delno teoretično, delno z opazovanji (Abebe in sod., 1989). Ta model uporabljajo tudi pri projektu ECOWOOD pod imenom splošni model (Saarilahti, 2002a). V modelu upoštevamo globino kolesnice po prvem prehodu, število prehodov stroja in koeficient večkratnega prehoda kolesa, ki je tudi največja slabost tega modela.

Meritve so pokazale, da je koeficient večkratnega prehoda kolesa a odvisen od vrste tal in njihove vlažnosti. Abebe je predlagal uporabo koeficienta med 2 in 3 za rahla tla in manjše obremenitve, med 3 in 4 za srednje nosilna tla ter med 4 in 5 za dobro nosilna tla in večje obremenitve. Drugi avtorji so namerili koeficient pri kohezijskih tleh (fini melj) 2 (vlažnost med 20 in 35 %) ter celo do 26 na grušču (vlažnost med 5 in 10 %). Očitno je, da je pomen koeficienta a zelo velik in močno odvisen od trenutnih lastnosti tal, vendar tudi njihovih obremenitev, kar je velika slabost modela (Košir, 2010a).

Nekoliko drugače so se problema lotili v Avstraliji. Avtorji (Wronski in Humphreys, 1994) so povezali odnose med globino kolesnice, premerom kolesa in parametrom, ki ga določa nosilnost tal in tlak v pnevmatikah stroja. Ista avtorja sta enačbo poenostavila z predpostavko, da je normalna deformacija pnevmatike v gozdarstvu skoraj konstantna. Določila pa sta tudi odvisnost med odnosom med globino kolesnice ter premerom kolesa in številom prehodov kolesa. Na projektu ECOWOOD so za ugotavljanje globine kolesnic po večkratnem prehodu uporabljali bolj zapleteno enačbo, medtem ko se Wronski (Wronski in Humphreys, 1994) v svoji raziskavi vrne k preprostejšim enačbam (Freitag, 1965 cit. po Wronski in Humphreys, 1994), za katere trdi, da bolje predstavljajo širši razpon tal.

2.3.2.7 Vplivi vožnje strojev na tla

Raziskovalci ugotavljajo, da so poškodbe tal pri pridobivanju lesa najbolj izrazite na prometnicah in okoli njih, saj nastajajo kot posledica delovanja sil stroja in bremena na naravna tla (Standish in sod., 1988).

Vpliv vožnje na tla se odraža predvsem v kolesnicah oziroma zbijanju tal. Zbita tla so spremenjena, s tem pa se spremenijo tudi njihove lastnosti. Spremembe se odražajo v trdnosti ter zračnosti tal, vplivajo pa na premikanje vode v tleh, zadrževalno sposobnost tal ter rast korenin. Posredno vplivajo tudi na rast dreves obstoječega sestoja, pomladka in na rast mladih dreves, kakor tudi na mikorizo.

V nadaljevanju bomo obravnavali predvsem za našo raziskavo najbolj pomembne dejavnike.

2.3.2.7.1 Globina kolesnic (zbijanje tal)

Za razumevanje medsebojnega vpliva kolesa na tla pri vožnji po brezpotju in posledic, ki pri tem nastanejo, je potrebno poznati nosilnost tal, ki je odvisna predvsem od fizikalnih lastnosti tal in vsebnosti vode. Prav tako je potrebno poznati lastnosti stroja in njegov specifični tlak na tla. Teža strojev je običajno večja od nosilnosti tal, zato se pod strojem ugrezajo pri tem pa nastanejo kolesnice. Globina kolesnic je priznan indikator, ki kaže usklajenost stroja in podlage oziroma prehodnost tal za mobilnost stroja (Košir, 2010).

Vidne spremembe površja gozdnih tal, ki se kažejo kot kolesnice, so zanesljiva ocena poškodovanosti tal pri gozdnem delu, če poškodbe tal popisujemo neposredno po končanem delu (Hildebrand, 1991; Hildebrand in Schack Kirchner, 1993). Najbolj pripravna, objektivna mera vpliva stroja na tla je globina kolesnic po znanem številu prehodov stroja. Ta mera vključuje vizualni vpliv operacije na sestoj in potencialni vpliv na fizikalne lastnosti tal. Do neke mere kaže tudi na potencialni vpliv pridobivanja lesa na rast sestoja (Wronski in Humphreys, 1994).

Globina kolesnic ima v teramehaniki in ekologiji drugačne interpretacije, različne so tudi tehnike merjenja globine kolesnic. V teramehaniki je globina kolesnice izmerjen ugrez kolesa. V ekologiji pa opazujejo kolesnice po delu. V praksi ni nobene razlike med konceptom ugreza kolesa in globino kolesnic (Saarilahti, 2002a).

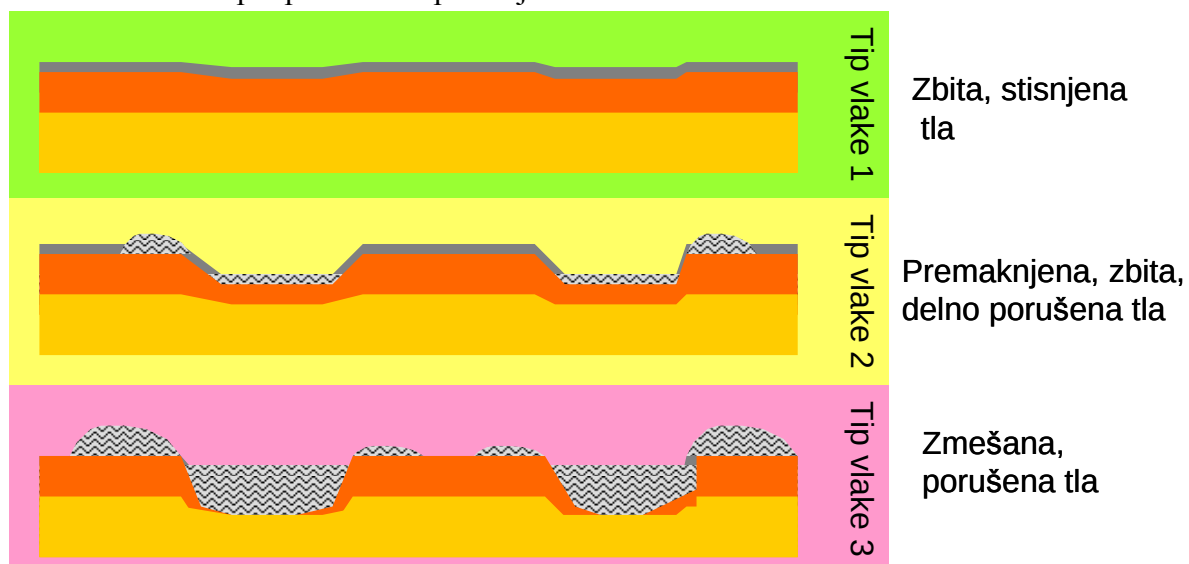
Na skoraj vseh podlagah v gozdu – z izjemo najbolj nosilnih – nastanejo po premaganem kotalnem upor gibanja kolesa po podlagi kolesnice. Kolesnice lahko, glede na izgled poškodbe razvrstimo na tri stopnje. Meje razredov niso naravne, tako da se med viri nekoliko razlikujejo (Bodenschutz und Holzernte, 2008; Flechsig in sod., 2006; Kremer in sod., 2003; Lüscher in sod., 2009), vendar smo jih za naše potrebe smiselno preoblikovali v naslednje tri razrede (cit. po Košir, 2010a):

- Tip vlake 1: Plitva kolesnica, je neizrazita in globoka ne več kot 10 cm (Lüscher in sod., 2009), včasih je kolesnica komaj zaznavna, prevladujejo elastične deformacije (Flechsig in sod., 2006). Tak tip poškodb nastane pri majhnem številu prehodov stroja, lažjih strojih oz. bolj nosilnih tleh. Globlji horizonti so praktično nepoškodovani, poroznost tal je

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

- Tip vlake 2: Srednje globoka kolesnica, pri kateri je vrhnji (humusni) horizont zmešan oziroma premaknjen. V ta tip vlake bomo šteli kolesnice do največje globine 20 cm (Lüscher in sod., 2009). Kolesnica je izrazita, vendar globoka pretežno do 10 cm. Vrhni sloj tal je plastično deformiran (Flehsig in sod., 2006), vendar je prevladujoča poškodba tal zbitost, morda na meji plastične deformacije, kar pomeni, da so globlji talni horizonti najbrž deformirani, a na svojem mestu. Poroznost tal v vrhnjih horizontih je močno zmanjšana.

- Tip vlake 3: Globoka kolesnica, pri kateri nastanejo plastične deformacije oz. viskozno tečenje tal. Prihaja do preloma tal (Lüscher in sod., 2009). Tlak na tla in strižne sile so zmešale talne horizonte v viskozno (prašno) maso. Na območju prodiranja kolesa v podlago so tla porušena. Sem štejemo kolesnice z globino med 20 in 30 cm. Globlje kolesnice so sicer mogoče, vendar jih ne bomo obravnavali (menimo, da so globlje kolesnice ekološko in tehnično-ekonomsko neprimerne). Največja globina te vrste poškodb je odvisna od dimenzij kolesa, saj so v skrajnostih lahko kolesnice globoke do globine, ko stroj nasede, oziroma se začne podpovršinsko prečenje tal.



Slika 4: Prikaz tipov kolesnic (Košir, 2010a)

Kolesnice v zgornjem predlogu so večjih globin, kot kolesnice nemških avtorjev. Razlogov za takšno povečanje je več. Klima v naših razmerah je namreč neugodna za vožnjo po brezpotju (veliko padavin, razporejenih čez celo leto), poleg tega pa so tla pri nas bolj razvita kot na severu, so torej globlja in bolj občutljiva. Predlog temelji na naših dosedanjih raziskavah in poznavanju problematike in ni izdatno podkrepjen z raziskavami. Le-te so za boljše razumevanje problematike nujno potrebne.

V nemški literaturi, ki je namenjena praksi, a je podkrepljena z raziskavami so izbrali zanimiv način ugotavljanja prevoznosti tal. Dejstvo je, da je velik del odgovornosti za velikost poškodb tal na strojniku, ki se v delovišču nahaja največ časa. Strojnikom in

gozdarjem v pomoč pri odločanju o primernosti dela v slabih razmerah so predlagali test z kepo tal, katero se vrže ob trdno podlago (Kremer in sod., 2007).



Tip vlake 1

Tip vlake 2

Tip vlake 3

Slika 5: Praktični test vlažnosti tal – metanje kepe tal ob čvrsto podlago (Kremer in sod., 2007)

Glede na obliko kepe so nato določili tudi prevladujočo globino kolesnic. Pri tem štejejo tip vlake 1 kot normalen in sprejemljiv, tip vlake 2 kot tvegan, tip vlake 3 pa kot nezaželen. V primeru, da kepa tal ob testu zgleda kot v primeru 3 je potrebno delo ustaviti. Pri nas bi lahko test uporabili za najbolj občutljive dele sečišča, ideja pa je zaradi svoje preprostosti in hitrosti vredna ovrednotenja in preizkusa v naših razmerah.

Navedimo še globine kolesnic, zabeležene v slovenskih raziskavah. V Žekancu avtorji poročajo o povprečni globini kolesnic na primarnih vlakah $12,3 \pm 1,8$ cm, na sekundarnih vlakah $4,8 \pm 0,9$ cm, na sečnih poteh pa $3,7 \pm 0,8$ cm. (Košir in Robek, 2000). Ugotovljene globine kolesnic na postojnskem znašajo pri strojni sečnji 6,3 cm pri spravi navzdol in 6,2 cm pri spravi navzgor, v povprečju pa je globina kolesnic znašala 6,3 cm. Pri klasičnih tehnologijah je bila povprečna kolesnica pri spravi navzdol globoka 4,8 cm, pri spravi navzgor 4,7 cm, v povprečju pa 4,7 cm.

Mali (Mali in Košir, 2007) v svoji raziskavi poroča o povprečni globini kolesnic na treh vlakah. Na dveh vlakah je zabeležil povprečno globino kolesnic 22 in 23 cm, na tretji vlaki pa je bila globina 13 cm. Cerjak (Cerjak, 2011) v svojem delu poroča o nižjih globinah kolesnic. Na dveh objektih na mariborskem in murskosoboškem poroča o globini kolesnic večji od 10 cm le v 9 % profilov.

2.3.2.7.2 Spremembe tal pri večkratnih prehodih

Wasterlund (Wästerlund, 1992) opozarja, da traktorji proizvajajo več traktivne sile na tla kot zgibni polprikoličar, in da so zaradi tega manj primerni za spravo. A tehnologije je med seboj težko primerjati, posebej če vemo, da je pri nas vožnja po sestoji omejena.

V ameriški raziskavi je bilo ugotovljeno, da so se prvih petih prehodih so se tla zbila za 70 %, število prehodov in konusni indeks pa sta pojasnila 54 % variacije v študiji (Froelich in McNabb, 1984). Pri uporabi traktorja avtorji druge študije poročajo, da se je večina zbijanja tal zgodila pri prvih 10 prehodih. Ugotavljajo tudi, da se zbijanje pojavi ne glede na

vlačnost tal, so pa vplivi na tla manjši, ko so tla suha (Rollerson, 1990). Največje povečanje globine kolesnic se je pri traktorskem spravilu pojavilo pri prvem prehodu stroja (McDonald in Aust, 1995).

2.3.2.7.3 Vplivi vožnje in zbijanja tal na koreninski sistem rastlin

Proučevanje vplivov vožnje in zbijanja tal na korenine je precej težavno. Metode so precej zahtevne, saj so v preteklosti vključevale izkopavanje korenin. Šele v koncu 90-ih let so začeli uporabljati radar in druge metode – npr. senzorje za proučevanje ksilemskega pretoka. Vseh naravnih mehanizmov v celoti še ne razumemo, saj je bilo pokazano, da je drevo ob pretrganju korenin na eni strani drevesa odreagiralo z večjim črpanjem vode in hranil preko nepoškodovanih korenin na drugi strani drevesa (Nadezhdina in Cermak, 2000).

Tanke korenine so zelo občutljive na odsotnost zraka v tleh, zato so bile predlagane, kot indikator za ugotavljanje zračnosti tal. Za zbita tla na vlakah je značilna odsotnost tankih korenin. Zgornje plasti tal si opomorejo najhitreje. Dokazali so, da je bila prekoreninjena plast na vlaki, po kateri se je nazadnje vozilo pred 24 leti debela 10 cm, medtem, ko je bila ta plast na nemotnih tleh debela 40 cm. Zanimiv je tudi podatek, da se je struktura tal začela izboljševati po 15 do 25 let po koncu motenj. Vpliv zbijanja tal je prisoten po celotni širini vlake, sega pa tudi nekaj decimetrov na vsako stran vlake (von Wilpert in Schäffer, 2006). Razlog zato, da se vpliv stiskanja tal širi izven vlake je način porazdeljevanja pritiska kolesa na tla (Schjonning in sod., 2006).

Raziskovalci so ugotavljali tudi vpliv stiskanja tal na prirastek sestojev. Ugotovljeno je bilo, da se produktivnost skupnega volumenskega prirastka zmanjša za 6 do 16 %, če so kolesnice plitve. Ob pojavu globokih kolesnic so zmanjšanja večja. Ugotavljajo, da se višinski prirastek zmanjša manj, kot volumenski (Froelich in McNabb, 1984). Podobne odstotke izgub volumenskega prirastka (14 %) navajajo tudi Skandinavci (Wästerlund, 1992). V smrekovih sestojih v Skandinaviji (Isomäki in Kallio, 1974 cit. po Vasiliasukas, 2001) so zabeležili 25 % manjši višinski prirastek in za 35 % manjši debelinski prirastek zaradi poškodb koreninskega sistema. Zmanjšanje produktivnosti zbitega rastišča najverjetneje povzroči več dejavnikov. Zmanjšanje aeracije, spremenjene lastnosti zadrževanja vode v tleh in povečana trdnost tal. Zbijanje tal zmanjša količino z zrakom napolnjenih por v tleh in poveča količino mikropor, kar zmanjša hitrost izmenjave kisika v tleh in poveča silo s katero je v tleh vezana voda.

2.3.2.7.4 Naravni mehanizmi zmanjšanja zbitosti tal

Naravno zmanjševanje zbitosti tal je odvisno od vrste tal, stopnje zbitosti tal in klime. Predvsem problematična so peščena tla. Večina raziskav opaža, da se s časom navidezna gostota tal zmanjšuje, kar je posledica koreninskega prepleta, ciklov zmrzovanja in tajanja tal ter mokrih in suhih ciklov tal (Reisinger in sod., 1988). Drugi raziskovalci dodajajo še

vpliv talnih organizmov in opozarjajo, da mora za naravno regeneracijo tal biti izpolnjenih več pogojev. Tla morajo biti reaktivna na te procese, klima mora biti primerna, oziroma mora povzročati cikle taljenja in zmrzovanja ter sušenja in močenja tal, ti cikli pa se morajo pojavljati dovolj pogosto (Froelich in McNabb, 1984).

Avtorji opazajo, da se tla v bolj milih klimah težje in kasneje vrnejo v prvotno stanje (Froelich in McNabb, 1984; Wästerlund, 1992). Na 81 ploskvah v Oregonu (ZDA) se navidezna gostota zbitih tal v globinah 5,1, 15,1 in 30,5 cm ni spremenila v 38 letih (Vanderheyden, 1981 cit. po Froelich in McNabb, 1984). Drugi raziskovalci (Thorud in Frissell, 1976) so ocenili, da se bo zgornjih 0 do 8 cm peščeno meljastih tal v prvotno navidezno gostoto vrnilo v 5 do 9 letih. Drugače je bilo v globljih plasteh. Ugotovili so, da sprememb v plasti 15 do 25 cm, v trajanju poskusa skoraj ni bilo, zato sklepajo, da naravni mehanizmi globlje delujejo počasneje.

2.3.2.8 Zmanjševanje negativnih vplivov vožnje na tla

Za zmanjšanje vplivov vožnje na tla je potrebno uskladiti vse parametre v sistemu tla – stroj. Pomembne so lastnosti stroja, kot so masa, težišče vozila, število osi, dvojne osovine, sodoben hidrostatski prenos moči na kolesa, ki omogoča majhne zdrse, pomembna pa je tudi vodljivost stroja. Pri tem nikakor ne smemo pozabiti na spretnost, usposobljenost in motivacijo strojnika, ki lahko vpliva na število prehodov in kakovostno izdelavo preproge iz sečnih ostankov. Iz vidika tal je potrebno izdelati karte tal, kar bo omogočilo hitro ugotavljanje nosilnosti tal. Pomembno je načrtovanje izvedbe del, s sodobnimi GIS in GPS orodji pa lahko tudi zmanjšamo število prehodov (Bygden in Wästerlund, 2007).

2.3.2.8.1 Prilagoditev časa sečnje

Več avtorjev poroča o ugodnih rezultatih dela v času mrzlega vremena, ko tla zmrznejo do večje globine. Ti primeri so zelo pogosti na severu (Skandinavija, Kanada), kjer poznajo tri stanja tal – zmrznjena, suha tla poleti in mokra tla, ko se sneg topi. Takrat operacije v večini primerov ustavijo. Pri nas razmere niso primerljive, saj lahko trdimo, da večino leta delamo v odjugi (Košir, 2010a).

Prilagoditev časa sečnje je zelo odvisna od vremenskih razmer in jo v naših razmerah precej težko predvidimo, saj mora biti temperatura zelo nizka (pod -10°C) vsaj nekaj dni. Kljub temu pa je to omejitev, ki jo načrtovalci vse pogosteje postavljajo izvajalcem.

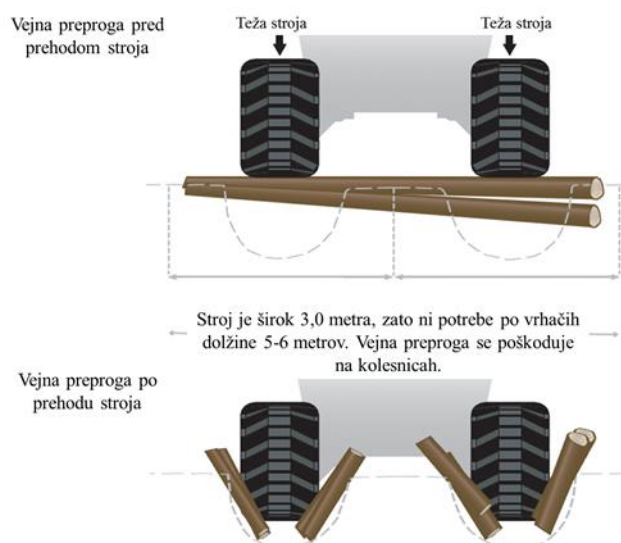
2.3.2.8.2 Sečni ostanki

Polaganje sečnih ostankov na tla in tvorjenje preproge iz sečnih ostankov so eden izmed pomembnejših ukrepov za zmanjšanje negativnih posledic vožnje na tla. Izdelava dobrih

preprog iz sečnih ostankov in ostalih netržnih hlodov ima še poseben pomen na občutljivih tleh (McDonald in Seixas, 1997; Nugent in sod., 2003; Tiernan in sod., 2003). Dokazano je, da preproge sečnih ostankov, pomagajo pri preprečevanju nastanka kolesnic in zbitosti tal, manj prizadete pa so tudi ostale fizične lastnosti tal, kot so poroznost in nasičena hidravlična prevodnost tal (Eliasson in Wästerlund, 2007; Jakobsen in Greacen, 1985). Zanimivo je, da dobre rezultate daje že relativno tanka preproga sečnih ostankov, debela 20 cm (Eliasson in Wästerlund, 2007). Preproga iz sečnih ostankov je boljša kot preproga iz sekancev, ali žagovine (Akay in sod., 2007).

V raziskavi vpliva sečnih ostankov na talne parametre opisujejo plast sečnih ostankov kot spodnjo plast v kateri so veje posekanih dreves, na kateri so prečno na sečno pot naloženi vrhači. Ostali deli drevesa, ki niso komercialno izkoristljivi so slučajnostno porazdeljeni po sestoji. Kljub temu, da avtorji niso kvantificirali debeline plasti sečnih ostankov, je očitno, da je bila plast debela, saj celo na primarnih vlakah, kjer so stroji vozili več kot 50-krat ne ugotavljajo, bistvenih sprememb, razen na mokrih predelih in delih, kjer je naklon presegal 19 %. Bistvo delovanja plasti sečnih ostankov je predvsem razporeditev pritiska kolesa stroja na večjo površino. Ta površina je bistveno večja, kot je kontaktna površina kolesa ali gosenice (Wood in sod., 2003).

Izkušnje iz slabo nosilnih tal v Angliji so pokazale, da je nosilna sposobnost plasti sečnih ostankov odvisna od globine, dolžine, drevesne vrste in starosti ostankov, ki sestavljajo vejno preprogo. Poleg tega na njeno trdnost močno vpliva tudi prisotnost in orientacija vrhačev in suhih dreves. Le-ti so zelo pomembni. Najboljše rezultate dajejo prežagani na 2 m kose. Štiri do pet metrski kosi se namreč hitro zlomijo in ne nudijo več opore, poleg tega pa se zgodi tudi t. i. »W« efekt, ko konci vrhačev še dodatno poškodujejo tla, saj jih predrejo in s tem zmanjšajo trdnost in vzdržljivost sečne poti. Prežaganje na manjše kose nima večjega vpliva na produktivnost. Avtorji tudi ugotavljajo, da stroj za sečnjo lahko naredi zelo kakovostne preproge iz sečnih ostankov (če jih zmanjkuje jih lahko pripelje zgibni polprikoličar od drugod), medtem ko so izkušnje iz klasične sečnje in drevesne metode precej slabše. Pomembno je tudi, da preprogo ob morebitnih poškodbah hitro popravimo (Murgatroyd in Saunders, 2005).



Slika 6: Prikaz »W« efekta (Murgatroyd in Saunders, 2005)

Vendar pa je količina sečnih ostankov pri redčenjih bistveno manjša, kot je to v primeru zgoraj navedenih avtorjev, ki se ukvarjajo z golosečnimi sistemi. Smer razmišljanja tujih avtorjev gre v smeri stalnih vlak in sečnih poti pokritih s sečnimi ostanki (Moffat in sod., 2006)

Schäfer (Schäfer in Sohns, 1993) poroča, da so na poskusnem objektu opazili, da so preproge sečnih ostankov po petih prehodih stroja imele samo še 70 % izhodiščne višine. Največje razlike so opazili pri debelini sečnih ostankov med 15 in 25 cm, kjer so ugotovili 59 % zmanjšanje višine.

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

Tudi v Sloveniji ugotavljajo, da so za zmanjševanje vplivov strojev na tla pomembni sečni ostanki. Ostanki morajo biti položeni na kolesnice, za učinkovito preprečevanje zbijanja tal pa mora njihova potlačena debelina znašati vsaj 10 do 15 cm (Košir in Robek, 2000). Tuji avtorji navajajo drugačne številke. Učinkovita zaščita pred zbijanjem naj bi bila debelina sečnih ostankov 25 cm, a so tudi avtorji raziskave ugotovili, da je bila takšna debelina samo na 21 % dolžine vlake (Schäfer in sod., 1991 cit. po von Wilpert in Schäffer, 2006).

2.3.2.8.3 Podvozje in pnevmatike

Metod in načinov zmanjševanja negativnih vplivov na tla je več. Večina avtorjev predlaga povečanje premera koles ali povečanje širine le-teh. Poleg tega lahko nekaj dosežemo tudi z zmanjševanjem pritiska v pnevmatikah. Za delo na zelo mehkih tleh je bilo predlagano tudi večje število koles, posebej v obliki kompleta (Bailey in Burt, 1981), svoje mesto pa so si izborile tudi nizkotlačne pnevmatike. Dokazali so, da so nizkotlačne pnevmatike boljše, kot navadne pnevmatike za kmetijstvo (Ryans, 1986).

Dvojne osovine (bogie os) so uporabne za povečevanje trakcije in stabilnosti stroja, hkrati pa izboljšajo udobje vožnje za voznika stroja. Na njih se lahko namestijo gosenične verige, ki izboljšujejo stabilnost in flotacijo na mehkih tleh. Na posebno težavnih terenih se lahko namestijo tudi na sprednjo dvojno osovino. Tam, kjer so razmere še slabše, pa se lahko uporabljajo tudi posebne, flotacijske gosenične verige s širšimi členi (Bygdén in sod., 2004; Murgatroyd in Saunders, 2005). Rezultati iste raziskave so pokazali, da gosenične verige zmanjšujejo globino kolesnic do 40 % in konusni indeks za 10 % v primerjavi s pnevmatikami. Izboljšanje je očitno, čeprav namestitev goseničnih verig poveča skupno maso stroja za 10 do 12 %.

Kremer (Kremer in sod., 2007) poroča, da k manjšemu pritisku na tla največ pripomore večje število koles (55 %), sledita pa zmanjšani tlak v pnevmatikah (35 %) in večja širina koles (10 %). Za zmanjšanje zbitosti tal je potrebno omejiti dotikalni tlak koles ali gosenic na tla s pravilno izbiro velikosti in tipa vlečnega mehanizma (pnevmatik ali gosenic). Dotikalni tlak se lahko omeji z zmanjšanjem tovora naloženega na zgibnem polprikoličarju, ali z uporabo lažjih strojev. Zmanjšanje tovora in uporaba lažjih strojev lahko poveča strošek sečnje in spravila, saj se podaljša čas izvajanja del (Nugent in sod., 2003). V novejši raziskavi pa avtorji zaradi močno zmanjšanih učinkov odsvetujejo uporabo zmanjšane tovora kot uporabne možnosti, saj je takšen način dela neučinkovit, poškodbam na tleh pa se še zmeraj težko izognemo (Poršinsky in sod., 2011).

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

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

Wronski (Wronski in Humphreys, 1994) poudarja pomembnost sečnih ostankov, saj omogočajo bistveno več delovnih dni, še posebej v mokrem delu leta. Ugotavlja, da vožnja stroja za sečnjo po sečnih ostankih povzroča minimalni vpliv na tla ne glede na vremenske pogoje in da nameščanje širših pnevmatik ne bi imelo bistvenega učinka na zmanjšanje

motenj tal, saj so poškodbe, ki jih povzroči zgibni polprikoličar veliko večje. Pomemben je tudi način polaganje sečnih ostankov na sečne poti, in količina sečnih ostankov. Če jih ne bi bilo, bi poškodbe tal po zgibnem polprikoličarju tako narasle, da bi onemogočile delo z običajnimi pnevmatikami na najmanj suhih tleh.

Primerjava razlik v zbitosti tal ob uporabi nizko in visokotlačnih pnevmatik ter goseničnih verig na istem zgibnem polprikoličarju je pokazala najmočnejše zbijanje v nižjih plasteh tal po prehodu visokotlačnih pnevmatik. Najmanj zbijanja so ugotovili pri prehodih stroja z nameščenimi goseničnimi verigami, kjer se je ohranila prvotna poroznost tal, zbijanje tal pa je bilo omejeno samo na vrhnje plasti. Ugotovili so, da je uporabnost goseničnih verig za preprečevanje zbijanja tal zelo velika (Sakai in sod., 2008).

2.4 CELOSTNO VREDNOTENJE VPLIVA TEHNOLOGIJ

V teku odgovarjanja na hipotezo 4 smo si kot cilje postavili poskus celostnega vrednotenja vplivov tehnologij. S tem mislimo vplive na okolje, hkrati pa primerjavo ekonomske sprejemljivosti tehnologij.

Naš pristop k vrednotenju ni nov, saj so s celostnim vrednotenjem tehnologij pri nas začeli že v sedemdesetih. Takrat so naši raziskovalci poleg ekonomskega vrednotenja prvič začeli tudi s proučevanjem vplivov na okolje. Začetki vrednotenja vpliva na okolje so bili usmerjeni v vrednotenje vpliva tehnologij na sestoje (Ivanek, 1976), kasneje pa tudi na tla (Sterle, 1991; Trafela, 1986), z različno uspešnostjo. V tem času se je tudi uveljavil izraz celostno vrednotenje vpliva tehnologij.

V naši nalogi skušamo ovrednotiti celosten vpliv sodobnih tehnologij pridobivanja lesa. Naše zanimanje je usmerjeno v proučevanje ekoloških parametrov, torej poškodb dreves v sestoji in tal. Prav tako pa nas zanima tudi ekonomska komponenta, brez katere si dela ne moremo predstavljati.

3 METODE

V tem poglavju bomo predstavili vse metode, ki so bile uporabljene v teku izdelave našega dela. Uporabljene metode lahko razdelimo na metode modeliranja in metode za zajem podatkov na terenu, ki smo jih nato uporabili pri modeliranju.

Modeliranje gospodarnosti tehnologij (model BIOPERA) je pomembno, zaradi upoštevanja slovenskih razmer pri izračunu gospodarnosti modelnih tehnologij in nam omogoča vpogled v razmere pri nas. Prav tako je dobro orodje za načrtovanje uporabe novih tehnologij.

Metoda celostnega vrednotenja vpliva tehnologij predstavlja poskus vrednotenja tehnologij, v kateri je zajetih več vidikov posameznih tehnologij. V tej metodi skušamo zajeti vplive na okolje in ekonomske dejavnike tehnologij ter vse te dejavnike ovrednotiti z eno oceno.

Metode ugotavljanja poškodb drevja in tal so metode, katere smo uporabljali za zajem podatkov na terenu v poskusu kvantificiranja vplivov tehnologij na okolje. Podatkovne baze še niso popolne, a predstavljajo začetek poskusa kvantifikacije vpliva sodobnih tehnologij pridobivanja lesa na okolje v naših razmerah.

Z metodami ugotavljanja učinkov in porabe časa smo pridobili pomembne podatke o sodobnih tehnologijah pridobivanja lesa, brez katerih modelov tehnoloških verig sploh ne bi mogli sestaviti.

Vloga uporabe GPS sistema Trimble je bila predvsem vsestranska podpora raziskovanju, standardizacija vnosnih shem pri zajemu podatkov. Sistem je omogočil hiter in učinkovit zajem podatkov o objektih z majhnim številom ljudi, potrebnih za izvajanje pregleda terena.

V drugem delu metod prikazujemo podatke o objektih, skupaj z načinom dela in morebitnimi posebnostmi, ki so se zgodile v času teka raziskave.

3.1 MODEL IZRAČUNA EKONOMIČNOSTI TEHNOLOGIJ PRIDOBIVANJA GOZDNE LESNE BIOMASE

Za ugotavljanje ekonomičnosti kombinacij tehnologij pridobivanja gozdne lesne biomase smo sestavili model, v katerem smo upoštevali glavne vplivne sklope. Model je sestavljen po vzoru modela BIOPERA (Košir in sod., 2009). V njem upoštevamo različne tehnologije in kombinacije le-teh v povezavi z glavnimi vplivnimi dejavniki.



Slika 7: Sestava modela BIOPERA (Košir in sod., 2009)

Viri podatkov za model so naše dosedanje raziskave na tem področju in primeri vzeti iz domače in tuje literature.

3.1.1 Drevo in sestoj

Vhodni sestoj in drevesa v njem smo modelirali s pomočjo tablic za razvoj sestoja in tablic za razvoj posameznega drevesa. Razlog za uporabo dveh vhodov, torej podatkov o sestoku in podatkov o posameznem drevesu je v dejstvu, da pristop z uporabo le sestojnih podatkov ni prinesel dobrih rezultatov. V modeliranju smo se omejili na dve drevesni vrsti – smreko in jelko. Glavna enota za preračunavanje je bila tona. Za pretvorbo iz m³ v tono smo uporabili razmerja navedena v preglednici 24.

Preglednica 24: Razmerja med težo in prostornino nekaterih delov drevesa v modelu (Kotar, 2003; Krajnc in sod., 2009; Košir in sod., 2010)

Vrsta biomase	[kg/m ³]	[m ³ /t]
Drevo smreke BTO	1057	0,95
Drevo bukve BTO	1120	0,89
Sečni ostanki smreke BTO – NTO	1055	0,95
Sečni ostanki bukve BTO – NTO	1274	0,79
Debeljad smreke v gozdu NTO	1057	0,95
Debeljad bukve v gozdu NTO	1120	0,89
Debeljad smreke na skladišču NTO	950	1,05
Debeljad bukve na skladišču NTO	1100	0,91

Pri modeliranju posameznega drevesa smo se pri smreki in bukvi oprli na Schaefferjeve tarife. Bruto drevnino drevesa smo izračunali na podlagi razvoja višine drevesa za smreko in bukev v tarifnem razredu 8 (Kotar, 2003). Definicije in pomeni debeljadi, drevesnine in deblovine so povzeti po istem viru. Debeljad je po tem viru les, ki ima premer večji kot 7 cm. V debeljadi nista všteta lubje in panj drevesa. Deblovina je nadzemna debeljad, vendar skupaj z lubjem. Drevesnina predstavlja celoten nadzemni del drevesa, z lubjem in vejami.

Kot vhod za modeliranje parametrov sestaja smo uporabili Halajeve donosne tablice (Halaj in sod., 1987 cit. po Kotar, 2003) za enodobne sestoje. Za smreko smo uporabili tablice za gorsko smreko, raven proizvodnje 3 in rastiščni indeks 28, ki ustrezajo smrekovim sestojem na Pokljuki (Košir, 1998a). Za bukev smo uporabili tablice, ki ustrezajo razvoju sestojnih parametrov v dinaridih, torej raven proizvodnje 2 in rastiščni indeks 30 (Košir in sod., 2009).

Vse tehnologije v modelu so predstavljene glede na starost sestaja in drevesno vrsto. Pri tem smo zaradi modelnih poenostavitev enačili podatke o povprečnem drevesu v sestoji s podatki o drevesu v odvisnosti od njegovega prsnega premera. Enačili smo torej značilnosti (prsni premer) srednjega odkazanega drevesa in značilnosti drevesa kot funkcije prsnega premera (Košir in sod., 2009).

3.1.2 Sortimentacija

Drug zelo pomemben del modela je izkoristek vhodne surovine. Torej kolikšna je količina končnega produkta, katero dobimo iz posameznega drevesa oziroma sestaja, glede na uporabo posamezne tehnologije (okrogli les, biomasa, kombinirana tehnologija).

Kot osnovo za modeliranje smo vzeli sortimentne sestave iz slovenskih in tujih virov. Podatke o sortimentni sestavi za smreko smo črpali iz podatkov ekspertize Kadunca (Kadunc, 2011) in strokovnih del Kavčičeve (Kavčič in sod., 1989). Iz tega istega dela smo delno povzeli tudi podatke za bukev. Močan vpliv na sortimentacijo bukve pa so imele tudi hrvaške raziskave (Prka, 2010).

Zaradi poenostavitve in večje preglednosti rezultatov smo gozdne lesne sortimente razdelili v tri skupine:

- A- kakovostna debeljad, kamor smo šteli furnirske hlode, luščence in hlode za žago;
- B- manj kakovostna debeljad, kamor štejemo celulozni les, brusni les, goli za kemično in mehansko predelavo, tanek tehnični les in drogove;
- C- sečne ostanke, ki so ves les pod 7 cm (vejevina in vrhači).

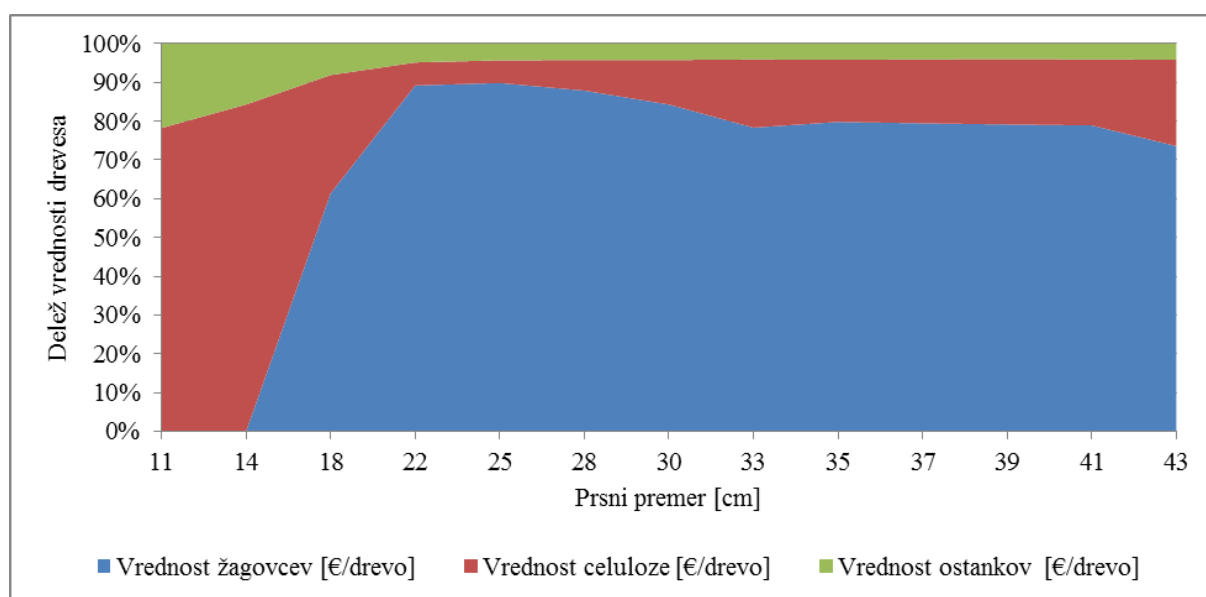
V modelu smo za hlode upoštevali razdelitev sortimentov glede na aktualni pravilnik o razvrščanju in merjenju hlodov (Pravilnik, 2011), za ostale sortimente pa stare standarde za merjenje sortimentov (Krojenje, 1979).

Les v skupini A je najvrednejši. Predvidevamo, da se njegov namen uporabe dolgoročno ne bo spreminjal. Ta del biomase ne pride v poštev za energijske namene.

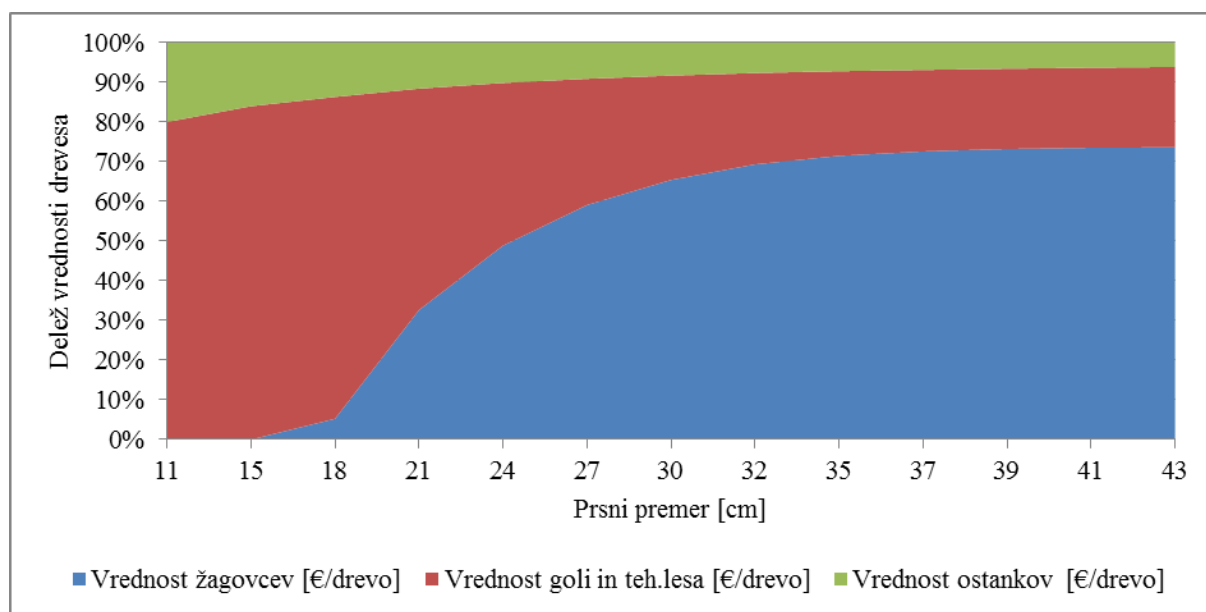
Les v skupini B je močno različen, prav tako so različne cene glede na namen uporabe. Pri tej skupini je možnost, da pride do energetske rabe precejšnja še posebej, če upoštevamo večje stroške izdelave sortimentov (kleščenje).

Lesna biomasa v skupini C so sečni ostanki, katere s sodobnimi tehnologijami izkoriščamo le redko in v specifičnih razmerah. Primeri iz tujine so predvsem baliranje sečnih ostankov in spravilo s (prilagojenimi) zgibnimi polprikoličarji. Raba tega dela biomase je ekonomsko močno vprašljiva, če se seveda transport te biomase ne izvaja skupaj s kakšnim drugim delom okroglega lesa (npr. drevesna metoda).

Razmerja med skupinami A, B in C se spreminjajo glede na drevesno vrsto in prsni premer. Ta razmerja smo modelirali glede na zgoraj opisane raziskave sortimentnih sestav sestoja (Kavčič in sod., 1989, Prka, 2010, Kadunc, 2011)



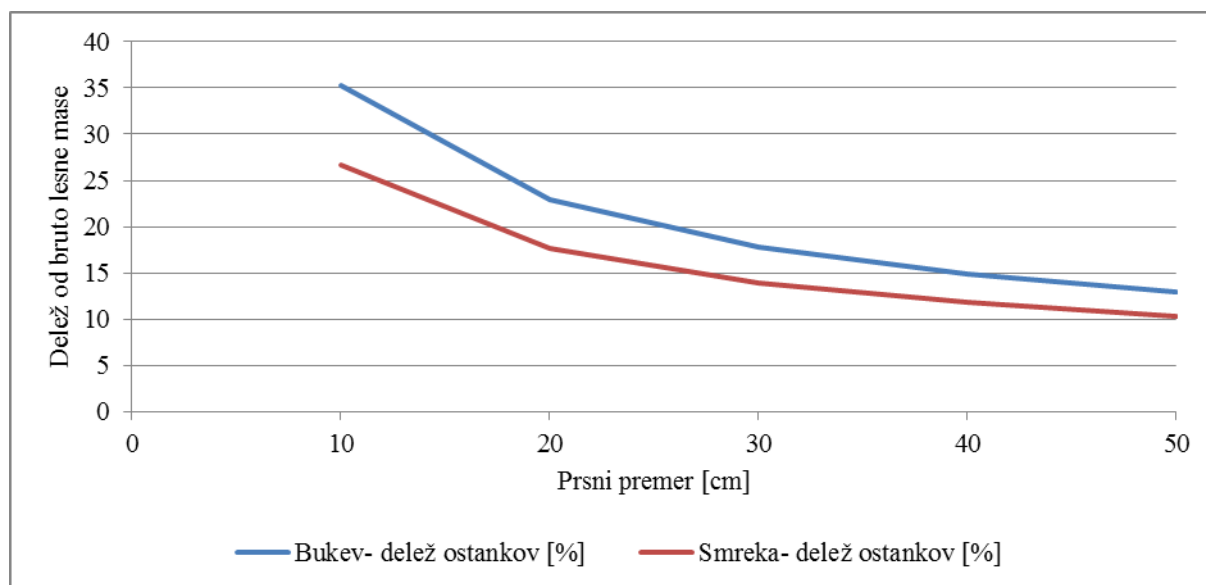
Slika 8: Delež vrednosti smreke skupin A, B in C v drevesnini



Slika 9: Delež vrednosti bukve skupin A, B in C v lesni masi drevesa

Kot lahko vidimo iz slik 8 in 9 so razmerja med vrednostmi iglavcev in listavcev velika predvsem pri drobnem lesu, torej v času zgodnjih redčenj. Razlika se s povečevanjem prsnega premera zmanjšuje, v splošnem pa imajo iglavci več hlodov kot listavci.

Za tehnologije okroglega lesa smo upoštevali neto drevo po Halajevih tablicah, za tehnologije pridobivanja biomase pa povprečno bruto drevo. Zavedamo se, da v bruto drevesu ni vštete listja in tankih vej, a podatkov, ki bi upoštevali še te parametre, nismo našli. V obrambo naše odločitve naj povemo, da tudi ZGS (Zavod za gozdove Slovenije) odkazuje povprečno bruto drevo na enak način. Tanke veje, listje in iglice torej v njihovem odkazilu niso zajeti.



Slika 10: Delež sečnih ostankov v bruto masi drevesa

Razmerje med bruto in neto lesno maso kaže slika 10. To razmerje je eno najpomembnejših razmerij za modeliranje tehnologij pridobivanja biomase.

V modelu smo uporabili cene posameznih vrst sortimentov po uradnem ceniku Sklada kmetijskih zemljišč in gozdov (SKZG, 2013a). Cene na trgu namreč močno variirajo in po opravljenih intervjujih z različnimi viri smo dobili precej različne informacije. Glede na dejstvo, da ima SKZG vpogled v prodajo hlodov in cene lesa, ki prihaja iz državnih gozdov je to vir, ki ima največ podatkov uradne narave.

Podatke o cenah lesnih sekancev je bilo težko pridobiti, saj so ti podatki zaupne narave. Podatke smo pridobili iz podjetja TE-TOL d.o.o. in s strani dveh podjetij, ki se ukvarjata z izdelavo sekancev (Godnov, 2013; Lipec, 2013; Sučić, 2013).

Preglednica 25: Povprečne tržne cene po franko kamionska cesta v €/m³, brez DDV

Del drevesa	Smreka	Bukev
A1+A2	120	115
B	80	60
C	65	50
D1+D2+D3	42	42
Celulozni les – boljši	27	-
Celulozni les – slabši	22	-
Goli	-	37
Ostanki v €/atro tono	82	82
Povprečja po delih drevesa – A, B, C		
Žagovci	76,8	66,8
Celulozni in drug tehnični les	24,8	37,0
Ostanki	18,8	17,5

V preglednici 25 prikazujemo podatke o cenah lesa, katere smo uporabili v našem modelu. V spodnjem delu preglednice prikazujemo združene cene glede na naše skupine modeliranja (A, B, C). Povprečje za skupino A smo dobili z povprečenjem cen hlodov (skupine A1, A2, B, C, D1, D2 in D3), povprečje cen za skupino B smo dobili iz povprečja boljšega in slabšega celuloznega lesa za iglavce in cene goli za listavce. Za ceno sečnih ostankov smo vzeli ceno atro tone avstrijskih odkupovalcev in izračunali ceno za m^3 sečnih ostankov pri vlažnosti 60 %.

Za preračunavanje vrednosti sekancev smo uporabljali »energijsko vrednost« lesa, torej njegovo kurilnost oziroma neto energijsko vrednost. Za preračun smo uporabili formulo za analitični izračun kurilnosti, katero najdemo na strani 21 priročnika Lesna goriva (Krajnc in sod., 2009).

Na skladišču za lesna goriva sekance ali les pod streho dodatno posušimo in tako dosežemo višjo kakovost proizvoda. Skladišča omogočajo tudi ločevanje surovine po kakovosti in suhosti, seveda glede na zahteve in potrebe stranke. V našem modelu nismo predvideli uporabe biomasnega logističnega centra, saj predvidevamo uporabo zelenih sekancev.

V predstavljenih tehnoloških verigah smo predvideli uporabo slabšega lesa in sečnih ostankov za izdelavo sekancev. Dejstvo je, da takšni sekanci (tudi če sekamo na suš in listje deloma odpade) ne morejo doseči vsebnosti listja, ki bi dosegla le 10 %. Zelenih sekancev torej ne moremo prodati domačim uporabnikom, kar je velika ovira v nadaljnjem razvoju tehnologij lesne biomase pri nas. Zato smo se ozrli izven naših meja. V Avstriji so v preteklosti veliko vlagali v razvoj biomasnega sektorja in tako imajo večje število toplarn, ki uporabljajo zelene sekance. Nekatere toplotne so v neposredni bližini naše meje. To sta toplotni v Celovcu in Svetem Andražu v Labotski dolini. V prid takšnemu načinu razmišljanja kaže tudi enotni evropski prostor, brez meja. Na mejah torej ni dajatev (carin), prav tako praviloma odpadejo tudi čakalne dobe na mejah.

3.1.3 Gozdne prometnice

Pri primerjavah tehnologij je vedno problematično primerjati tehnologije brez upoštevanja stroškov izgradnje in vzdrževanja prometnic. Zlasti težavno je primerjati spravilo z gozdarsko žičnico in traktorsko spravilo. Le-to je cenovno zelo ugodno, seveda ob predpostavki, da imamo že izgrajeno dobro omrežje vlak. Če pa v kalkulacijo spravila vračunamo še ceno izgradnje gozdnih vlak, se cenovna ugodnost takšnega spravila spremeni.

Prav tako je problematična strojna sečnja. V poglavju 2.3.2.1.1 govorimo o sečni poti kot sekundarni gozdni prometnici, kar izhaja iz tehnološke delitve prometnic. Težava nastane zaradi pravne definicije gozdne prometnice. Če bi bila sečna pot gozdna prometnica iz pravnega vidika, bi to pomenilo, da je potrebno za vsako sečno pot izvesti zapletene

postopke, ki stanejo veliko časa in denarja. Seveda je to nemogoče, saj bi to predstavljalo prevelike stroške za tehnologijo. Strojna sečnja namreč takšnih stroškov ekonomsko ne prenese.

V modelu nismo upoštevali lastnosti sestojev, ki vplivajo na izbiro tehnologije (naklon, kamnitost, skalovitost). Zato smo predvideli, da imamo povsod, kjer uporabljamo tehnologijo traktorskega spravila in strojno sečnjo že delno odprt sestoj. Predvidena odprtost sestoja je za obe tehnologiji znašala 140 m/ha. Pri traktorskem spravilu smo predvideli dodatno odpiranje sestoja s 60 m/ha novih vlak, pri strojni sečnji pa ocenjujemo, da potrebujemo nekoliko večjo odprtost z vlakami, zato smo predvideli dodatno izgradnjo 80 m/ha novih vlak. Skupna odprtost z vlakami torej znaša za traktorsko spravilo 200 m/ha, za strojno sečnjo pa 220 m/ha. Strojna sečnja potrebuje sicer večje odprtosti sestoja. Takšno gostoto odprtosti dosežemo s sečnimi potmi, kjer stroškov gradnje ni. Privzete vrednosti za traktorsko spravilo so privzete iz domačih objav (Dobre, 1985). Za strojno sečnjo smo vrednosti potrebne gostote prometnic ugotavljali glede na dejanske razmere na poskusnih objektih (Mozeljški Šahen, Trije Križi, Vetrih) in domačih objav (Košir in Robek, 2000).

Trdnost terena je pomembna predpostavka pri cenah gradnje in rekonstrukcije. Prevezli smo, da je polovica prometnic zgrajena na trdem, polovica pa na mehkem terenu. Cene za gradnjo, rekonstrukcijo in popravilo vlak smo prevzeli iz veljavnega cenika SKZG za leto 2013 (SKZG, 2013b). To so tudi cene, po katerih SKZG plačuje gozdarskim gospodarskim družbam za dela na vlakih v vseh državnih gozdovih.

Od tipa matične podlage je odvisna tudi količina rekonstrukcij in popravil vlak. Podmena je, da je v trdih matičnih podlagah vlake dražje graditi, manj pa je popravil in rekonstrukcij. To dejstvo smo upoštevali tudi mi. V pogovoru z strokovnjaki iz gospodarskih družb in revirnimi gozdarji na ZGS (Gradišar, Žvab, 2013, Vidmar, Šmajdek, Prosenc, 2013) smo ocenili, da je potrebno na mehkih terenih rekonstruirati 40 % vlak pred začetkom dela, po delu pa je potrebno popraviti 60 % vlak. Na enak način je bilo ocenjeno, da je na trdem terenu potrebno rekonstruirati 5 % vlak, popraviti pa 10 %.

Opisana metoda velja za traktorsko spravilo in strojno sečnjo. Pri uporabi žičnih žerjavov gradnje in rekonstrukcije prometnic nismo upoštevali. Pri tej tehnologiji so namreč stroški gozdnih prometnic upoštevani v normativu, kot faktor prestavljanja naprav. Za prestavljanje univerzalnih žičnic znaša ta faktor 1,37 (Uredba, 2010).

3.1.4 Kalkulacije

Kalkulacije stroškov smo izvajali v skladu z Slovenskimi kalkulacijami stroškov gozdarskih del (Winkler in sod., 1994). V skladu s tem virom so sledeče predpostavke, katere smo upoštevali pri kalkulacijah:

- Delovni čas je čas, ko je delavec ali strojnik na delu, ne glede na to kaj in koliko dela s strojem. Delovni čas je pri nas zakonsko predpisan in pri nas znaša 8 ur (480 min) na dan, ali 40 ur na teden.
- Obratovalni čas je čas, ko motor stroja teče, ne glede na to ali opravlja koristno delo ali ne. V njem je zajet le del delovnega časa, torej čas, ko stroj deluje.
- Efektivni čas je čas, ko stroj opravlja namensko delo, ne glede na velikost učinka.

Amortizacija, ki smo jo izračunavali v kalkulacijah, je funkcionalna amortizacija (Miyata, 1980). Pri amortizaciji je najtežje določiti realno dobo trajanja stroja. Tukaj smo si pomagali s kalkulacijami GIS (Klun in sod., 2009) in tujimi izračuni (BFW, 2009). Poleg teh kalkulacij smo pridobili tudi nekatere domače kalkulacije, ki so nam služile za zgled (Krajnc in sod., 2009; Krč, 2010; Premrl in Krajnc, 2011).

Popravila in vzdrževanje strojev smo izračunavali na podlagi števila letnih obratovalnih ur, nabavne vrednosti stroja in trajanja stroja.

Obresti na vložena sredstva smo izračunali po obrazcu za anuitetni obrok z uporabo obrestnoobrestnega računa (Winkler in sod., 1994).

Obresti je potrebno upoštevati, saj je v delovnem sredstvu vložen kapital, katerega moramo povrniti, a ne samo glavnice temveč tudi obresti. Vrednost delovnega sredstva se vsako leto zmanjša za znesek letne amortizacije, s tem pa se zmanjšajo tudi obresti na vložena sredstva. Obresti pri posamezni vrsti stroja smo upoštevali glede na dobo amortizacije posameznega stroja. Za motorno žago smo predvideli 3 % obrestno mero, za stroj za sečnjo in žični žerjav 4,5 % obrestno mero, za vse ostale stroje pa 4 % obrestno mero.

Pri izračunu bruto plače delavcev smo se oprli na ugotovljeno povprečno plačo sekača v gozdarstvu. Razmerja med plačami za posamezna delovna mesta smo modelirali po zadnji kolektivni pogodbi za gozdarstvo, kjer smo predvideli, da je sekač najslabše plačan, najboljše pa sta plačana voznik tovornjaka in strojnik na stroju za sečnjo (Tarifna ..., 2010).

Ker je takšno ugotavljanje urne postavke zelo težavno smo se oprli na analitično oceno delovnih mest v podjetju Gozdno gospodarstvo Bled (Soklič, 2013). Raziskava je pri oceni delovnih mest upoštevala potrebno znanje, odgovornost, napor in delovne pogoje. Za vse te dejavnike lahko trdimo, da so po celotni državi v podjetjih podobni, saj so usposobljenost, odgovornost in napor enakih delovnih mestih po vsej državi podobne.

Urne postavke za sekača smo prevzeli iz raziskave Kavčičeve (Kavčič in Vidic, 2010), kjer je objavljeno tehtano povprečje urnih postavk delavca sekača kot povprečje postavk iz sedmih koncesionarskih podjetij in znaša 4,7460 €/du.

Preglednica 26: V modelu uporabljeni koeficienti bruto plače za posamezen profil delavca (Soklič, 2013)

Sekač	1
Traktorist	1,01
Strojniki na zgibnem polprikoličarju	1,02
Strojniki na stroju za sečnjo	1,05
Voznik gozdarskega kamiona	1,04
Žičničar	1,06

Kalkulacije stroškov delavcev so področje, na katerem v zadnjem času ni bilo veliko objav. Zato smo se pri ugotavljanju količnikov za ugotavljanje stroškov delavcev in uprave ter režije oprli na najnovejšo objavo iz tega področja. Stroške delavcev smo ugotovili tako, da smo bruto plačo delavcev pri kalkuliranem stroju pomnožili s količnikom K1, ki znaša 2,64. Splošni stroški uprave in režije so zajeti v količniku K2, ki znaša 1,75 (Kavčič in Vidic, 2010). Ker ni dostopnih drugih objav s tega področja, ki bi bolj podrobno opredeljevale količnike za traktoriste, stroje za sečnjo in tovarnjake, smo enaka koeficienta, kot za sekača uporabili tudi pri vseh drugih strojih. Količnik smo primerjali tudi z raziskavo iz leta 2006 (Malovrh in Winkler, 2006), kjer avtorja ugotavljata količnik K1 2,43 in K2 1,71. Za uporabo koeficientov iz raziskave Kavčičeve smo se odločili zaradi novejšega datuma izvedbe raziskave.

Nabavne cene strojev, njihove likvidacijske vrednosti, število delovnih ur na leto in življenjsko dobo smo za motorno žago, prilagojeni kmetijski traktor, traktor zgibnik, stroj za sečnjo, zgibni polprikoličar ter žični žerjav na tovarnjaku povzeli po kalkulacijah Gozdarskega inštituta (Klun in sod., 2009). Pri ugotavljanju nabavnih vrednosti sekalnikov, njihove likvidacijske vrednosti in življenjske dobe smo si pomagali z rezultati kalkulacij nekaterih evropskih projektov (Premrl in Krajnc, 2011). Letna izkoriščenost sekalnikov v delovnih urah je precej nizka in daleč pod povprečjem izkoriščenosti gozdarske mehanizacije. Število letnih delovnih ur sekalnikov (Eschlbock, Bruks, Holzmatic, Starchl) smo povzeli po morfologiji rabljenih strojev (Košir in sod., 2009), saj je bilo število delovnih ur v vseh kalkulacijah precej višje, kot kažejo številke dejanske rabe sekalnikov.

Cene delovne ure strojev in tipi strojev, ki so bili uporabljeni v modelu, so predstavljeni v spodnji preglednici.

Preglednica 27: Cene delovne ure in tipi strojev v modelu

Faza	Stroj	Tip	[€/h]
Sečnja	Motorna žaga	Husqvarna 372 XPG	23
Sečnja	Stroj za sečnjo	John Deere 1470D	101
Spravo	Prilagojeni kmetijski traktor 4×4	John Deere 6220 SE	50
Spravo	Veliki gozdarski zgibnik	Zgibni traktor Woody 110 (1+0)	67
Spravo	Sedlasti traktor	HSM 805 F	75
Spravo	Zgibni polprikoličar	John Deere 1410D	80
Spravo	Žični žerjav na tovornjaku	Mayr-Melnhof Syncrofalke 3t	130
Sekanje	Sekalnik kot priključek traktorja s hidravličnim dvigalom	Eschlböck Bieber 70 in JCB Fastrac 3220	120
Sekanje	Sekalnik na zgibnem polprikoličarju	Eco Log 574B in Bruks 805CT	199
Sekanje	Sekalnik na tovornjaku	Holzmatic in MAN 26.630	149
Sekanje	Sekalnik na tovornjaku	Starchl MK74 600 in MB Actros 2640	133

Največje teže tovornjakov so bile upoštevane po veljavnem pravilniku o merah in masah vozil (Pravilnik, 2006), podatke o težah praznih vozil smo dobili iz gozdarskih gospodarskih družb (Gradišar in Žvab, 2013), katere smo dodatno preverili s podatki iz objav (Poršinsky, 2005b). Raziskav o hitrosti tovornjakov na gozdnih in magistralnih cestah pri nas v zadnjem času ni. Zadnje objave na to temo v Sloveniji izvirajo iz osemdesetih let in tako niso relevantne. Zato smo podatke o hitrosti vožnje tovornjakov, ki vozijo okrogli les iskali na Hrvaškem (Poršinsky, 2005b) in v Avstriji (Holzleitner in sod., 2011). Hitrosti vožnje tovornjakov za sekance smo pridobili iz Avstrije (Holzleitner in sod., 2013). Ocenili smo namreč, da je cestno omrežje v teh dveh državah podobno našemu, primerljiva pa so tudi pravila za osne obremenitve, maksimalno maso in dolžino tovornjakov. Privzeta hitrost za gozdno cesto v modelu znaša 26,1 km/h, za lokalno cesto 36,6 km/h, za magistralno cesto 55,0 km/h in za avtocesto 82,0 km/h.

Preglednica 28: Prevozne razdalje v modelu in delitev razdalje glede na kategorijo ceste

Razdalja	Gozdna cesta [km]	Lokalna cesta [km]	Magistralna cesta [km]	Avtocesta [km]
20	17	3	0	0
40	20	15	5	0
60	25	25	10	0
80	25	30	20	5
100	25	30	30	15
150	25	30	30	65
200	25	30	30	115

Iz navedenih objav smo prav tako povzeli čas, potreben za nakladanje in razkladanje okroglega lesa. Čas nakladanja in razkladanja tovornjakov za prevoz sekancev smo pridobili z lastnimi meritvami na sekalniku Silvator 2000 v Italiji in Sloveniji, kjer so uporabljali enake tovornjake, kot v članku Holzleitnerja (Holzleitner in sod., 2013). Kot čas nalaganja

tovornjaka smo vzeli povprečje produktivnega časa sekalnika za 12-ih ciklov nalaganja tovnjaka s prikolico in 15-ih ciklov nalaganja solo tovnjaka za prevoz sekancev. Časovna študija polnjenja vlačilca za prevoz sekancev je bila izvedena na Črnem kalu. Za nakladanje in razkladanje solo kamiona smo predvideli 16,6 min, za tovnjak s prikolico in polprikolico pa 35 min. Potrebni časi za nakladanje in razkladanje tovnjakov za prevoz sekancev so nekoliko večji, in sicer 26,8 min za solo kamion, za tovnjak s prikolico 58,5 min in za vlačilec 84,9 min.

Povejmo še nekaj več o izbranih razdaljah za prevoz s tovnjaki. Kot smo predvideli v poglavju 3.1.2 zelene sekance vozimo v Avstrijo. Prevozne razdalje do porabnikov so iz severnega dela države manj kot 100 km (Kranj – 85 km, Celje 99,8 km). Iz krajev osrednje in vzhodne Slovenije do porabnika znaša prevozna razdalja okrog 150 km (Ljubljana – 112 km, Maribor – 158 km). Iz ostalih krajev jugo-vzhodne in vzhodne Slovenije pa znaša prevozna razdalja približno 200 km (Kočevje – 175 km, Črnomelj – 219 km, Brežice – 198 km, Murska Sobota – 198 km). Na podlagi teh ocen smo predvideli tudi prevozne razdalje s tovnjaki 100, 150 in 200 km.

Voznik tovnjaka sme dnevno voziti 9 ur, ali 56 ur na teden. Voznik mora po 270 minutah (4,5 ure) vožnje počivati vsaj 45 minut. Efektivno lahko torej voznik vozi 8 ur v dnevu (Zakon, 2007). Za voznike gozdarskih tovnjakov smo v kalkulaciji upoštevali 10-urni delavnik in proste sobote. Skupaj smo predvideli, da tovnjak dela 200 dni v letu, trajanje tovnjaka in nakladalne naprave pa je 7 let.

Cene gozdarskih tovnjakov ter nadgradnje smo pridobili s strani gozdarskih gospodarskih družb (Gradišar in Žvab, 2013). Podatke smo korigirali s podatki dobaviteljev (Pavlin, 2013) ter podatki iz soseščine (Poršinsky, 2005b). Iz istih virov smo tudi pridobili podatke o porabi goriva. Za gozdarske tovnjake znaša poraba goriva, katero smo upoštevali v modelu, med 55 in 60 l/100km, za tovnjake, ki nimajo nakladalne naprave in večinoma vozijo po cesti, pa je poraba med 35 in 37 l/100km. Iz gozdarskih gospodarskih družb smo pridobili tudi cene pnevmatik za tovnjake ter čas po katerem menjavajo pnevmatike. Stalna praksa je, da na gozdarskih tovnjaki pnevmatike menjajo vsako leto, medtem ko pnevmatike na vlačilcih menjajo na dve leti (Gradišar in Žvab, 2013).

Cena nadgradnje za tovnjak za prevoz sekancev smo dobili pri podjetju, ki se ukvarja z nadgradnjami tovnjakov (Novak, 2013). Cena nadgradnje tovnjaka je 30.000 EUR, cena nadgradnje prikolice pa 35000 EUR.

Stroškov cestnin in ter morebitnih plačljivih odsekov avtocest v izračunu nismo upoštevali.

V nadaljevanju prikazujemo rezultate kalkulacij stroškov za tovnjake za prevoz okroglega lesa in sekancev. Spodnji izračuni so bili uporabljeni v modelu.

Preglednica 29: Stroški prevozov v €/t glede na razdaljo prevoza pri različnih tipih tovornjakov

Okrogel les			
Razdalja [km]	Solo tovornjak [€/t]	Tovornjak s prikolic [€/t]	Tovornjak s polprikolico [€/t]
20	9,6	6,6	4,4
40	16,7	10,6	7,1
60	23,9	14,8	10,0
80	29,9	18,1	12,2
100	35,3	21,0	14,2
150	47,7	27,5	18,8
200	60,0	34,0	23,3

Sekanci			
Razdalja [km]	Tovornjak za prevoz sekancev [€/t]	Tovornjak za prevoz sekancev s prikolic [€/t]	Tovornjak s prikolic za prevoz kotalnih kontejnerjev [€/t]
20	5,1	4,3	3,38
40	8,6	6,6	5,76
60	12,2	9,0	8,21
80	15,0	10,9	10,13
100	17,6	12,5	11,82
150	23,4	16,3	15,58
200	29,2	20,0	19,35

Na spodnjih preglednicah prikazujemo stroške prevoza lesa z različnimi kompozicijami, glede na vsebnost vode. V preglednicah prikazujemo tudi tovornjake prilagojene za vožnjo okroglega lesa (solo tovornjak, tovornjak s prikolic in tovornjak s polprikolico). Podatki za te tovornjake so lahko zanimivi, če bi se odločili za vožnjo slabšega celuloznega lesa ali goli do večjega skladišča, na katerem bi nato izvajali sekanje z večjim sekalnikom (primer iz Kočevja).

Preglednica 30: Stroški prevozov v €/GJ glede na razdaljo prevoza in vsebnost vode 30 % pri različnih tipih tovornjakov (1 t = 12,218 GJ)

Okrogel les			
Razdalja [km]	Solo tovornjak [€/GJ]	Tovornjak s prikolico [€/GJ]	Tovornjak s polprikolico [€/GJ]
20	0,8	0,5	0,4
40	1,4	0,9	0,6
60	2,0	1,2	0,8
80	2,4	1,5	1,0
100	2,9	1,7	1,2
150	3,9	2,3	1,5
200	4,9	2,8	1,9

Sekanci			
Razdalja [km]	Tovornjak za prevoz sekancev [€/GJ]	Tovornjak za prevoz sekancev s prikolico [€/GJ]	Tovornjak s prikolico za prevoz kotalnih kontejnerjev [€/GJ]
20	0,4	0,4	0,3
40	0,7	0,5	0,5
60	1,0	0,7	0,7
80	1,2	0,9	0,8
100	1,4	1,0	1,0
150	1,9	1,3	1,3
200	2,4	1,6	1,6

Preglednica 31: Stroški prevozov v €/GJ glede na razdaljo prevoza in vsebnost vode 60 % pri različnih tipih tovornjakov (1 t = 5,3776 GJ)

Okrogel les			
Razdalja [km]	Solo tovornjak [€/GJ]	Tovornjak s prikolico [€/GJ]	Tovornjak s polprikolico [€/GJ]
20	1,8	1,2	0,8
40	3,1	2,0	1,3
60	4,4	2,8	1,9
80	5,6	3,4	2,3
100	6,6	3,9	2,6
150	8,9	5,1	3,5
200	11,2	6,3	4,3

Sekanci			
Razdalja [km]	Tovornjak za prevoz sekancev [€/GJ]	Tovornjak za prevoz sekancev s prikolico [€/GJ]	Tovornjak s prikolico za prevoz kotalnih kontejnerjev [€/GJ]
20	1,0	0,8	0,6
40	1,6	1,2	1,1
60	2,3	1,7	1,5
80	2,8	2,0	1,9
100	3,3	2,3	2,2
150	4,4	3,0	2,9
200	5,4	3,7	3,6

3.1.5 Učinki in poraba goriva

V modelu smo upoštevali več vplivnih dejavnikov, a smo se pri številu dejavnikov morali močno omejiti. Državni normativi namreč upoštevajo veliko število dejavnikov, možnih kombinacij pa bi tako bilo preveč. Seveda so takšne dopolnitve modela v prihodnosti možne. Model v prihodnosti vidimo predvsem v obliki podpore odločanju pri nakupu novih strojev ter pri nadgradnji modela v GIS okolju, kjer bi lahko ugotavljali primernost terenov in sestojev za posamezno tehnologijo.

3.1.5.1 Metode časovnih študij

Ne glede na način spremljanja časov in učinkov smo uporabljali kronometrične metode merjenja časov, praviloma ničelno metodo. Če je bilo le mogoče, smo snemali celoten delavnik, oziroma celotno izmeno. Pred pričetkom snemanja smo v pisarni natančno določili začetek in konec postopkov ter njihov pomen v delovnem procesu (prioritetni red postopkov). Praviloma nas bolj zanima glavni produktivni čas, kot pomožni produktivni čas, saj na glavni čas vplivajo druge spremenljivke, kot na pomožni produktivni čas. Kadar se sočasno odvijata dva postopka, zabeleženi čas pripišemo važnejšemu postopku, ki bolj vpliva na končni rezultat oz. cilj procesa. Posebej pomemben je neproduktivni čas. Zlasti tisti del, ki se nanaša na samo delo. Beležimo vzroke zastojev do 15 minut, daljše zastoje zabeležimo in zapišemo vzrok, vendar te vzroke analiziramo posebej.

Časovne študije na objektih v Mozelskem Šahnu in Bradačevi frati smo izvajali z uporabo štoparice in obrazcev za snemanje spravila lesa z zgibnim polprikoličarjem.

Zaradi kratkih časov delovnih operacij pri stroju za sečnjo smo bili prisiljeni metode razviti. V ta namen smo nabavili dlančnik Trimble Recon ter specialno programsko opremo za časovne študije UMT proizvajalca Laubress inc. Dlančnik omogoča veliko avtonomijo uporabe (8 ur), ima možnost menjave baterije in je odporen na prah, padce, vodo, vibracije in temperaturo. Programska oprema za časovne študije je uporabniku zelo prijazna, saj je mogoče preprosto časovno študijo pripraviti v nekaj minutah. Omogoča tudi direkten izvoz podatkov iz dlančnika na računalnik, ki jih je nato možno obdelovati s programskimi orodji za tabelarično obdelavo podatkov. Dlančnik s programsko opremo UMT smo uporabljali v poskusih na Osankarici, v Bukovju in v Mozelskem Šahnu ter pri vseh časovnih študijah sekalnikov. Program omogoča časovno študijo po kontinuirani in ničelni metodi. V naši raziskavi smo uporabljali ničelno metodo.

Kontrolo časovnih študij na stroju Eco Log smo izvajali s pomočjo kamere Sony HDR XR200, ki smo jo pred začetkom strojne sečnje montirali v kabino stroja za sečnjo. Ker so cikli pri strojni sečnji zelo kratki, se je nekajkrat zgodilo, da nismo uspeli zapisati kode drevesa in tako so posnetki bili zelo uporabni. Celotno časovno študijo za Osankarico in Bukovje smo kasneje preverili na traku. Montaža kamere v stroju Eco Log smo izvedli s

pomočjo nosilca, ki smo ga naredili za ta namen. Pri ostalih poskusih kamere zaradi lastnosti stroja in sestojev nismo uporabili.

Pri merjenju učinkov tehnologij okroglega lesa smo merili komercialne premere, torej srednji premer z odšteto skorjo in komercialne dolžine, ali pa smo uporabljali prsne premere. Ker pa tega vedno ni mogoče opraviti, primer je spravilo drobnega lesa, smo merili premere na obeh ali na enem koncu, saj smo domnevali, da bo v kupu na eni strani kupa enkrat debel, drugič pa tanek konec.

Študije časov in učinkov vsebujejo informacije, ki so poleg tehničnih lastnosti stroja in tehnologije vezane na drevo in na sestoj. Tipični dejavniki, ki so vezani na drevo, so izdelavni časi, premer drevesa in drevesna vrsta, na sestoj pa so vezani jakost odkazila, gostota sekundarnih prometnic, matična podlaga, idr.

3.1.5.2 Motorna žaga

V modelu smo za ugotavljanje učinkov dela z motorno žago upoštevali državne normative za sečnjo z motorno žago (Uredba, 2010). Zaradi velikega števila dejavnikov, ki v državnih normativih vplivajo na učinek in omejitev modela, smo kot dejavnike, ki vplivajo na učinke dela upoštevali drevesno vrsto, starost sestoja oziroma prsni premer povprečnega drevesa.

Iz modela smo torej izločili vpliv koncentracije dela, prehodnosti terena, naklona terena, gostote vlak ali linij, snega, mraza, slučajnih pripadkov, obrobjanja, ročnega lupljenja in popolnega gozdnega reda. Za sečnjo smo za sečnjo iglavcev predvideli niz 4, za sečnjo listavcev pa niz 5.

Učinki za sečnjo okroglega lesa so povzeti iz državnih normativov, medtem ko smo učinke za biomasno sečnjo prilagodili glede na nekatere ugotovitve slovenskih raziskovalcev (Poje, 2011) o strukturi delovnega časa sekačev.

Znano je, da je poraba goriva pri motorni žagi zelo variira, kar dokazujejo tudi domače raziskave. Na domače raziskave smo se oprli zato, ker tuje raziskave za potrebe našega modela niso primerne, saj so razmere na delovišču in slika delavnika v naših razmerah lahko precej drugačne. V slovenskih raziskavah ugotavljajo, da na porabo goriva vpliva veliko dejavnikov. Najboljšo korelacijo so dosegli s prsnim premerom in volumnom drevesa (Rebula, 1985). Težava te in starejših raziskav (Turk, 1965; Ude, 1966) porabe goriva je predvsem v tehnološkem napredku motornih žag. Znano je namreč, da se razmerje med težo in močjo motornih žag zmanjšuje, povečuje pa se hitrost verige (Bizjak, 2007). Osnova za modeliranje porabe goriva je bilo, zaradi velikega števila podatkov, delo Rebule (Rebula, 1985), katerega smo primerjali z novjšimi raziskavami (Štupica, 2013) in podatki iz gozdarskih gospodarskih družb (Gradišar in Žvab, 2013). Ugotovili smo, da je poraba goriva

pri novih motornih žagah večja, kot v starejših raziskavah, zato smo v modelu uporabili podatke novejših raziskav (Štupica, 2013).

3.1.5.3 Strojna sečnja

Za določanje učinka strojne sečnje v modelu smo uporabili podatke katere smo zbrali na poskusnih objektih (poglavje 3.7), iz katerih smo sestavili normativ za strojno sečnjo. Kot vhod v normativ smo vzeli povprečno bruto drevo v sestoji in drevesno vrsto (iglavci, listavci). Za strojno sečnjo in izdelavo debel, torej tehnologijo dolgega lesa, smo uporabili podatke iz poskusa v Mislinji. Za delo stroja za sečnjo na žičničarskih terenih smo prilagodili normativ za strojno sečnjo ugotovitvam o vplivu nagiba na učinkovitost stroja za sečnjo (Cavalli in Zuccoli, 2006).

Poraba goriva pri stroju za sečnjo in zgibnem polprikoličarju je v Sloveniji neraziskana, saj objav na to temo ni. Zato smo se obrnili na gozdarskih gospodarskih družb, kjer smo pridobili podatke za porabo goriva pri stroju John Deere 1470D in 1410D. Posredovani podatki predstavljajo večletno povprečje (2009 – 2013) porabe goriva za tehnologijo strojne sečnje (Klemenc, 2013). Ker podatki niso bili zbrani ločeno za stroj za sečnjo in zgibni polprikoličar smo se za razmerje porabe obrnili k tuji literaturi. Ugotovljeno je bilo, da je povprečna specifična poraba goriva stroja za sečnjo pri redčenjih porabi 5,5 % večja, kot poraba zgibnega polprikoličarja (Rieppo in Örn, 2003). To razmerje smo uporabili pri določanju porabe goriva za posamezen stroj v tehnologiji. Na ta način smo določili, da stroj za sečnjo porabi 8,49 l/du, zgibni polprikoličar pa 6,9 l/du.

3.1.5.4 Prilagojeni kmetijski traktor in zgibni traktor

Kot vhod za ugotavljanje učinkov prilagojenega kmetijskega traktorja smo vzeli normativ iz diplomske naloge Zupančiča (Zupančič, 2008), ki je ugotavljal normative za sodobni traktor John Deere 6220.

Za učinke spravila z zgibnim traktorjem smo se oprli na državne normative (Uredba, 2010), saj novejših, dovolj obsežnih raziskav v Sloveniji iz tega področja ni.

Predpostavke upoštevane pri izračunu učinkov so: matična podlaga je apnenec, kategorija zbiranja je srednje ugodna, povprečna razdalja zbiranja znaša glede na povprečno gostoto prometnic (200 m/ha) 17,5 m, traktor les vlači po ravnem, snega ni. Popravkov osnovnega normativa za vlačenje lesa in zbiranje ter rampanje nismo upoštevali.

Za ugotavljanje učinkov tehnologij pridobivanja biomase smo učinke iz zgoraj navedenih normativov prilagodili, glede na nekatere ugotovitve domačih raziskav (Obranovič, 2013) o strukturi delovnega časa traktorjev. Za sedlaste traktorje smo upoštevali podatke iz Mislinje, kjer so spravljali celotna debela smreke s sedlastim traktorjem HSM.

Podatke o porabi goriva za prilagojeni kmetijski traktor John Deere 6220SE in zgibni traktor Woody 110 smo povzeli s strani podjetja Gozdno gospodarstvo Novo Mesto. Gre za dolgoletne podatke o porabi goriva na delovno uro (Zupančič, 2013). Drugi vir podatkov o porabi goriva za oba traktorja je bilo podjetje Gozd Ljubljana (Gradišar in Žvab, 2013). Poraba goriva upoštevana v modelu je povprečje obeh podatkov in znaša 4,24 l/du. Za ugotavljanje porabe goriva pri traktorskem spravilu v modelu, smo potrebni čas za spravilo na tono proizvoda množili z porabo goriva v l/du.

3.1.5.5 Zgibni polprikoličar in sedlasti traktor

Za ugotavljanje učinkov zgibnega polprikoličarja v modelu, smo uporabili podatke, katere smo zbrali na šestih poskusnih objektih (poglavje 3.7), iz katerih smo sestavili normativ za spravilo lesa z zgibnimi polprikoličarji (John Deere 1410D in 1110D). Kot vhod v normativ smo vzeli povprečno bruto drevo v sestoji in drevesno vrsto (iglavci, listavci).

Osnova za ugotavljanje učinkov sedlastega traktorja je raziskava v Mislinji. Zaradi majhnega števila posnetih ciklov je študija služila za orientacijo v smislu doseženih učinkov, povprečnega bremena, povprečnega kosa v bremenu in glavnega produktivnega časa. Samo spravilo s sedlastim traktorjem in način dela je precej podoben spravilu lesa z zgibnim polprikoličarjem. Cikel je sestavljen iz prazne in polne vožnje ter dela na skladišču. Nakladanje sedla s hidravličnim dvigalom je zahtevno in natančno delo. Če namreč kosi niso primerno zloženi so posledice za učinkovitost spravila velike, saj se zgodi, da breme zdrsne iz sedla in pade na tla.

Nakladanje se vrši podobno kot pri zgibnem polprikoličarju, le da je število ustavljanj in nakladanj manj pogosto, saj je povprečen kos v bremenu večji, breme in povprečna dolžina cikla pa sta pri tem pravilnem sredstvu manjša. Izmerjeno učinkovitost spravila v Mislinji smo primerjali z normativom za traktorsko spravilo in z normativom za zgibni polprikoličar. Ugotovili smo, da je spravilo s sedlastim traktorjem po učinkih podobno zgibnemu polprikoličarju, le da so učinki za 17,6 % manjši.

3.1.5.6 Žični žerjav

Za ugotavljanje učinkov spravila lesa z žičnim žerjavom Syncrofalke U3t s procesorsko glavo smo pri tehnologiji okroglega lesa uporabili normativ iz tolminskega gozdnogospodarskega območja (Opeka, 2008). Za uporabo te raziskave smo se odločili zaradi velikega števila linij in ciklov, na podlagi katerih je bil narejen ta normativ. Primerjali smo ga z rezultati lastnih raziskav iz objekta Ljubelj in ugotovili, da so učinki primerljivi.

Pri tehnologiji pridobivanja biomase smo te podatke prilagodili ugotovitvam naših meritev enakega žičnega žerjava s procesorsko glavo.

Pri izračunu normativa smo upoštevali povprečno razdaljo zbiranja 15 m in višino linije 20 m ter faktor prestavljanja naprave 1,35.

Podatke o porabi goriva pri žičnem žerjavu smo dobili iz gozdarskih gospodarskih družb. Gre za porabo goriva v daljšem časovnem obdobju – od 2011 do 2013 (Gradišar in Žvab, 2013). Podatki so izraženi v l/du in za žični žerjav Syncrofalke U3t z procesorsko glavo znašajo 12,10 l/du.

3.1.5.7 Sekalniki

V modelu smo uporabljali več sekalnikov. Učinke za Eschlbock Bieber 70 smo povzeli iz lastnih raziskav in diplomskega dela (Bezovnik, 2007), iz katerega smo črpali tudi učinke za sekalnik Holzmatic BHM 1000. Učinke za ostale sekalnike (Bruks805CT na zgibnem polprikoličarju Eco Log574B, Silvator 2000 in Starchl MK74 600) smo ugotovili iz lastnih meritev. Porabo goriva na vsakem sekalniku smo ugotovili iz lastnih meritev in iz meritev, ki so jih opravili v okviru prej omenjenih raziskav (Bezovnik, 2007, Kucler, 2010).

Pri vseh tehnologijah smo predpostavili, da je mogoče do surovine priti s primernim strojem.

3.1.6 Opis tehnologij v modelu

Za boljše razumevanje odločitev o izbiri tehnologije, katero bomo uporabili v sestoji, moramo nekaj več povedati o srednjem premeru in kakovosti sestoja, ki lahko spremenita odločitev o izbiri tehnologije.

V našem delu se ukvarjamo le z rednimi sečnjami. V tem primeru so drevesa v sestoji zdrava in lahko predvidevamo, da bomo dobili stabilno in predvidljivo strukturo (kakovostnih) sortimentov. Če pa imamo primer ujm (žled, snegolom) ali napad žuželk, je delež kakovostnih sortimentov manjši in tako je več lesa primerneza za energetske rabo.

Vpliv premera dreves je pomemben zaradi dejstva, da drevesa s premerom, ki je manjši od določenega, ne dajejo hlodov. Pri listavcih je srednji premer hloda za kakovostni razred D najmanj 30 cm. Pri iglavcih pa je srednji premer hloda kakovosti D1 najmanj 20 cm (Pravilnik, 2011). Trdili bi torej lahko, da v sestojih listavcev s povprečnim premerom pod 25 cm in iglavcev s premerom pod 20 cm ne moremo pričakovati visoko vrednih sortimentov za žago. To se odraža tudi v našem modelu. Za smreko smo predvideli prehod iz tehnologije pridobivanja biomase na tehnologijo okroglega lesa med premerom sestoja 22 in 27 cm. Pri bukvi se prehod med tehnologijami zgodi pri večjih premerih sestoja in sicer med 24 in 27 cm.

Poleg debeline in kakovosti na uporabo posamezne tehnologije močno vpliva tudi količina razpoložljive lesne biomase.

- Če imamo v sestoji majhne količine lesne biomase, ki je primerna za energijski les, torej veliko kakovostnih sortimentov in malo sečnih ostankov, bomo v sestoji najverjetneje uporabljali samo tehnologije okroglega lesa, sečne ostanke pa pustili v gozdu. Na ta način se bomo izognili velikim stroškom za pridobivanje energijskega lesa za zelo majhno količino le-tega.
- Če imamo v sestoji velike količine lesne biomase, ki ni primerna za izdelavo okroglega lesa najboljše kakovosti (premajhen premer), je velika verjetnost, da se nam izplača uporabiti čisto tehnologijo pridobivanja biomase. hlodov
- Če imamo na delovišču občutljiva tla, je nujna izdelava vejne preproge. Zaradi zaščite tal pa tudi občutno zmanjšamo količino lesne biomase, ki je na voljo za proizvodnjo energijskega lesa, kar zopet vpliva na izbiro tehnologije.

Ker v našem modelu delamo samo z rednimi sečnjami, kjer je sortimentacija glede na različna območja relativno konstantna, je glavna spremenljivka za spremembo tehnologije ravno prsni premer sestojja.

Zaradi razumljivosti in lažje predstavitve problema, bomo tehnologije razdelili glede na kraj, kjer se dogaja izdelava okroglega lesa in sekancev. Delitev je znana iz tujih objav (Hakkila, 2004; Kallio in Leinonen, 2005), mi pa povzemamo nekoliko prilagojeno delitev slovenskega avtorja.

Preglednica 32: Kombinacije tehnologij pridobivanja gozdne lesne biomase (Košir, 2012a)

KOMBINACIJE TEHNOLOGIJ		SEKANCI		
OKROGEL LES	GOZD	GOZD	KAMIONSKA CESTA	LOGISTIČNI CENTER
		Izdelava sekancev in okroglega lesa v gozdu	Izdelava okroglega lesa v gozdu, izdelava sekancev na cesti	Izdelava sortimentov v gozdu, izdelava sekancev na logističnem centru
	KAMIONSKA CESTA	Izdelava sekancev v gozdu, dolg les spravimo do ceste, kjer ga skrojimo	Spravilo dreves do ceste, kjer izdelamo okrogel les in sekance	Transport celega drevja do ceste, izdelava okroglega lesa, izdelava sekancev v logističnem centru
	LOGISTIČNI CENTER	Izdelava sekancev v gozdu, transport debel do logističnega centra, kjer se izvede krojenje	Spravilo dreves do ceste, kjer se tudi izdela sekance, transport debel do logističnega centra, kjer se izvede krojenje	Transport celega drevja na logistični center

Zgornja delitev je sestavljena iz tehnologij pridobivanja okroglega lesa in tehnologij pridobivanja energijskega lesa. Takšna razdelitev nekoliko poenostavlja delitev tehnologij iz pregleda dosedanjih objav, saj kombiniranih tehnologij v tej delitvi ni videti. To pa ne pomeni, da v modelu kombiniranih tehnologij nismo upoštevali. Pri vseh tehnoloških verigah smo glede na prsni premer (od manjšega premera proti večjemu) najprej predvideli tehnologije pridobivanja lesnih sekancev. Sledijo kombinirane tehnologije, od prsnega premera, kjer se po raziskavah sortimentacije začnejo pojavljati hlodi, do premera, kjer prevladajo tehnologije okroglega lesa. Razdelitev prehoda posamezne tehnologije v modelu je odvisna od premera, drevesne vrste in kakovosti dreves v sestoji.

3.2 METODA UGOTAVLJANJA POŠKODB DREVJA

Cilj metode je ugotoviti deleže poškodb na nadmorskem drevju v sestoji po sečnji in spravi lesa. Poškodbe drevja na objektih so odvisne od velikega števila dejavnikov, med drugim tudi od uporabljene tehnologije.

Metoda ugotavljanja poškodovanosti drevja se je tekom poskusov s povečevanjem našega znanja in spremembami v velikosti poskusnih objektov spreminjala. S spremljanjem poškodb dreves v sestojih smo pri nas začeli že v devetdesetih letih, vendar so raziskovalci uporabljali metodo pasov, šlo pa je tudi za drugačne tehnologije. Metoda pasov za potrebe disertacije ni bila primerna, saj ni primerna za ugotavljanje poškodb na deloviščih, kjer je velika gostota prometnic, poleg tega zahteva tudi večje število popisovalcev. Razvoj metode je zato šel v smeri ugotavljanja poškodovanosti dreves z metodo krožnih ploskev. Prednost te metode je, da lahko meritve na ploskvi izvaja en sam človek, čeprav je delo bistveno hitrejšo, če delata dva popisovalca. Poškodbe dreves v sestoji smo popisovali s pomočjo sistema Trimble, v katerega smo vnesli predkodirane obrazce.

Poudariti je potrebno, da smo ves čas raziskav ostajali pri enakih merah velikosti poškodb. Poškodbe smo razdelili v 5 razredov, ki jih prikazujemo v preglednici 33.

Preglednica 33: Razredi glede na velikost poškodb

Razred poškodb	Velikost poškodb [cm ²]
A	10 – 30
B	30 – 50
C	50 – 100
D	100 – 200
E	> 200

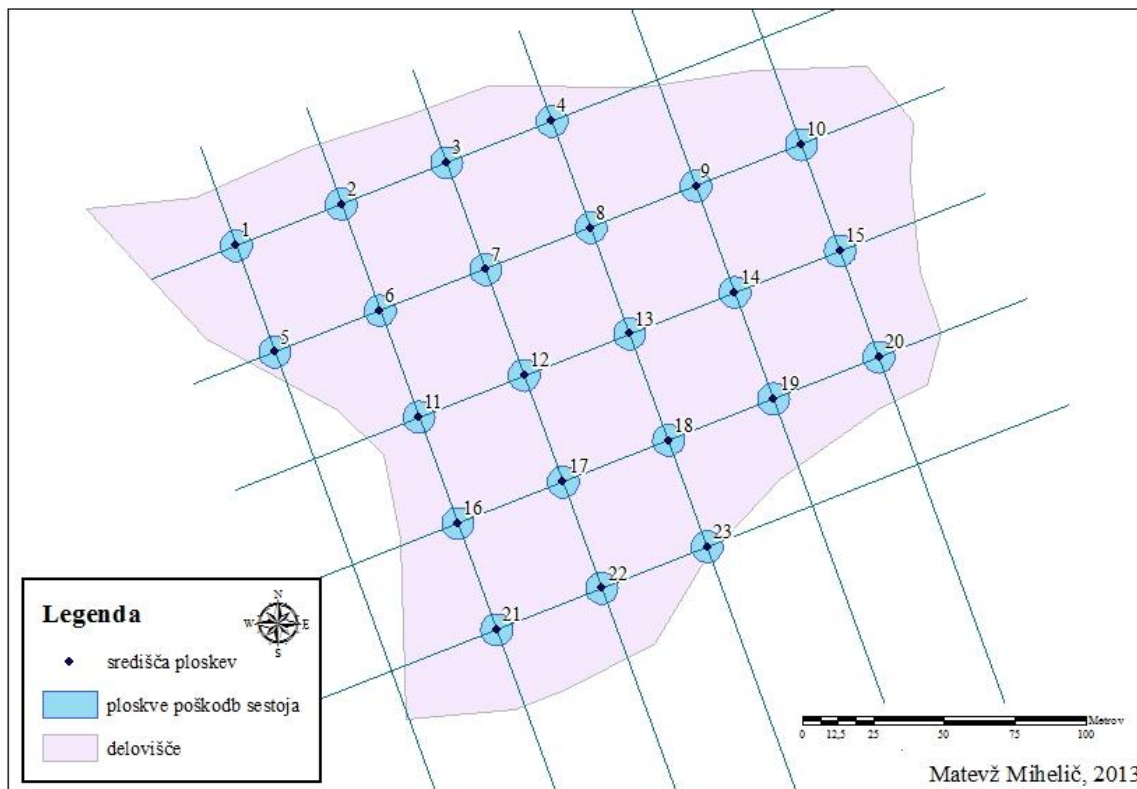
Za vse poškodbe smo na vseh objektih ugotavljali tudi njihovo lokacijo na drevesu. Zanimalo nas je, ali so poškodovane veje, deblo, korenovec ali korenine. Če so bile poškodbe na več mestih, smo zabeležili največjo poškodbo.

Poleg velikosti poškodb smo na vseh objektih ugotavljali še starost poškodb (stara, nova ali nova in stara).

3.2.1 Ugotavljanje poškodovanosti dreves v sestojih z metodo krožnih ploskev

Metoda krožnih ploskev je relativno preprosta in hitra metoda za ugotavljanje kakovosti izvedenega dela. Najbolj primerna je za delovišča velikosti do 5 hektarov, ki pri nas prevladujejo. Pri tej metodi uporabimo sistematično vzorčenje delovišča s ploskvami velikosti 100 m². Vzorčimo, kot je razvidno iz slike 11. Glede na usmerjenost delovnega polja določimo azimut v katerem bodo postavljene ploskve. Število ploskev na delovišču, oziroma stopnjo vzorčenja ugotovimo glede na velikost delovišča. Če je delovišče večje je

stopnja vzorčenja manjša, če pa je majhno, pa stopnjo vzorčenja povečamo (Mihelič in Košir, 2009). Stopnja vzorčenja je bila prilagojena glede na metode tujih raziskav (Fröding, 1992b).



Slika 11: Shematski prikaz vzorčenja ploskev na objektu

Pri metodi uporabljamo stojalo, na katerega priprnemo sekaški meter ali pa v tla zabijemo količek, na katerega meter priprnemo. Popisujemo vsa nadmerna drevesa v polmeru kroga 5,64 metra. Ker z večanjem nagiba terena postajajo ploskve vse manjše, moramo uporabiti korekcijo polmera ploskve (Mihelič in Košir, 2009). Podatke zapisujemo na liste ali v dlančnik.

Metoda ne predvideva podrobnega popisa poškodovanega mladja, temveč le ocenimo delež zastrtosti z mladjem. Upoštevamo le mladje omenjeno v gozdnogojitvenem načrtu. Delež ploskve, ki pade na vlako zapišemo in za ta odstotek zmanjšamo velikost ploskve.

Ker se je metoda spreminjala, je potrebno omeniti še način dela na posameznih objektih.

Pri Treh križih in na Bradačevi frati smo določali lokacijo ploskev z busolo in metrom. Podatke smo zapisovali na liste (priloga B). Bistvena razlika z ostalimi objekti je bila, da smo podatke o deležu poškodovanosti zbirali za posamezno ploskev.

V Mozeljskem Šahnu pa smo lokacijo ploskev določali z uporabo sistema Trimble z sočasno korekcijo podatkov iz bazne postaje preko mobilnega telefona. Podatke smo zapisovali v dlančnik. Podatki za poškodovanost dreves v sestoji niso vezani le na ploskev, temveč na posamezno drevo na ploskvi.

3.2.2 Ugotavljanje poškodovanosti dreves v sestojih z metodo popolnega popisa

Metoda je primerna za ugotavljanje poškodovanosti dreves v sestoji na deloviščih manjših od enega hektarja in predvideva popoln popis vseh dreves in panjev na objektu. Zaradi tega je precej časovno zamudna.

Metodo smo uporabljali na objektih Osankarica in Bukovje, kjer smo popisali poškodbe na vseh drevesih, ki so ostala na ploskvah na katerih smo izvajali meritve učinkov stroja za sečnjo. Podatki o poškodovanosti so bili vezani na posamezno drevo (priloga B).

Za vsako drevo smo zabeležili tudi njegovo lego (ob vlaki, v sestoji ali na razlesnici), in jim izmerili premere, zabeležili smo tudi vse panje, njihovo starost in lokacijo (na vlaki, ob vlaki).

Na objektu Ljubelj smo zaradi specifičnih razmer na delovišču prilagodili metodo. Popisali smo poškodbe na robu delovišča, kot opisujemo v poglavju 3.7.9.

3.3 METODA UGOTAVLJANJA POŠKODB TAL

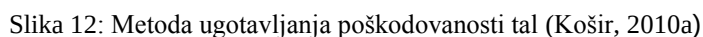
Ker so gozdna tla zelo kompleksen sistem, v naši raziskavi nismo mogli zajeti vseh njihovih lastnosti, saj je to nemogoče. Omejili smo se na ugotavljanje morfoloških značilnosti tal. Najbolj so nas zanimala lastnosti tal, ki vplivajo na prevoznost, zato smo se pri metodah ukvarjali predvsem z nosilnostjo tal in vlažnostjo, ki na nosilnost najbolj vpliva.

Poškodbe tal, predvsem zbijanje tal, spadajo med negativne vplive skoraj vseh tehnologij pridobivanja lesa. Metoda ugotavljanja poškodb tal z merjenjem globine kolesnic predvideva postavitev profilov, na katerih merimo spremembe na tleh glede na število prehodov strojev. Profile smo zaradi ponovitev meritev označili s postavitvijo lesenih količkov, na katere smo napisali številko profila. Stopnja vzorčenja se spreminja glede na velikost objekta in spremenljivost razmer. Pri Treh križih, v Bradačevi frati in v Mozelskem Šahnu smo uporabili stopnjo vzorčenja 20 metrov, na Osankarici in v Bukovju pa smo zaradi homogenih razmer vzorčili na 10 metrov. Na objektu Vetrih smo testirali metodo in vzorčili na 5 metrov. Na vseh objektih smo ugotavljali globino kolesnic po končanem delu stroja za sečnjo in nato še enkrat po spravilu lesa z zgibnim polprikoličarjem.

Za snemanje prečnih profilov smo uporabljali križni linijski laser znamke Bosch s samodejnim niveliranjem, ki je bil pritrjen na trinožno stojalo, sekaški meter, trasirko, s centimetrsko merilno skalo, dlančnik Trimble, lesene količke in enoročno sekiro.

Del priprave objekta za ugotavljanje poškodb tal je tudi označevanje mesta profila z lesnim količkom. Kot smo že omenili, se za stopnjo vzorčenja odločimo glede na velikost objekta in naravne razmere. Lokacijo količkov določamo s pomočjo 50-metrskega metra, ali pa za meritev razdalje med količki preprosto uporabimo korake. Sama lokacija količka mora biti toliko odmaknjena od vlake ali sečne poti, da je količek varen pred povozom stroja ali založitvijo s hlodi, ki jih stroj polaga ob sečno pot. Količki morajo biti od vlake odmaknjeni tudi zato, ker metoda zahteva meritev nepoškodovanih tal ob poti. Količke lahko zabijemo že pred delom stroja za sečnjo, vendar nam mora biti jasno, kje in kako bodo potekale sečne poti. Na Osankarici in v Bukovju ter na Bradačevi frati je bilo to jasno, v Mozelskem Šahnu in pri Treh križih pa smo se odločili, da bomo količke zabijali po opravljenem delu stroja za sečnjo. Količke smo vedno postavljali na desni strani vlake, če je to le bilo mogoče. Velikokrat se je dogajalo, da, zaradi konfiguracije terena z obstoječim instrumentom, nismo mogli posneti profila, saj ima obstoječi instrument prenizko stojalo, da bi laserski žarek lahko dosegel raščena tla na drugi strani vlake. V tem primeru smo lokacijo količka prestavili na drugo stran vlake. Tudi iz tega razloga smo lokacije vseh količkov posneli z GPS sistemom.

Meritve profilov smo na vseh objektih opravili po končani sečnji in nato še enkrat po končanem spravilu lesa. Meritve profilov smo izvajali tako, da smo nad zabitim količkom postavili linijski laser, katerega žarek smo usmerili pravokotno na sečno pot. Trinožno



115

Na Osankarici smo na linijah 1, 2, 4 in 6 postavili po sedem profilov, na liniji 3 smo postavili osem profilov, na liniji 5 pa najmanj, šest profilov. Tako je bilo na tem objektu skupno postavljenih 42 profilov.

v Bukovju je bilo na vseh linijah po 10 profilov, le na liniji 2 smo jih imeli devet. Skupno število postavljenih profilov v Bukovju je znašalo 59.

Na objektu v Mozelskem Šahnu smo postavili 31 profilov.

V Mislinji smo na objektu, kjer smo izvajali strojno sečnjo postavili 79 profilov.

3.3.1 Ugotavljanje nosilnosti tal

Nosilnost tal smo ugotavljali zaradi močne povezave med nosilnostjo tal in globino kolesnic.

Meritve nosilnosti tal smo opravili z digitalnim penetrometrom znamke FieldScout, model SC 900, ki ga prikazujemo na sliki 13. Izvajali smo jih pri vsakem profilu, z lokacijo merjenja na zunanji, zgornji strani količka (proti cesti). Mesta meritev so bila od količka oddaljena 0,5 metra stran od sečne poti. Če zaradi kakšnega razloga ni bilo možno opraviti te meritve na zunanji zgornji strani (kamen), smo jo opravili na zunanji spodnji strani. Mesta meritev za ugotavljanje nosilnosti tal so bila izbrana na enak način pri vseh profilih.



Slika 13: Penetrometer FieldScout SC900

Lastnosti penetrometra:

- meritev nosilnosti tal do globine 45 cm,
- samodejno beleženje nosilnosti na vsaka 2,5 cm globine,

- samodejno beleženje globine s pomočjo zvočnega senzorja,
- nosilnost se beleži v PSI ali kPa z natančnostjo ± 103 kPa,
- razpon meritev od 0 do 7000 kPa,
- zvočno opozorilo ob prehitrem pritiskanju v tla,
- možnost povezave z GPS sprejemnikom,
- vključuje programsko opremo za prenos podatkov,
- hitrost potiskanja je približno 5 cm na 2 sekundi (ASAE, 1994).

Nosilnost tal merimo s silo, ki je potrebna, da v tla potisnemo merilno palico s konico standardizirane velikosti. Zaradi ugotavljanja globine (zajemanje podatkov na 2,5 cm) in hitrosti potiskanja (zadovoljitev zahtev standarda) ima penetrometer vgrajen zvočni senzor, ki z oddajanjem zvoka beleži razdaljo od tarče. Penetrometer torej sam ugotavlja globino in hitrost potiskanja konice penetrometra v tla in na vsakega 2,5 cm odčitek v kPa ali PSI tudi zabeleži. Ogled podatkov je možen preko digitalnega zaslona. Penetrometer omogoča prenos meritev na osebni računalnik ter izvoz v programe za tabelarično obdelavo podatkov.

Postopek meritve je sledeč. Na tla položimo tarčo, ki mora biti čista (brez listja, ali vej). Čez luknjo v tarči potisnemo palico penetrometra in z rokami preko ročajev potiskamo penetrometer proti tlom, tako da konica palice počasi in enakomerno prodira v tla.

Primerjava našega penetrometra z dvema drugima, ki se uporabljata tudi pri nas (GIS), je bila narejena v ZDA. Penetrometer FieldScout se je izkazal za primernega kljub temu, da ima manjšo občutljivost senzorja za merjenje pritiska. Kot je razvidno iz rezultatov, je raztros podatkov manjši kot pri napravi Eijlkamp (Kees, 2005). Ena izmed dobrih lastnosti našega penetrometra je njegova cena, saj je bistveno bolj dostopen kot ostala dva penetrometra na testu, je pa res, da mora biti uporabnik nekoliko bolj vešč njegove uporabe.

Penetrometer smo uporabljali na poskusnih objektih: Osankarica, Bukovje, Mozelski Šahen in Vetrih. Z zgoraj opisano metodo smo izmerili nosilnost tal ob vseh količkih.

Merili smo konusni indeks po standardu CI15-20.

3.3.2 Ugotavljanje vlažnosti tal

Vlažnost tal je eden izmed glavnih parametrov, ki vpliva na nosilnost tal, zato ga je bilo potrebno kontrolirati.

Meritve vlažnosti tal smo opravljali hkrati z merjenjem nosilnosti tal. Metoda je podobna metodi meritev s penetrometrom. Vlažnost tal smo ugotavljali ob količkih, le da so bile lokacije vedno 1 m stran od količka, na zunanji zgornji ali spodnji strani. Zaradi testiranja instrumenta smo vse meritve izvedli dvakrat, ponekod pa celo trikrat. Meritve smo izvedli z

digitalnim vlagomerom znamke FieldScout, model TDR 300. Prikazujemo ga na sliki 14. Instrument je podoben penetrometru, le da ima dve kratki merilni palici.

Lastnosti vlagomera:

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



Slika 14: Merilnik vlage tal, FieldScout TDR 300

Postopek meritve je sledeč. Na lokaciji merjenja smo odstranili zgornji, listni in humusni horizont in tako pripravili mesto merjenja. V tla smo potisnili merilne palice penetrometra in z zaslona odčitali delež izmerjene vlage na globini 12 cm. Zaradi težav z zajemanjem podatkov v instrumentu smo bili prisiljeni podatke sproti zapisovati v dlančnik. Prednost te metode je možnost pripisovanja opomb, česar vlagomer ne omogoča. Pri sondiranju je potrebno merilne palice v celoti potisniti v zemljo. Če so merilne palice v zemlji samo delno, ali pa če so obdane z zračnimi žepki, je meritev napačna, saj vsebuje mešane podatke o vlažnosti zraka in zemlje. Zaradi tega je možnost napake večja in zato smo meritve ob posameznih količinskih ponavljanju večkrat. Prednosti metode sta njena hitrost in digitalni prikaz odčitkov.

Meritve vlage tal s tem instrumentom smo opravili na objektih Osankarica, Bukovje, Mozelski Šahen in Vetrih. Na Osankarici in v Bukovju smo uporabili še referenčno metodo s Kopeckijevimi cilindri za ugotavljanje navidezne gostote in vlažnosti tal. Meritve so bile izvedene v laboratoriju Gozdarskega Inštituta Slovenije. Kot ugotavlja Cerjak (Cerjak, 2011) sta metodi primerljivi. Do nekoliko večjega odstopanja je prišlo le v Bukovju. Metoda s cilindri je natančnejša, zato smo na objektih večinoma uporabili podatke, ki so bili zbrani po tej metodi. Na objektih, kjer vlažnosti nismo merili na ta način, smo uporabili podatke merjene z vlagomerom FieldScout.

3.4 UPORABA GPS SISTEMA TRIMBLE

Za nakup submetrskega sistema Trimble smo se odločili zaradi prijaznosti uporabniku in dobrih izkušenj s strani GIS-a. Dejstvo je, da zaradi majhne količine razpoložljivih kadrov nismo mogli zagotoviti snemanja vseh sečnih poti ter profilov oziroma bi to lahko izvedli le shematsko, ne pa z dejanskimi meritvami. Poleg tega ni bilo mogoče zadovoljivo rešiti ugotavljanja pozicije strojev za sečnjo, saj ima merilec časovne študije preveč dela in ne more spremljati še premikov stroja.

Sistem Trimble sestavljajo antena, drog, nahrbtnik ter dlančnik GeoXT, predstavljamo pa ga na sliki 15. Na dlančniku je bila naložena mobilna aplikacija Terra Sync. Na osebnem računalniku smo uporabljali programski paket Pathfinder Office za prenos podatkov iz dlančnika na računalnik. Pridobljene podatke smo postprocesirali v istem programu s podatki iz baznih postaj v Rinex formatu. Pridobljene podatke smo obdelovali s programom ESRI ArcGis verzije 9.2, 9.3 in 10.0.



Slika 15: Sistem Trimble

Sistem Trimble smo uporabili pri snemanju vseh gozdnih prometnic pri vseh poskusih, le na Trije križi je bil sistem sposoben in v lasti GIS-a. Pri poskusih na Osankarici, v Bukovju, v Mozelskem Šahnu in Mislinji smo z njim tudi ugotavljali lokacijo strojev za sečnjo in

spravilo lesa in njihovo premikanje po sestoji. Antena sistema je bila montirana na strehi stroja ter povezana s sprejemnikom preko povezovalnega kabla.

S sistemom Trimble smo tudi posodobili zbiranje podatkov o talnih profilih in poškodbah dreves v sestoji, saj program Pathfinder Office omogoča preprosto kodiranje obrazcev. To pomeni, da smo ugotovljene in zapisane parametre preprosto prenesli na računalnik v program ArcGis in nato izvozili direktno v program za tabelarično obdelavo podatkov. Na ta način smo se izognili težavam s prepisovanjem podatkov ter napakam, ki se pri tem opravilu neizogibno zgodijo.

3.5 METODE UGOTAVLJANJA UČINKOV IN PORABE ČASA

Časovne študije smo izvajali s pomočjo kronometrične metode snemanja s stoparico in obrazci na papirju. Kasneje smo zaradi pre-kratkih ciklov pri strojni sečnji metode nadgradili. Uporabili smo dlančnik Trimble Recon z programom za časovne študije Laubress UMT Plus. Kronometrične metode snemanja smo prilagodili za uporabo na dlančniku, kar pomeni kontinuirano zajemanje podatkov ter sintezo po določenih operacijah. Program omogoča zajemanje podatkov na dlančniku in prenos rezultatov direktno v program za tabelarično obdelavo podatkov, katerega smo uporabljali za nadaljnje obdelave podatkov.

Učinke dela smo snemali po standardnih načelih za meritve okroglega lesa. Upoštevali smo okrogli les z odbitkom skorje, medtem ko smo učinke lesnih sekancev na vseh objektih izmerili kot volumen nasutih sekancev.

3.6 METODA CELOSTNEGA VREDNOTENJA TEHNOLOGIJ

Pri razvoju metodologije celostnega vrednotenja tehnologij smo si pomagali s pristopom nemške organizacije KWF (Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik). V tej organizaciji so že v osemdesetih razvili način vrednotenja okoljsko-ekonomske primernosti za veliko število takrat uporabljanih tehnologij (Košir, 1987).

Metoda je uveljavljena, saj je bila uporabljena tudi v drugih domačih raziskavah (Košir in Krč, 1994). Temelji na uporabi metode ekspertne ocene, pri kateri posameznim tehnologijam pripisujemo velikost posameznega vpliva na kriterij. V spodnji preglednici prikazujemo kriterije okoljske primernosti tehnologij.

Preglednica 34: Opisi in točkovanje kriterijev okoljske primernosti tehnologij

Kriteriji okoljske primernosti	Točke	Opisi kriterijev glede na točkovanje
Velikost poškodb in odstotek poškodovanosti	0	Poškodovanih je več kot 45 % dreves, poškodbe so velike – nad 200 cm ²
	5	Poškodovanih je med 35 in 45 % dreves, večina poškodb je manjših od 100 cm ²
	10	Poškodovanih je med 25 in 35 % dreves, večina poškodb je manjših od 70 cm ²
	15	Poškodovanih je med 15 in 25 % dreves, večina poškodb je manjših od 50 cm ²
	20	Poškodovanih je manj kot 15 % dreves, večina poškodb je manjših od 30 cm ²
Lokacija poškodb na drevju	0	Poškodbe se pojavljajo predvsem na koreničniku in deblu do 1,3 m višine
	5	Poškodbe koreničnika in korenin
	10	Poškodbe se pojavljajo po celotnem drevesu
	15	Poškodbe na krošnji drevja, malo poškodb koreničnika in korenin
	20	Poškodbe se pojavljajo predvsem na krošnji, v obliki odlomljenih vej
Odstotek rastne površine, ki je bil odvzet sestoju zaradi gradnje prometnic	0	Prometnice potrebne za delo s tehnologijo vzamejo več kot 40 % površine
	5	Prometnice potrebne za delo s tehnologijo vzamejo od 26 do 39 % površine
	10	Prometnice potrebne za delo s tehnologijo vzamejo od 16 do 25 % površine
	15	Prometnice potrebne za delo s tehnologijo vzamejo od 6 do 15 % površine
	20	Prometnice potrebne za delo s tehnologijo vzamejo manj kot 5 % površine
Verjetnost zbijanja tal – indikator je globina kolesnic	0	Velika možnost nastanka kolesnic
	5	Večja verjetnost zbijanja tal
	10	Srednja verjetnost zbijanja tal
	15	Verjetnost zbijanja tal je majhna, pojavlja se na majhnih površinah
	20	Verjetnost zbijanja tal je neznatna, pojavljajo se le površinske motnje tal
Površina motenih tal v sestoju	0	Motenih je več kot 35 % tal
	5	Motenih je od 25 do 35 % tal
	10	Motenih je od 15 do 25 % tal
	15	Motenih je od 5 do 15 % tal
	20	Motenih je manj kot 5 % tal
Koliko hranil odvajamo iz gozda s to tehnologijo	0	Iz sestoja odvajamo več kot 90 % suhe snovi
	5	Iz sestoja odvajamo manj kot 70 % suhe snovi
	10	Iz sestoja odvajamo manj kot 50 % suhe snovi
	15	Iz sestoja odvajamo manj kot 30 % suhe snovi
	20	Iz sestoja odvajamo manj kot 15 % suhe snovi

V preglednici 34 prikazani kriteriji so sestavljeni iz pogojev vpliva tehnologij na sestoj, tla in hranila. Opisani razredi temeljijo na rezultatih naših raziskav in študiju literature. Pri točkovanju kriterijev se ne opiramo toliko na meje možnega, temveč na meje normalnega dela. To lahko razložimo na primeru površine motenih tal – vemo, da lahko stroji vozijo po

vsej površini sestoj in da je možno poškodovati več kot 90 % tal v sestoji, a to ni v skladu z normalnim delom v gozdu, kjer skušamo vplive na okolje tem bolj zmanjšati.

V preglednici 35 prikazujemo kriterije ekonomske primernosti tehnologij. Razdelimo jih lahko na dva dela. V prvem delu se ukvarjamo z učinki dela in gospodarnostjo tehnologije, kjer nam kot indikator služi transport ter poraba fosilnih goriv na enoto proizvoda. V drugem delu smo kot kriterije upoštevali občutljivost tehnologij na organizacijo dela ter vpliv tehnologije na delavca iz vidika psihičnih in fizičnih obremenitev. V tem delu smo upoštevali tudi pogoje varnosti pri delu in izpostavljenosti delavca nevarnosti, ki so značilne za posamezno tehnologijo.

Preglednica 35: Opisi in točkovanje kriterijev ekonomske primernosti tehnologij

Ekonomski kriteriji	Točke	Opisi kriterijev, glede na točkovanje
Poraba goriva na enoto proizvoda	0	Tehnologija porabi več kot 3 GJ goriva za tono proizvoda
	5	Tehnologija porabi od 2 do 3 GJ goriva za tono proizvoda
	10	Tehnologija porabi od 1 do 2 GJ goriva za tono proizvoda
	15	Tehnologija porabi manj kot 1 GJ goriva za tono proizvoda
	20	Tehnologija se zanaša na človeško in živalsko silo
Učinek dela	0	Nizka učinkovitost tehnologije
	5	Majhna učinkovitost tehnologije
	10	Srednja učinkovitost tehnologije
	15	Visoka učinkovitost tehnologije
	20	Zelo visoka učinkovitost tehnologije
Transport	0	Tehnologija zaradi velikih stroškov ne omogoča transporta
	5	Tehnologija omogoča transport na razdalje do 40 km
	10	Tehnologija omogoča transport na razdalje do 100 km
	15	Tehnologija omogoča transport na razdalje do 200 km
	20	Tehnologija omogoča transport na razdalje večje od 200 km
Zapletenost priprave dela in občutljivost tehnologij na zastoje in dobro pripravo	0	Zelo preprosta priprava dela
	5	Majhna zapletenost priprave dela
	10	Srednja zapletenost priprave dela
	15	Zahtevna priprava dela
	20	Priprava dela je zelo zahtevna
Varnost pri delu	0	Delo je zelo nevarno
	5	Majhna varnost pri delu
	10	Srednja varnost pri delu
	15	Visoka varnost pri delu
	20	Zelo visoka varnost pri delu
Ergonomija (izpostavljenost vremenu, tveganje za razvoj bolezni)	0	Zelo naporno delo, zelo velika fizična in psihična obremenitev
	5	Naporno delo, velika fizična in psihična obremenitev
	10	Srednje naporno delo, srednja fizična in psihična obremenitev
	15	Lahko delo, majhna fizična in psihična obremenitev
	20	Zelo lahko, zelo majhna fizična in psihična obremenitev

Izračun okoljske primernosti je nato potekal tako, da smo točke za vsako tehnologijo sešteli, glede na ekološke in ekonomske dejavnike. Nato smo dobljeno vrednost odšteli od povprečja za vse tehnologije in delili s standardnim odklonom vrednosti. Standardizacija vrednosti ne spreminja rezultata. Zaradi majhnega števila tehnologij ter različnih vplivnih dejavnikov smo uporabili ta postopek, saj so bili rezultati na ta način bolj jasno predstavljeni.

3.7 OPISI POSKUSOV

V nadaljevanju opisujemo poskusne objekte. Pri poskusih smo predvsem pridobivali podatke o učinkih, seveda so nas zanimali tudi vplivi na sestojo in tla, skupaj s tem pa smo razvijali tudi metode raziskovanja. Zaradi boljše preglednosti in lažjega razumevanja v preglednici 36 prikazujemo osnovne podatke o objektih.

Preglednica 36: Podatki o poskusnih objektih

Ime objekta	Leto izvedbe	Sečnja	Spravilo	Ugotavljanje poškod sestoja	Ugotavljanje poškodb tal
Trije križi	2009	Stroj za sečnjo	Zgibni polprikoličar	Da	Da
Rog	2009	Stroj za sečnjo	Zgibni polprikoličar	Da	Da
Osankarica	2010	Stroj za sečnjo	Zgibni polprikoličar	Da	Da
Bukovje	2010	Stroj za sečnjo	Zgibni polprikoličar	Da	Da
Mozeljski Šahen	2011	Stroj za sečnjo	Zgibni polprikoličar	Da	Da
Vetrih	2011	Stroj za sečnjo in motorna žaga	Zgibni polprikoličar in sedlasti traktor	Da	Da
Ljubelj	2011	Motorna žaga	Žični žerjav	Da	Ne

Poskusa izvedena v mariborskem in murskosoboškem GGO, zahtevata nekoliko širšo razlago ozadja. Znotraj ciljnih raziskovalnih programov deluje skupina za izdelavo vodil dobrega ravnanja za strojno sečnjo, ki je sestavljena iz predstavnikov Gozdarskega interesnega združenja, Zavoda za gozdove, Sklada kmetijskih zemljišč in gozdov, Srednje gozdarske in lesarske šole Postojna, Gozdarskega inštituta Slovenije in Oddelka za gozdarstvo, Biotehniške fakultete. Skupina v podobni sestavi deluje že od leta 2008. Njen glavni cilj je sestava vodil dobrega ravnanja za strojno sečnjo.

Na sestankih v letu 2009 smo ugotovili, da nimamo dovolj podatkov o učinkih in izkušenj o vplivu strojne sečnje pri redčenjih na okolje, zato smo se odločili, da je potrebno izvesti poskuse. K prizadevanjem raziskovalcev Gozdarskega inštituta Slovenije in Oddelka za gozdarstvo se je priključil tudi Zavod za gozdove.

Zanimala nas je tudi kakovost dela strojnika iz gozdnogojitvenega vidika, če drevje odkazuje sam, ali pa je objekt že privravljen. Zato smo poskus zastavili tako, da smo v objektih izbrali 6 linij dolžine približno 100 metrov in širine 19 metrov, nato je ZGS tri linije pripravil tako, kot je to stalna praksa (odkazilo s sprejem, označevanje sečnih poti), na drugih treh linijah pa se odkazila ni izvajalo, označilo se je le sečne poti. Na objektih so označili in popisali vsa drevesa po IUFRO klasifikaciji ter na neodkazanih linijah izvedli slepo odkazilo. Rezultati poskusa so objavljeni na spletu v obliki predstavitve (Veselič, 2010).

Oddelek za gozdarstvo je na objektih izvedel časovne študije stroja za sečnjo ter zgibnega polprikoličarja, meritve vlage tal, nosilnosti tal, poškodb tal ter poškodb dreves v sestoji.

Sodelavci z GIS so v raziskavi sodelovali s svojim laboratorijem. Izvajali so ugotavljanje vlažnosti tal po standardiziranih metodah.

V maju 2009 smo člani skupine Vodil doberga ravnanja skupaj s predstavniki Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano ter zaposlenimi Gozdnega gospodarstva Maribor izvedli izbiro objektov na Pokljuki in v Bukovju. Sledila je priprava in odkazilo, nato pa izvedba del s strani Gozdnega gospodarstva Maribor d. d. (na Osankarici) in Gozdnega lesnega gospodarstva Murska Sobota d. o. o. (v Bukovju). Po koncu poskusov je ZGS v oktobru 2009 izvedel dvodnevno delavnico z naslovom »Pogledi na rabo sodobnih tehnologij strojne sečnje«, kjer smo izvedli predstavitve in predstavili preliminarne zaključke raziskav.

3.7.1 Stroji za strojno sečnjo in spravilo lesa

Na objektih na Bradačevi frati, pri Treh križih in v Mozelskem Šahnu so delo opravljali s stroji v lasti Gozdnega gospodarstva Novo mesto in Gozdarstva Grče. Na vseh omenjenih objektih so sečnjo opravljali s strojem za sečnjo John Deere 1470D, spravilo pa z zgibnim polprikoličarjem John Deere 1410D. Stroja sta bila nabavljena leta 2008.

Stroj za sečnjo John Deere 1470D spada v kategorijo težkih strojev za sečnjo in ima 3 osi. Namenjen je opravljanju končnih sečenj in redčenj v starejših razvojnih fazah, tako da je za delo na omenjenih objektih primeren. Stroj za sečnjo je težak 19.700 kg, z največjim dosegom hidravličnega dvigala (CH8) 10,8 m z dvižnim navorom 210 kNm in glavo za sečnjo H 480 z maso 1200 kg. Višina stroja z lučmi znaša 4,00 m. Sprednje štiri gume na stroju so bile: Nokian 650/60 26,5 forest king TRS, zadnji dve pa Nokia 700/70-34 Tractor special. Širina stroja na sprednjem delu tako znaša 3000 mm, na zadnjem pa 2960 mm.

Stroj za spravilo lesa John Deere 1410D ima 4 osi in je namenjen za delo pri redčenjih in končnih sečnjah. Spada med velike zgibne polprikoličarje. Masa praznega stroja znaša 16500 kg, na keson lahko naloži 17.000 kg tovora. Opremljen je s teleskopskim hidravličnim dvigalom CF772 z grabežem. Doseg dvigala je 7,2 m in maksimalni dvižni navor 1,25 kNm. Gume na stroju so bile znamke Nokian Forest King, dimenzij 600/55R 26,5, kar pomeni, da je širina stroja 2890 mm.

Na objektu Osankarica je sečnjo in spravilo lesa opravilo gozdno gospodarstvo Maribor d.d., na objektu Bukovje pa podjetje Gozdno lesno gospodarstvo Murska Sobota d.o.o. Sečnja se je izvajala s strojem za sečnjo Eco Log 580 C, spravilo pa z zgibnim polprikoličarjem John Deere 1110. Stroj za sečnjo je bil kupljen leta 2008, zgibni polprikoličar pa leta 2006.

Stroj za sečnjo Eco Log 580 C spada v kategorijo težkih strojev za sečnjo in ima 3 osi. Namenjen je opravljanju končnih sečenj in redčenj v starejših razvojnih fazah, tako da za delo na objektu ni optimalen. Stroj za sečnjo je težak 18500 kg, z največjim dosegom hidravličnega dvigala 11,3 m in glavo za sečnjo Log Max 6000 z maso 1330 kg. Širina

stroja znaša 2910 mm. Sprednje štiri gume na stroju so dimenzij 600/55-26,5, zadnji dve pa 710/55-34.

Stroj za spravilo lesa John Deere 1110D ima 4 osi in je nekoliko manjši od stroja John Deere 1410D. Masa praznega stroja znaša 14.600 kg. Na keson lahko naloži 12.000 kg tovora. Opremljen je s teleskopskim hidravličnim dvigalom CF572 z grabežem, ki ima maksimalni doseg 7,2 m in maksimalni dvižni navor 102 kNm. Gume na stroju so dimenzij 600/55-26,5, kar pomeni, da je širina stroja 2700 mm.

3.7.2 Meritve sekalnikov

3.7.2.1 Eschlböck Bieber 70 in JCB Fastrac 3230

Meritve sekalnika Eschlböck Bieber 70 smo izvajali 19. 3. 2011 v naselju Vnanje Gorice pri Ljubljani (Dolžina: 14°24'54,9"E, širina: 46°0'22,2"N). Stroj je v lasti podjetnika iz Briš pri Polhovem Gradcu. Gre za sekalnik Eschlböck Bieber 70, ki je kot prikolica pripet na traktor JCB Fastrac 3230 (slika 16). Na prikolici je nameščeno hidravlično dvigalo Kronos 5000 z dosegom 7,5 m in dvojnimi teleskopom. Sekalnik je sekance mlet v dvoosno prikolico domače izdelave, ki jo je vlekel kmetijski traktor znamke Steyr. Prikazujemo ju na sliki 17.



Slika 16: Sekalnik, traktor in hidravlično dvigalo



Slika 17: Traktor z dvoosno prikolico

Kar se tiče pripravljalno-zaključnega časa je sekalnik nekoliko bolj zahteven za pripravo oz. je strojniku lažje, če ima še nekoga za pomoč. Sedež v traktorju namreč ni preprosto vrtljiv (kot na primer v zgibnem polprikoličarju), temveč je potrebno pred začetkom dela odviti vijake in en sedež iz traktorja odstraniti, nato pa drug sedež obrniti in ga zopet pritrditi z vijaki. Poleg tega iztegovanje stabilizatorjev zahteva ročno fiksiranje, medtem ko je sam izteg v dolžino hidravlično urejen.

Surovina je bila vnaprej pripravljena in je na skladišču ležala čez zimo. Sestavljena je bila iz goli in vej več drevesnih vrst, med katerimi so prevladovala jelša, hrast, kostanj, oreh in vrba. Naročnik izdelave sekancev je surovino zbiral že dalj časa, pridobil pa jo je predvsem s čiščenjem gozdnega roba na svoji kmetiji. Surovina je bila neustrezno pripravljena in deloma tudi neustrezno skladiščena, saj je del lesa ležal na tleh in ni bil dvignjen od tal.

Mleli smo takoj naslednji dan po večjem in daljšem deževju. Prej omenjene težave s pripravo surovine so bile predvsem posledica nepoučenosti naročnika. Namesto, da bi pustili v kupih celotna drevesa je lastnik veje klestil in jih zložil na poseben del kupa, v spodnjem delu kupa pa je surovino razžagal na za sekalnik neprimerno dolžino enega metra (slika 19). Poleg tega so težave povzročali tudi predebeli kosi, predvsem koreničniki hrasta, ki jih je naročnik nato prežagoval sam. Sekance je skladiščil pod kozolcem, le v četrtem ciklu je sekance odpeljal nekoliko dlje, do hiše, kjer namerava v prihodnosti zgraditi zalogovnik. Zaradi težav z vzvratno vožnjo prikolice tega ni več ponovil.



Slika 18: Surovina 1 – dolgi kosi goli



Slika 19: Surovina 2 – metrske goli in veje

Poraba goriva v trajanju poskusa je znašala 78 litrov. Traktor smo napolnili na črpalki na Brezovici pri Ljubljani, nato pa še enkrat po koncu poskusa. Od črpalke do skladišča, na katerem smo opravili sekanje je približno 3 km, tako da je v porabi goriva upoštevanih tudi približno 6 km vožnje.

Volumen dvoosne prikolice, v katero je sekalnik mlel sekance, znaša $10,4 \text{ nm}^3$, vendar je bila le-ta vedno zvrhano polna. V dnevu je bilo napolnjenih 9 polnih prikolic.

3.7.2.2 Bruks 805CT in Eco Log 574B

Meritve sekalnika smo izvajali 31. 3. 2011 v bližini naselja Materija pri Kozini (dolžina: $14^{\circ}0'33,2''\text{E}$, širina: $45^{\circ}34'50''\text{N}$). Stroj je v lasti Gozdnega gospodarstva Postojna, gre pa za kombinacijo zgibnega polprikoličarja Eco Log 574B in sekalnika Bruks 805CT s kontejnerjem, ki ga prikazujemo na sliki 20.



Slika 20: Sekalnik Bruks na polprikoličarju Eco Log



Slika 21: Objekt po končani krčitvi

Stroj podjetje uporablja predvsem na slovenskem krasu, kjer se izvajajo večja čiščenja površin gozda za pašnike. Objekt prikazujemo na sliki 21. Če je mogoče, se organizirajo večja skladišča z veliko prostora za odlaganje kontejnerjev in dovolj prostora za skladiščenje biomase. V gozdu je takšna organizacija večinoma nemogoča, tako da se biomasa odlaga ob cesti, skupaj s kontejnerji za sekance. Stroj je dovolj fleksibilen, da se lahko prihajajočemu tovarnjaku tudi na deloviščih z omejenim prostorom umakne in tako ne povzroča zastojev.

Sekalnik smo spremljali v razmerah, ki so za organizacijo dela tipične. Stroj je upravljal strojnik z večletnimi izkušnjami z uporabo sekalnika in zgibnega polprikoličarja. Surovina, ki jo je sekalnik sekal, je bila delno pripravljena vnaprej, del surovine pa je zgibni polprikoličar sproti vozil iz gozda (slika 23). Iz gozda je zgibni polprikoličar vozil večinoma vrhače in veje črnega bora. Ta surovina je bila uporabljena v ciklih 2, 3, 4, 5, 6 in 10.

Vnaprej pripravljena surovina na skladišču je bila daljša, kot surovina iz gozda. Prikazujemo jo na sliki 22. Na skladišču je prevladoval črni bor (80 %) s primesjo dreves listavcev prve in druge debelinske stopnje (do 10 cm) drevesnih vrst jelša in jesen (20 %). Drevesom črnega bora so, kjer je bilo to mogoče, odžagali prvi hlod, ki ni bil namenjen za sekanje, temveč za nadaljnjo prodajo kot okrogel les. Surovina tega tipa je bila uporabljena v ciklih 7, 8 in 9. Cikel 1 je sestavljen iz kombinacije obeh surovin.



Slika 232: Surovina tipa 1



Slika 223: Surovina na skladišču – tipa 2

Sekalnik je sekance stresal v kamionske kontejnerje kapacitete 40 m^3 , z zunanjimi merami kontejnerja $2,40 \text{ m} \times 2,40 \text{ m} \times 7,00 \text{ m}$. Sekalnik v dveh ciklih napolni celoten kontejner. Poraba goriva za stroj v dolgoletnem povprečju znaša 30 do 32 litrov na delovno uro.

3.7.2.3 Starchl MK 74 600

Meritve sekalnika smo izvajali po opravljenem delu žičnega žerjava na objektu Ljubelj. Izdelava sekancev je bila opravljena iz kupa vejevine, ki je ostala ob gozdni cesti po delu žičnega žerjava. Na objektu je delo opravljal bobenski sekalnik Starchl MK 74 600. Sekance so izmetavali na kontejnerske prikolice s traktorji. Uporabljena sta bila traktor Deutz-Fahr s prikolico Fleigl Gigant ASW 160 s sistemom izrivanja tovora ter traktor Lindner Geotrac 74 s prekucno prikolico. Stroj ima možnost uporabe manjše mreže ($50 \times 50 \text{ mm}$ z lamelami), a so zaradi nezahtevnosti uporabnika surovine pri sekanju uporabili večjo mrežo.

Preglednica 37: Tehnični podatki sekalnika Starchl MK 74 600 (Mihelič in Košir, 2011).

Širina vstopne odprtine	740 mm
Višina vstopne odprtine	450 mm
Maksimalen premer lesa	450 mm
Število sekalnih nožev	12
Velikost zamenljive mreže za določanje velikosti sekancev	100 x 100 mm, brez lamel
Minimalna pogonska moč na priključni gredi	80 kW
Tovornjak	Mercedes-Benz Actros 2640, 3-osni
Hidravlična roka	Epsilon Palfinger M110L (110 kN, 10,7 m, 425°)
Kabina za upravljalca sekalnika	Epsilon Epscab CAM/CAE
Grabež	Epsilon FG31R (0,36 m ² , 40 kN, 25 MPa)

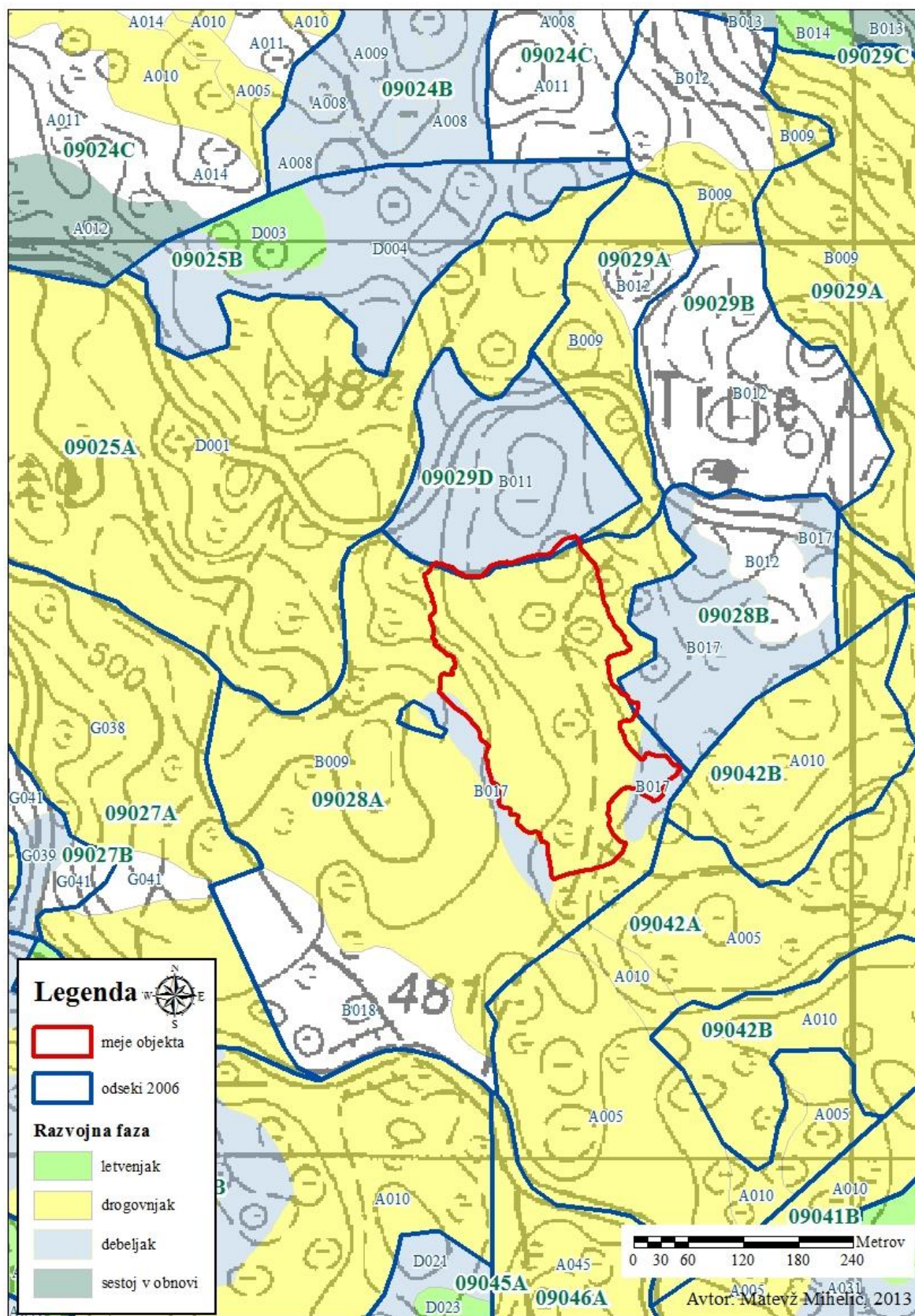
Delo je potekalo gladko in brez zapletov. Največje ozko grlo je predstavljal prevoz sekancev po cesti v dolino, saj na gozdni cesti v strmem terenu ni veliko prostora za obračanje. Prikolici sta se izmenjevali pri sekalniku in sekance vozili na parkirišče v dolini. Tam so jih stresli na tla in popoldne, ob prihodu tovornjaka s sprednjim nakladačem naložili na tovornjak.

3.7.3 Poskusni objekt Trije križi

Poskusni objekt na katerem smo izvajali časovne študije zgibnih polprikoličarjev je del odseka 28A, s krajevnim imenom Trije križi. Prikazujemo ga na sliki 24. Odsek 28 je del kočevskega gozdnogospodarskega območja. Površina odseka je 21,94 ha, povprečni naklon v odseku znaša 5 %, kamnitost 5 %, skalovitosti pa v odseku ni. Gozd v odseku spada v kategorijo večnamenskih gozdov, ki so bili v preteklosti podvrženi premeni. Odsek je primeren za traktorsko spravilo in je odprt v celoti, povprečna pravilna razdalja pa znaša 300 m (Odseki, 2007).

Odsek v celoti zavzema gozdna združba *Asperulo odoratae-Carpinetum betuli*, tako kot na objektu Mozelski Šahen (Marinček in sod., 2002). Prav tako sta enaka matična podlaga in tla na celotnem objektu (Pedološka, 2007).

Poskusni objekt je del sestoja B9, ki ima površino 17,43 ha. Sestavljajo ga drogovnjaki z dobro zasnovano in tesnim sklepom. Lesna zaloga v sestoji je 269,2 m³/ha smreke, 9,2 m³/ha bukve in 9,2 m³/ha belega gabra (Sestoji, 2008).



Slika 24: Situacija objekta Trije križi

V odseku 28A je bilo predhodno opravljeno redno odkazilo, ki ga je opravil Zavod za gozdove Slovenije. V odkazilu močno številčno in volumensko prevladuje smreka (preglednica 38). Povprečen volumen bruto odkazanega drevesa je znašal $0,51 \text{ m}^3$. Gostota odkazila glede na površino odseka znaša $56 \text{ m}^3/\text{ha}$. Tarifa za smreko je bila 34, za bukev 32, za brezo pa 30.

Število dreves na objektu po redčenju je znašalo 886 dreves/ha. Do tega podatka smo prišli s pomočjo ploskev za ugotavljanje poškodovanosti dreves v sestoji, na katerih smo popisali vsa drevesa. Za izračun smo uporabili le ploskve, ki so ležale v sestoji, oziroma je manj kot 25 % ploskve ležale na prometnici. S ploskvami smo vzorčili na 4,71 % objekta.

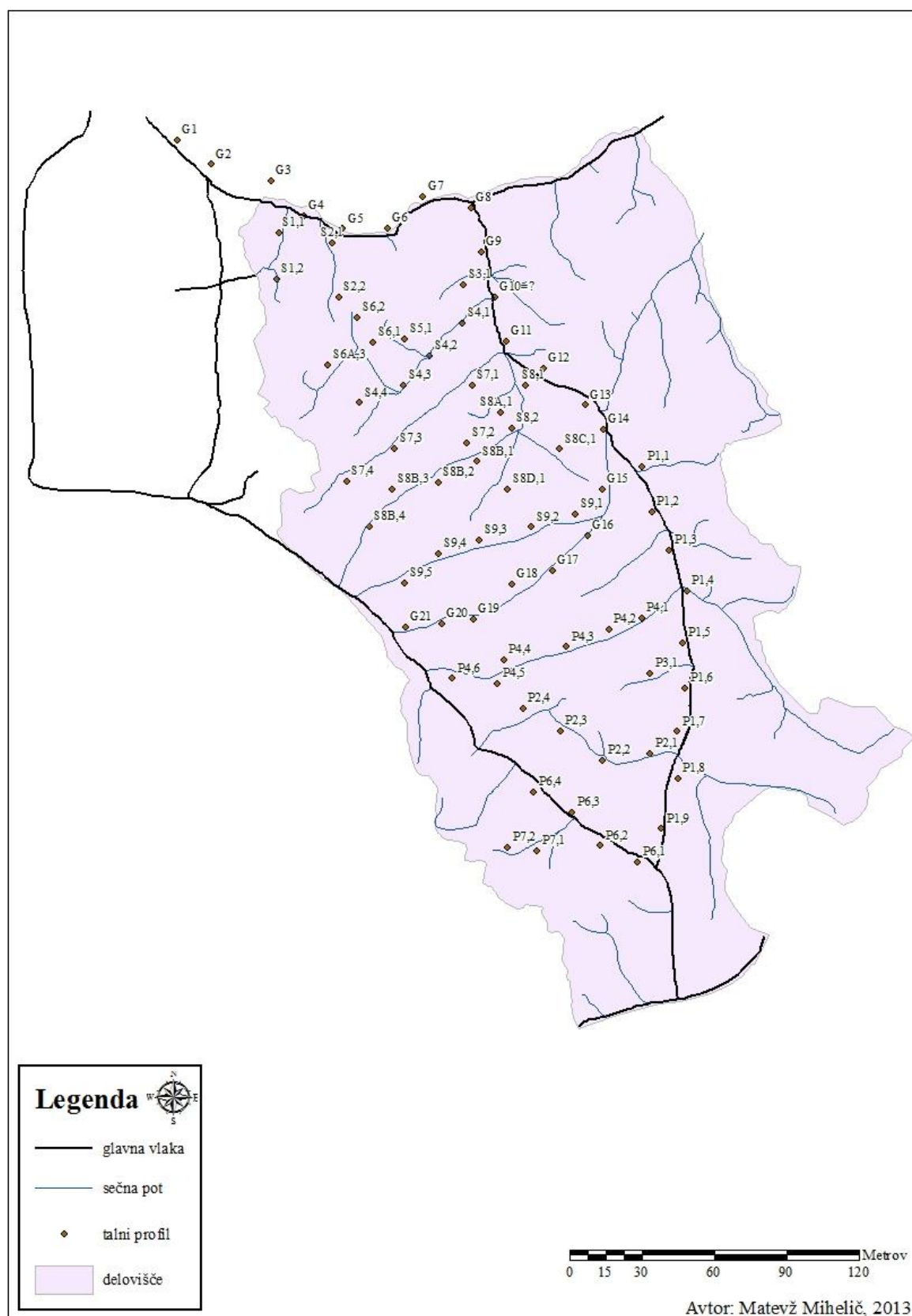
Preglednica 38: Povzetek odkazila v odseku 28A

Odkazana drevesa v odseku 28A	Število [n]	Bruto volumen [m^3]	Neto volumen [m^3]	Bruto volumen povprečno odkazanega drevesa [m^3/drevo]	Neto volumen povprečno odkazanega drevesa [m^3/drevo]
Smreka	2000	1033	878	0,52	0,44
Listavci	26	4	4	0,16	0,14
Skupaj	2026	1037	881	0,51	0,29

Dela na objektu so izvajali zaposleni podjetja Gozdno gospodarstvo Novo mesto in Gozdarstva Grča. Poskus pri Treh križih je bil opravljen v sodelovanju z Gozdarskim inštitutom Slovenije. Raziskovalci Inštituta so opravili pripravo sestoja za strojno sečnjo in izvajali časovne študije na stroju za sečnjo. Raziskovalci Oddelka za gozdarstvo smo ugotavljali učinke in izvajali časovne študije na zgibnem polprikoličarju ter s prej opisanimi metodami ugotavljali vplive na tla in sestoj.

Poskusni objekt ima površino $5,52 \text{ ha}$, leži na nadmorski višini od 740 m do 774 m . Matična podlaga je apnenec, zato je na objektu več vrtač. Mladje na objektu ni prisotno v omembe vrednem deležu, zato je prehodnost terena izven prometnic lahka. Celotna dolžina vlak in sečnih poti na objektu znaša 3287 m . Povprečna odprtost objekta tako znaša $547,5 \text{ m/ha}$. Povprečna pravilna razdalja na objektu, izračunana z uporabo centroida objekta, znaša $349,7 \text{ m}$.

Prometnice na objektu in njihovo kategorijo prikazujemo na sliki 25, prav tako pa prikazujemo tudi lokacije količkov, od katerih smo ugotavljali vplive tehnologij sečnje in spravila lesa na gozdna tla.



Slika 25: Situacija objekta, prometnic in talnih profilov na objektu Trije križi

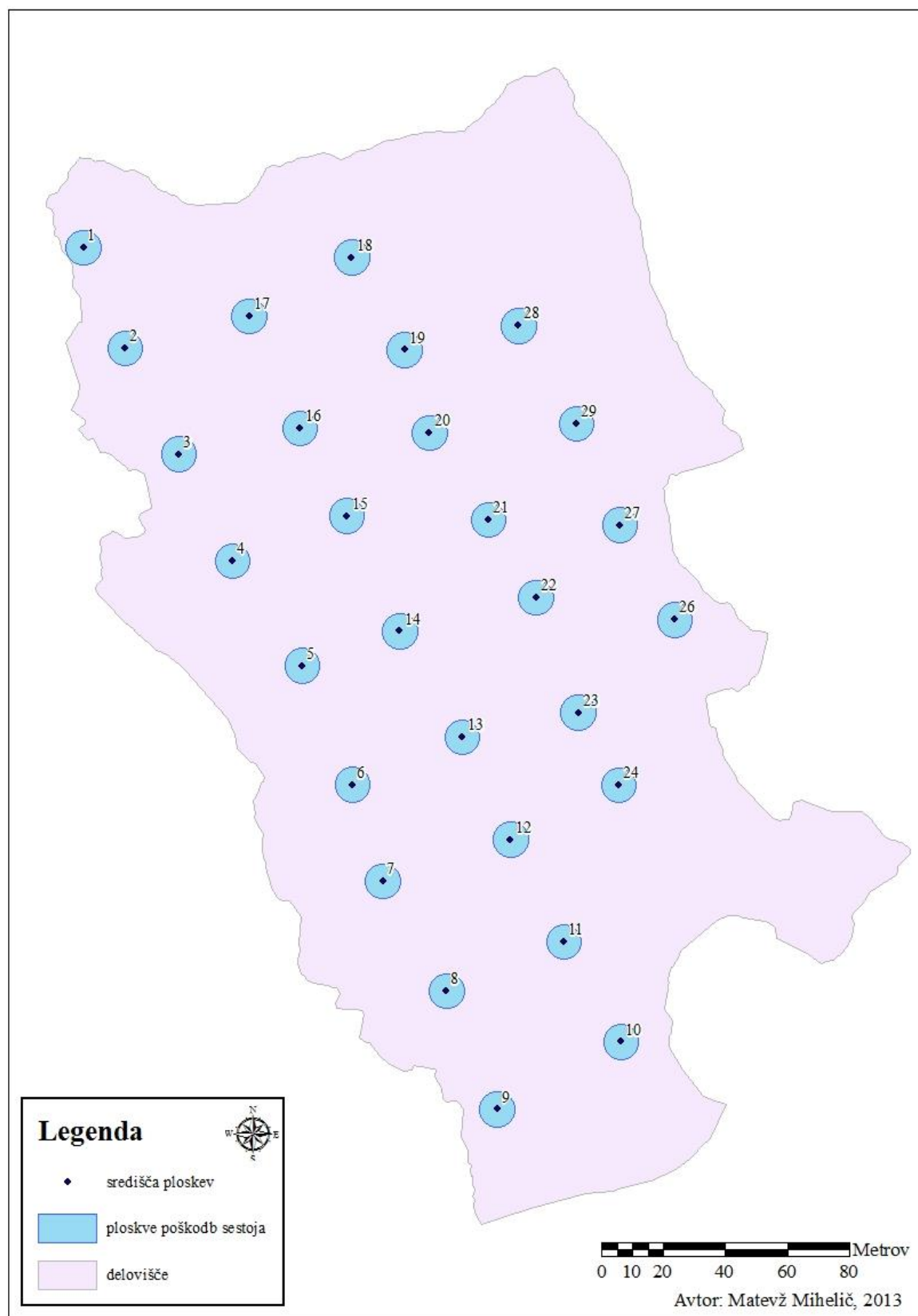
Stroja sta ves čas poskusa delala z nameščenimi verigami. Stroj za sečnjo je imel verige na vseh kolesih, medtem ko je stroj za spravilo lesa imel verige na sprednjih dveh oseh, na zadnjih dveh pa gosenične verige. Običajna organizacija dela pri strojni sečnji je takšna, da strojniki delajo v dveh izmenah in se tako v enem dnevu izmenjata dva strojnika.

Delo na objektu je potekalo od 12. avgusta 2009 do 25. avgusta 2009. Od 12. avgusta 2009 do 21. avgusta 2009 smo izvajali časovne študije in meritve učinkov stroja za spravilo, hkrati pa so potekale tudi meritve poškodovanosti tal. Po odhodu strojev iz objektov smo izmerili še poškodbe tal po zgibnem polprikoličarju in poškodbe dreves.

Vso spremljano spravilo na objektu je vršil en strojnik z letom in pol delovnih izkušenj. Vedno smo merili delo strojnika v dopoldanskem delavniku, popoldne se je stroj prestavil na drugo delovišče.

Razmere za delo so bile v času poskusa ugodne, vreme je bilo skoraj ves čas sončno, temperatura na objektu je bila vse dni zelo podobna.

Na sliki 26 prikazujemo lokacije, število in površine ploskev, na katerih smo z metodo krožnih ploskev ugotavljali poškodovanost dreves v sestoju po strojni sečnji in spravilu lesa z zgibnim polprikoličarjem.



Slika 26: Prikaz ploskev na katerih smo ugotavljali meritve poškodb dreves na objektu Trije križi

3.7.4 Poskusni objekt Rog (Bradačeva frata)

Poskusni objekt, na katerem smo izvajali strojno sečnjo v kombinaciji z motorno žago, je del odseka 43, s krajevnim imenom Bradačeva frata. Prikazujemo ga na sliki 27. Odsek 43 je del novomeškega gozdnogospodarskega območja. Površina odseka je 45,06 ha, povprečni naklon v odseku znaša 18 %, kamnitost 35 %, skalovitost pa 50 %. Gozd v odseku spada v kategorijo večnamenskih gozdov, ki so bili v preteklosti spremenjeni. Odsek je primeren za traktorsko spravilo in je odprt v celoti, povprečna pravilna razdalja pa znaša 250 metrov (Odseki, 2007).

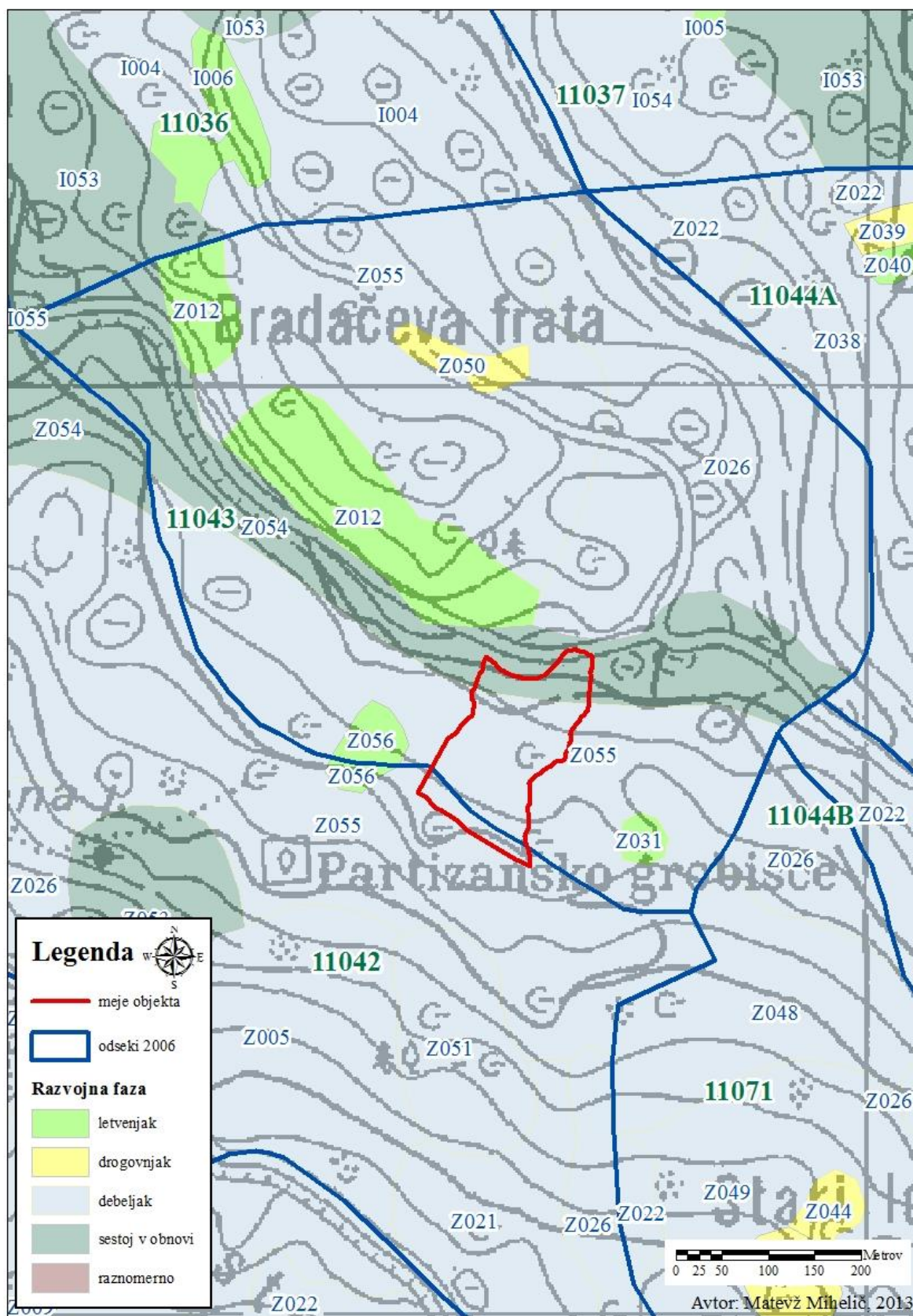
Gozdna združba v odseku je združba bukve in spomladanske torilnice oziroma *Omphalodo fagetum* (Marinček in sod., 2002).

Matična kamnina je apnenec, tla v odseku pa so sestavljena iz sprsteninastih rendzin in rjavih pokarbonatnih tal v razmerju 50:50 (Pedološka, 2007).

Poskusni objekt sestavljata dva sestoja – Z55 in Z54 (slika 27). Površina sestoja Z54 je 79,23 ha, sestoja Z55 pa 20,82 ha. Večina lesne mase je bila posekana v sestoji Z55, precej manj pa v sestoji Z54. Podatke o sestojih Z54 in Z55 prikazujemo v preglednici 39 (Sestoji, 2008).

Preglednica 39: Podatki o sestojih Z54 in Z55

Sestoj	Z54	Z55
Razvojna faza	Sestoj v obnovi	Debeljak
Sklep	Rahel	Normalen
Zasnova	Bogata	Bogata
Lesna zaloga smreke [m ³ /ha]	21,4	234,1
Lesna zaloga jelke [m ³ /ha]	6,4	76,7
Lesna zaloga bukve [m ³ /ha]	7,7	116,1
Lesna zaloga javorja [m ³ /ha]	5,4	65,7
Skupaj lesna zaloga iglavcev [m ³ /ha]	27,8	310,7
Skupaj lesna zaloga listavcev [m ³ /ha]	13,2	181,7



Slika 27: Prikaz situacije objekta Bradačeva frata

Odkazilo je bilo izvedeno posebej za objekt, kjer je potekala raziskava, in ga prikazujemo v preglednici 40. Odkazilo je bilo redno in površinsko enakomerno razporejeno in številčno uravnoteženo glede na vrsto (iglavci/listavci), čeprav so iglavci volumensko prevladovali. Gostota odkazila glede na površino objekta je bila $139 \text{ m}^3/\text{ha}$. Tarifa za smreko je v odseku 56, za listavce pa 36.

Preglednica 40: Struktura odkazila na objektu Bradačeva frata

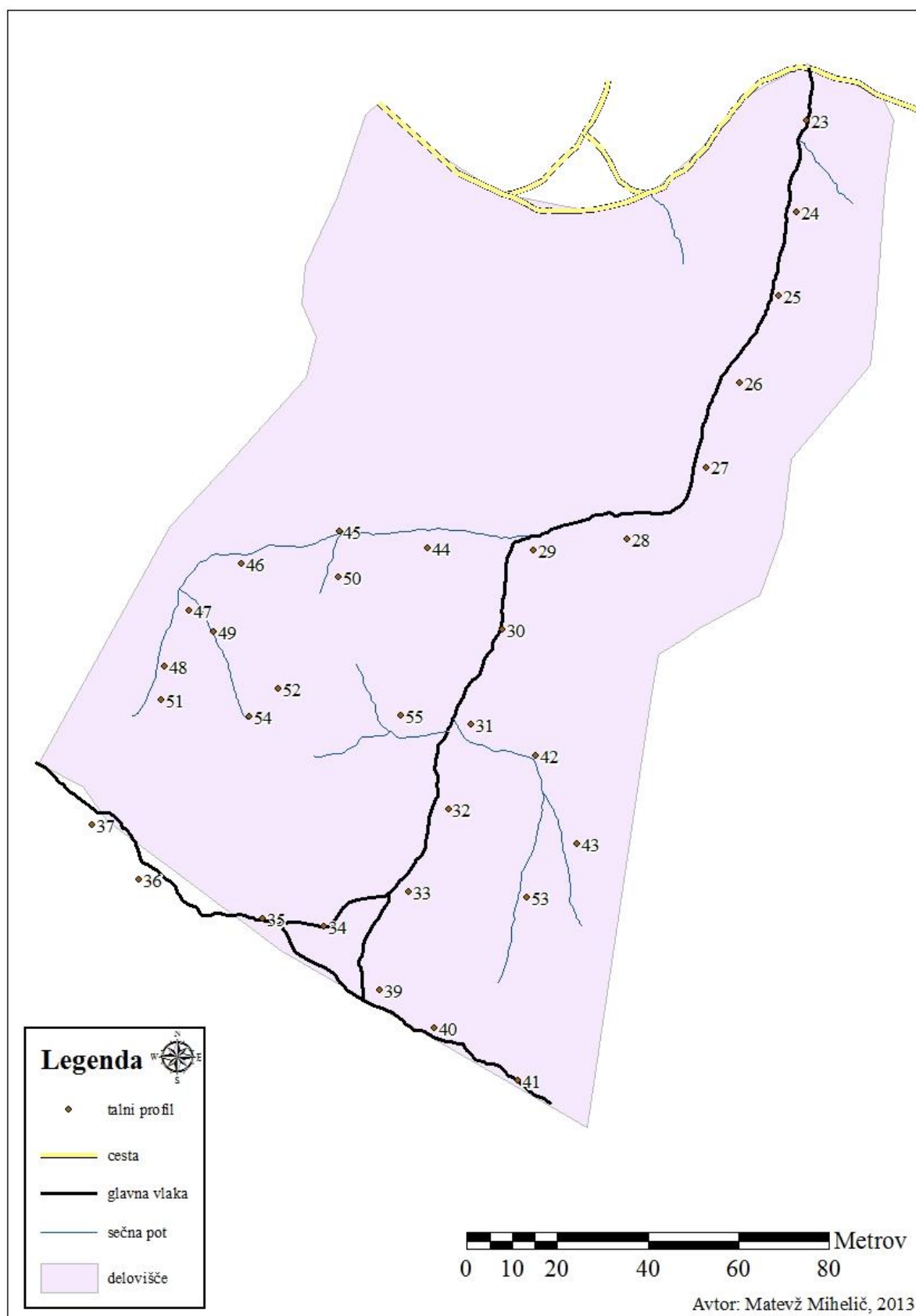
Odkazana drevesa v odseku 39A	Število [n]	Bruto volumen [m^3]	Neto volumen [m^3]	Bruto volumen povprečno odkazanega drevesa [m^3/drevo]	Neto volumen povprečno odkazanega drevesa [m^3/drevo]
Iglavci	58	164	139	6,83	5,81
Listavci	81	145	126	5,01	4,36
Skupaj	139	309	266	5,84	5,08

Poskus je bil zastavljen v sodelovanju s skupino za gojenje gozdov Oddelka za gozdarstvo. Površina, ki jo prikazujemo na sliki 27, je le ena izmed šestih izbranih ter izločenih površin. Na treh površinah se je v izmeničnih ponovitvah izvajala strojna sečnja v kombinaciji z motorno žago ter spravilo z zgibnim polprikolničarjem. Na ostalih treh površinah je bila spremljana tehnologija sečnja z motorno žago in spravilo s prilagojenim kmetijskim traktorjem.

Odkazilo je opravil Zavod za gozdove Slovenije za vsako površino posebej. Sledila je priprava objekta, ki so jo vršili zaposleni Oddelka za gozdarstvo skupaj s študenti. Dela na objektu so izvajali zaposleni podjetja Gozdno gospodarstvo Novo mesto.

Poskusni objekt ima površino 2,22 ha, leži na nadmorski višini od 647 m do 682 m. Del poskusnega objekta sega v odsek 42, a se v tem odseku sečnja ni opravljala. Objekt leži na pobočju, zaznamuje ga velika skalovitost. Ker je matična podlaga apnenec, je na objektu več vrtač ter nekaj previsnih sten. Povsod je prisotno mladje, kar še dodatno otežuje prehodnost terena izven prometnic. Celotna dolžina vlak znaša 780 m, objekt odpira 125 m cest. Povprečna odprtost objekta tako znaša $343,5 \text{ m}/\text{ha}$, od tega je odprtost s cestami $28,4 \text{ m}/\text{ha}$, odprtost z vlakami $314 \text{ m}/\text{ha}$. Povprečna pravilna razdalja na objektu znaša 496 m. Prometnice prikazujemo na sliki 28.

Lesna zaloga pred posegom je znašala $515 \text{ m}^3/\text{ha}$, po izvedenem posegu pa $351 \text{ m}^3/\text{ha}$. Intenziteta sečnje je znašala 31,8 %.



Slika 28: Prikaz prometnic in talnih profilov objekta Bradačeva frata

Zaradi debeline dreves je bila tehnika dela na tem objektu strojna sečnja v kombinaciji z motorno žago. Na objektu je delo sekačev spremljalo večje število študentov, ki so ugotavljali učinke in spremljali delo sekačev ter stroja za sečnjo. Sečnja in spravilo s traktorjem je potekalo v oktobru 2009.

Stroja sta celoten čas poskusa delala z nameščenimi verigami. Stroj za sečnjo je imel verige na vseh kolesih, medtem ko je stroj za spravilo lesa imel verige na sprednjih dveh oseh, na zadnjih dveh pa gosenice. Običajna organizacija dela pri strojni sečnji je takšna, da strojniki delajo v dveh izmenah in se tako v enem dnevu izmenjata dva strojnika.

Časovna študija in ugotavljanje učinkov zgibnega polprikoličarja je potekalo od 12. do 14. oktobra 2009. V tednu po odhodu stroja iz objekta smo izmerili še poškodbe tal po zgibnem polprikoličarju in poškodbe dreves. Lokacije profilov prikazujemo na sliki 28.

Spravilo na objektu je vršil en strojnik z letom in pol delovnih izkušenj. Vedno smo merili delo strojnika v dopoldanskem delavniku, popoldne se je stroj prestavil na drugo delovišče.

Delo na objektu je bilo tekoče, brez strojelomov, v neugodnih vremenskih razmerah. Celotni prvi dan snemanja zgibnega polprikoličarja je namreč padal dež, padavine so se začele v noči pred začetkom snemanja in niso ponehale vse do jutra 13. oktobra. Temperature so bile ves čas snemanja pod 10°C.

Na objektu smo vnaprej zabili količke za ugotavljanje poškodovanosti tal, med delom smo izvajali časovne študije sečnje in spravila lesa ter merili učinke. Po končani vožnji stroja za sečnjo smo izmerili poškodbe tal. Meritve smo ponovili tudi po koncu spravila z zgibnim polprikoličarjem.

Poškodbe dreves v sestoji so bile merjene po končani sečnji in spravilu za potrebe magistrskega dela ga. Marije Judnič. Do konca izdelave dela podatki niso bili dostopni, zato jih v raziskavi nismo uporabili.

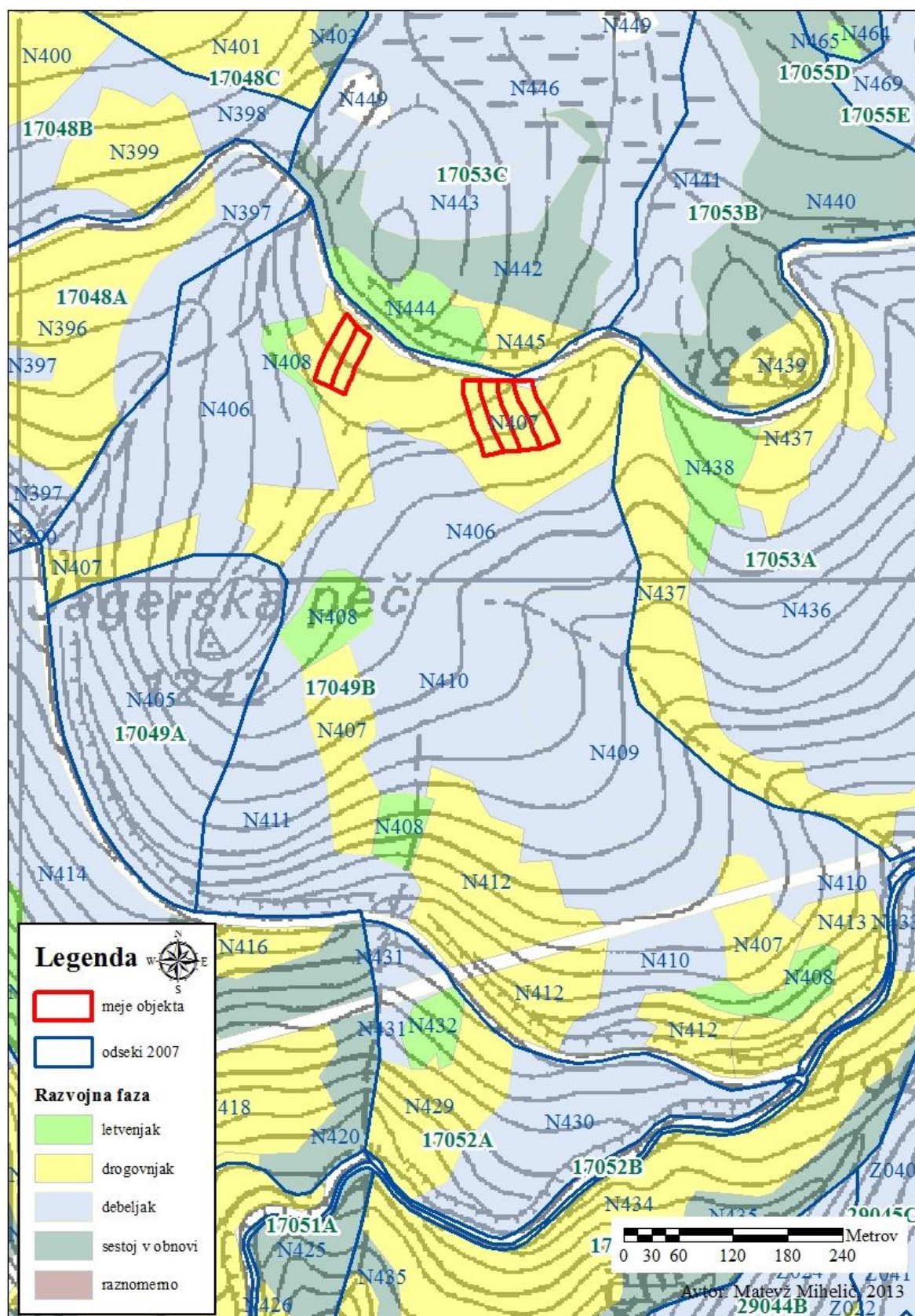
3.7.5 Poskusni objekt Osankarica

Poskusni objekt se nahaja v gozdnogospodarskem območju Maribor v gospodarski enoti Osankarica, odsek 49B. GE Osankarica leži na južnem pobočju masiva Pohorja in obsega 2756 ha, od katerih je večina v državni lasti. Najvišja točka gospodarske enote je Rogla z 1517 m nadmorske višine, najnižja pa naselje Lukanja v oplojniškem jarku z 840 m nadmorske višine. Za enoto so značilni številni vodotoki, ki oblikujejo zavoje, meandre in korita. Klima v enoti Osankarica je mešanica srednjegorsko-alpskega in panonskega podnebja. Količina letnih padavin se giblje med 1200 in 1800 mm. Temperatura ima pomembno vlogo v višjih izpostavljenih legah, saj je, kot dejavnik v minimumu, omejujoča za rast listavcev (Gozdnogospodarski, 2005).

Odsek 49B leži na južnem pobočju z naklonom do 16° in ima valovit relief. Kamnitost je 5 %, skalovitosti ni. Površina odseka je 42,24 ha (Odseki, 2007). Odsek v celoti zavzema gozdna združba *Galio rotundifolii* – *Abietetum albae* oziroma združba bele jelke in okroglostne lakote (Marinček in sod., 2002). Sestoji so zaradi preteklega načina gospodarjenja spremenjeni (31 do 70 %). Danes v odseku prevladujejo sestoji smreke in bukve z mestoma večjo primesjo jelke vseh razvojnih faz. Odsek je uvrščen v gozdove vmesnih oblik. Smreka in bukev sta v 7. tarifnem razredu (Gozdnogospodarski, 2005).

Matična podlaga na objektu je tonalit, ki ima kislo reakcijo, in je mestoma nepropusten za vodo. Tla na objektu so tipična distrična rjava tla na tonalitu v 60 %, 20 % je distričnega rjavega rankerja, v enakem odstotku pa so prisotna tudi koluvialna distrična rjava tla. Po FAO klasifikaciji bi ta tla uvrstili v tip distričnega kambisola (Pedološka, 2007).

Poskusni objekt je del sestoja N407. Sestoj ima površino 8,04 ha, razvojna faza so drogovnjaki z dobro zasnovano in tesnim sklepom. Lesna zaloga v sestoji je 117,1 m³/ha smreke, 3,7 m³/ha bukve in 1,6 m³/ha gorskega javorja. Govorimo torej o iglastih sestojih s primesjo listavcev, kar je posledica preteklega gospodarjenja (Sestoji, 2008).



Slika 29: Situacija poskusnega objekta Osankarica

Poskusni objekt ima površino 1,2 ha, leži na pobočju, na nadmorski višini od 1220 m do 1250 m. Celotna dolžina sečnih poti na objektu znaša 477 m, objekt pa odpira tudi 114 m cest. Povprečna odprtost objekta tako znaša 492 m/ha, od tega je odprtost s cestami 95 m/ha, odprtost s sečnimi potmi pa 397 m/ha.

Gostota dreves na objektu po opravljenem delu je znašala 1951 dreves/ha. Gostoto smo ugotovili iz popisa vseh dreves na ploskvah. Iz ploskev smo ugotovili tudi gostoto dreves na objektu pred posegom in sicer tako, da smo vsem drevesom na ploskvi prišteli še vse popisane nove panje. Gostota dreves pred posegom znaša 2721 dreves/ha. Na objektu smo ugotavljali poškodbe dreves v sestoji na 21,7 % odstotka površine. Temeljnica po posegu na objektu znaša 38,67 m²/ha. Gostoto in temeljnico smo ugotovili iz popisa vseh dreves na ploskvah. Temeljnica je bila ugotavljana iz popisanih dreves v sestoji, katerim smo izmerili tudi prsni premer (skupaj s skorjo). Povprečni prsni premer sestoja po opravljenem posegu je znašal 15 cm.

Izbrani poskusni objekt je enostaven, ima zelo homogene razmere in homogeno sestojno zgradbo. Na Osankarici smo postavili 6 sečnih ploskev (tras), dolgih 100 m in širokih 18 m. Sečne poti so bile slepe, postavljene neposredno ob gozdno cesto in na njo usmerjene pravokotno. Med seboj so bile vzporedne, kar pomeni, da je bil razmik med sečnimi potmi enak. Sečne poti 1, 2, 3 in 4 so se med seboj stikale, poti 5 in 6 pa sta bili od ostalih linij oddaljeni približno 110 m in del drugega sestoja, ki se je po dimenzijah dreves nekoliko razlikoval od sestoja, kjer so bile postavljene ostale štiri sečne poti.

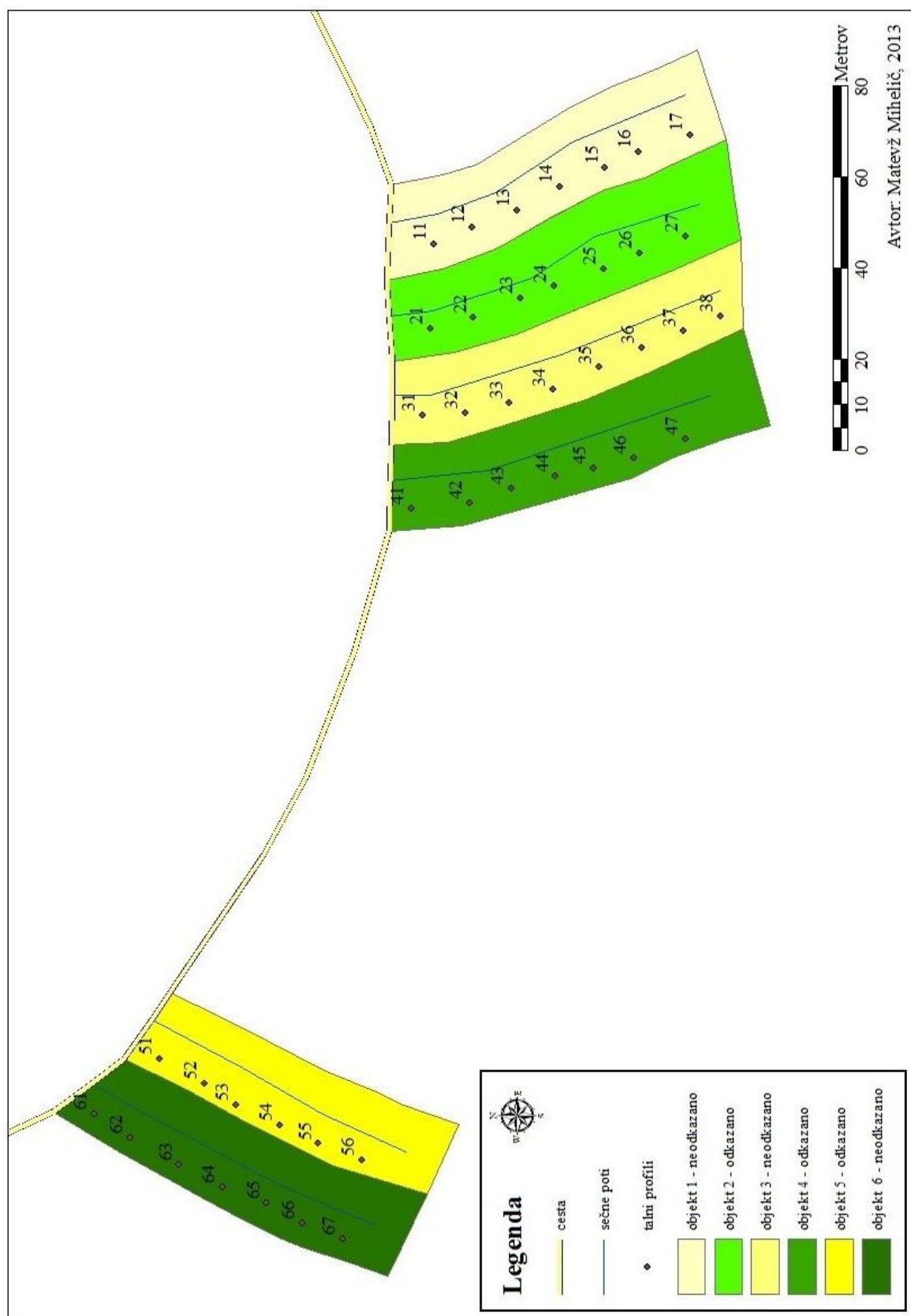
Popis vseh dreves na linijah so izvedli zaposleni Zavoda za gozdove Slovenije. Zaradi prevelikega obsega dela smo bili na Oddelku za gozdarstvo prisiljeni pripravo dela za časovno študijo pri strojni sečnji zmanjšati, saj je obseg dela na sečnih poteh 100×18 metrov presegal naše kapacitete. Zato smo znotraj sečnih poti postavili svoje ploskve velikosti 25×18 m, na katerih smo izvedli popolno premerbo odkazanih dreves, prav tako pa smo na drevesa napisali prsne premere zaradi ugotavljanja učinkov strojne sečnje. Na odkazanih sečnih poteh smo premere napisali le na odkazana drevesa, na neodkazanih poteh pa smo premere napisali na vsa drevesa na ploskvah, saj nismo vedeli katero drevo bo strojnik posekal.

Znotraj ploskev za merjenje učinkov so raziskovalci GIS-a v času sečnje in v času spravila lesa pobirali talne vzorce po standardiziranih metodah za ugotavljanje vlažnosti tal. Uporabljali so metodo neporušenih tal. Odvzeli so jih s pomočjo kopeckijevih cilindrov. Odvzemanje vzorcev je potekalo sočasno s sečnjo in kasneje s spravilom lesa, da smo lahko natančno določili vlažnost tal v času sečnje in spravila lesa.

Lokacije odvzema vzorcev so bile določene sistematično za vse profile. En vzorec je bil odvzet ob količkih, ki so označevali prečne profile, drugi pa na nasprotni strani sečne poti, in sicer pravokotno na njeno os. Natančno mesto kopanja talnega profila je bilo 0,5 m od

količka (največja razdalja od sečne poti). Če se na tem mestu zaradi vej, zloženih sortimentov ali kamenja ni dalo kopati, se je mesto kopanja premaknilo za 90°, vrtilišče pa je predstavljal količek.

Na objektu so uporabili kopeckijeve cilindre s prostornino 90 cm³. Skupno je bilo pobranih 28 talnih vzorcev po sečnji in enako število po pravilu lesa. Od tega je bilo na sečnih poteh 1, 2, 3 in 5 pobranih po 2 para, na sečni poteh 4 in 6 pa po trije pari vzorcev.



Slika 30: Prikaz sečnih poti, načina odkazila in lokacij talnih profilov na objektu Osankarica

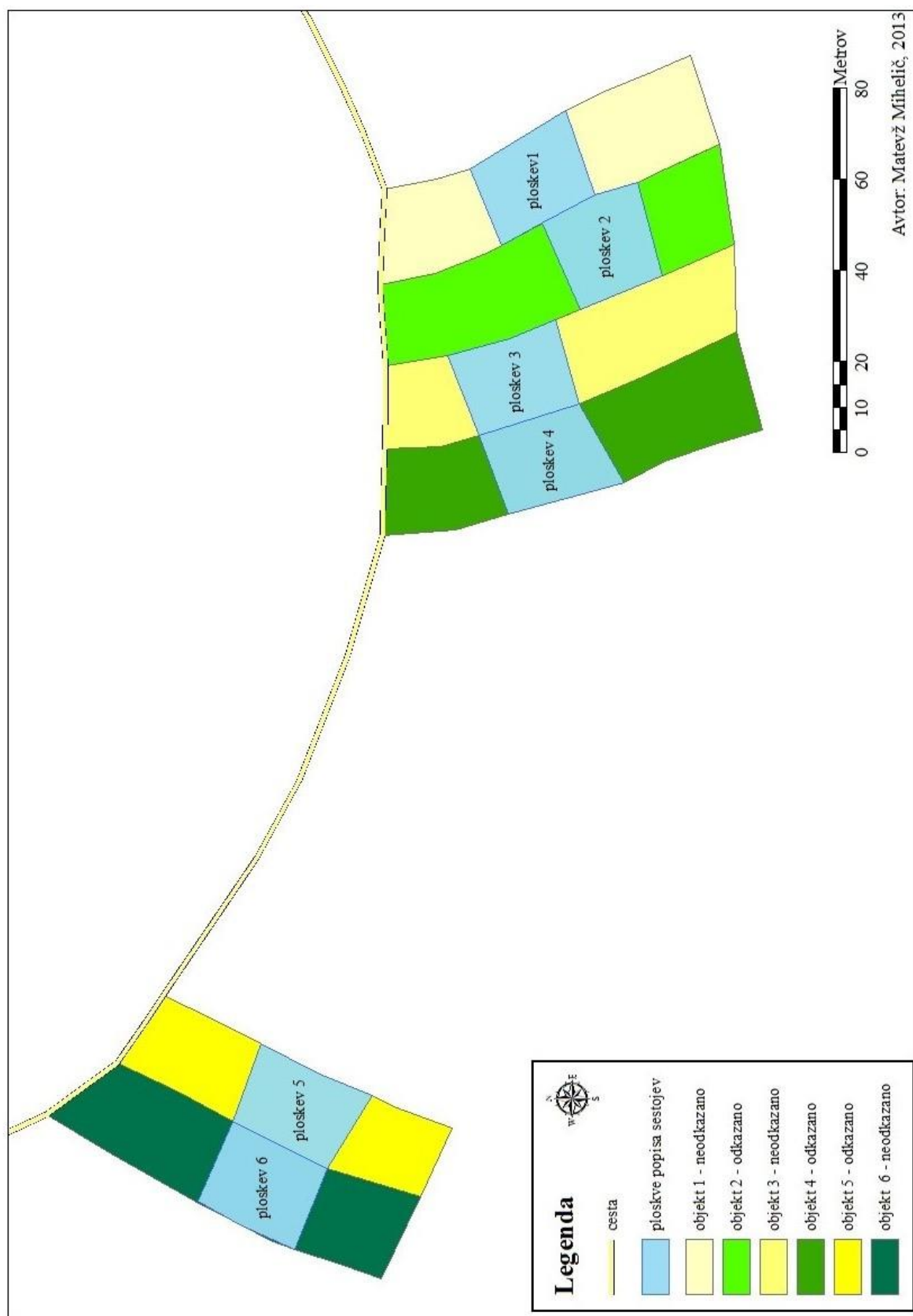
Vse robne točke ploskev in vsa mesta količkov smo posneli z GPS instrumentom znamke Trimble, model GeoXT.

Stroja sta celoten čas poskusa delala brez nameščenih kolesnih verig ali verig v obliki gosenic. Normalna organizacija dela pri strojni sečnji je takšna, da strojniki na obeh strojih delajo 16 ur, nato pa so naslednji dan prosti.

Sečnjo na objektu je opravljal izkušen strojnik. V podjetju je začel delati kot sekač, nadaljeval pa kot traktorist. Po hujši poškodbi nog, zaradi katere ni bil več sposoben za delo sekača, mu je podjetje ponudilo možnost upravljanja stroja za sečnjo, ki jo je sprejel. Tako je eden redkih strojnikov v državi, ki ima gozdarsko in ne tehnično ozadje, kar pomeni, da je bil zelo primeren za poskus, v katerem je moral odkazovati sam. V času poskusa je imel tri leta izkušenj z upravljanjem stroja za strojno sečnjo. Spravilo na objektu sta vršila dva strojnika. Oba sta izkušena, eden s tremi leti dela s strojem, drugi pa z dvoletnim stažem.

Delo na objektu je bilo tekoče, brez strojelomov, v dobrih razmerah, z motiviranim strojnikom na stroju za sečnjo in motiviranim mlajšim strojnikom na stroju za spravilo lesa. Starejši strojnik na stroju za spravilo ni bil motiviran in je delal precej počasneje, kot je običajno.

Razmere za delo so bile v času poskusa ugodne, vreme je bilo skoraj ves čas sončno, temperatura na objektu je bila vse dni zelo podobna. Zjutraj ob 7:00 je bila minimalna 14 °C, maksimalna pa 16 °C, najvišja dnevna temperatura (ob 14:00) je znašala 20 °C, najnižja pa 18 °C. Povprečna zračna vlažnost je nihala med 70 in 95 %.



Slika 31: Objekt Osankarica; Prikaz objektov in ploskev za ugotavljanje poškodb dreves

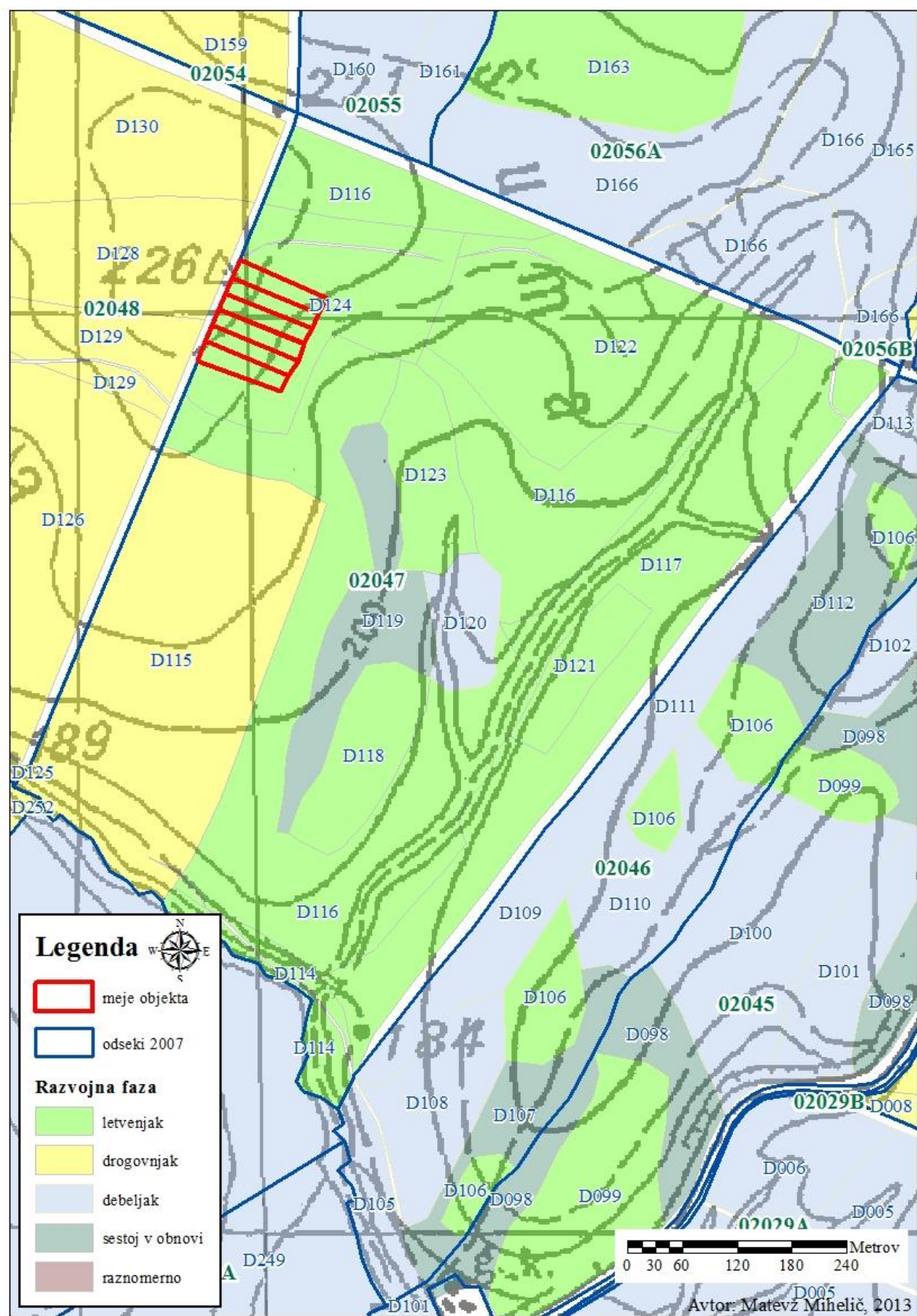
3.7.6 Poskusni objekt Bukovje

Poskusni objekt se nahaja v gozdnogospodarskem območju Murska Sobota v gospodarski enoti Goričko obrobje, oddelek 47. Klima v enoti je subpanonska, količina letnih padavin je le 815 mm na leto, kar je najmanj v Sloveniji. Odsek 47 leži na ravnini, z naklonom do 3 % in ima gladek do valovit relief. Površina odseka znaša 50,3 ha. Kamnitosti ali skalovitosti ni (Gozdnogospodarski, 2003). Odsek v celoti zavzema gozdna združba *Castaneo sativae-Fagetum*, oziroma združba bukve in pravega kostanja (Marinček in sod., 2002). Sestoji so zaradi preteklega načina gospodarjenja spremenjeni (31 do 70 %), saj se je gozd razvil na nekdanjih kmetijskih površinah. Danes v odseku prevladuje bukev v fazi drogovnjaka, gozd je enodoben, bukev in hrast pa sta v 6. tarifnem razredu (Gozdnogospodarski, 2003).

Matična podlaga na objektu so terciarni sedimenti, mestoma prekriti s pliocenskimi peščenjaki in terasastimi prodi. Tla na širšem območju sestavlja pobočni, srednje globok distrični psevdoglej v 80 %, ostalo pa zavzemajo distrična rjava tla na pliocenskih nanosih (Pedološka, 2007).

Poskusni objekt je del sestoja D124. Sestoj ima površino 4,37 ha, razvojna faza so drogovnjaki z dobro zasnovano in tesnim sklepom (Sestoji, 2008).

Popis vseh dreves na linijah so izvedli zaposleni Zavoda za gozdove Slovenije. Tudi na tem objektu smo znotraj sečnih poti postavili svoje ploskve velikosti 25×18 m, na katerih smo izvedli popolno premerbo odkazanih dreves, prav tako pa smo na drevesa napisali prsne premere zaradi ugotavljanja učinkov strojne sečnje.



Slika 32: Prikaz situacije objekta Bukovje

Poskusni objekt ima površino 1,18 ha. Celotna dolžina sečnih poti na objektu znaša 583 m, objekt pa odpira 919 m dolga vlaka. Povprečna odprtost objekta tako znaša 677 m/ha, od tega je odprtost z vlakami 183 m/ha, odprtost s sečnimi potmi pa znaša 494 m/ha.

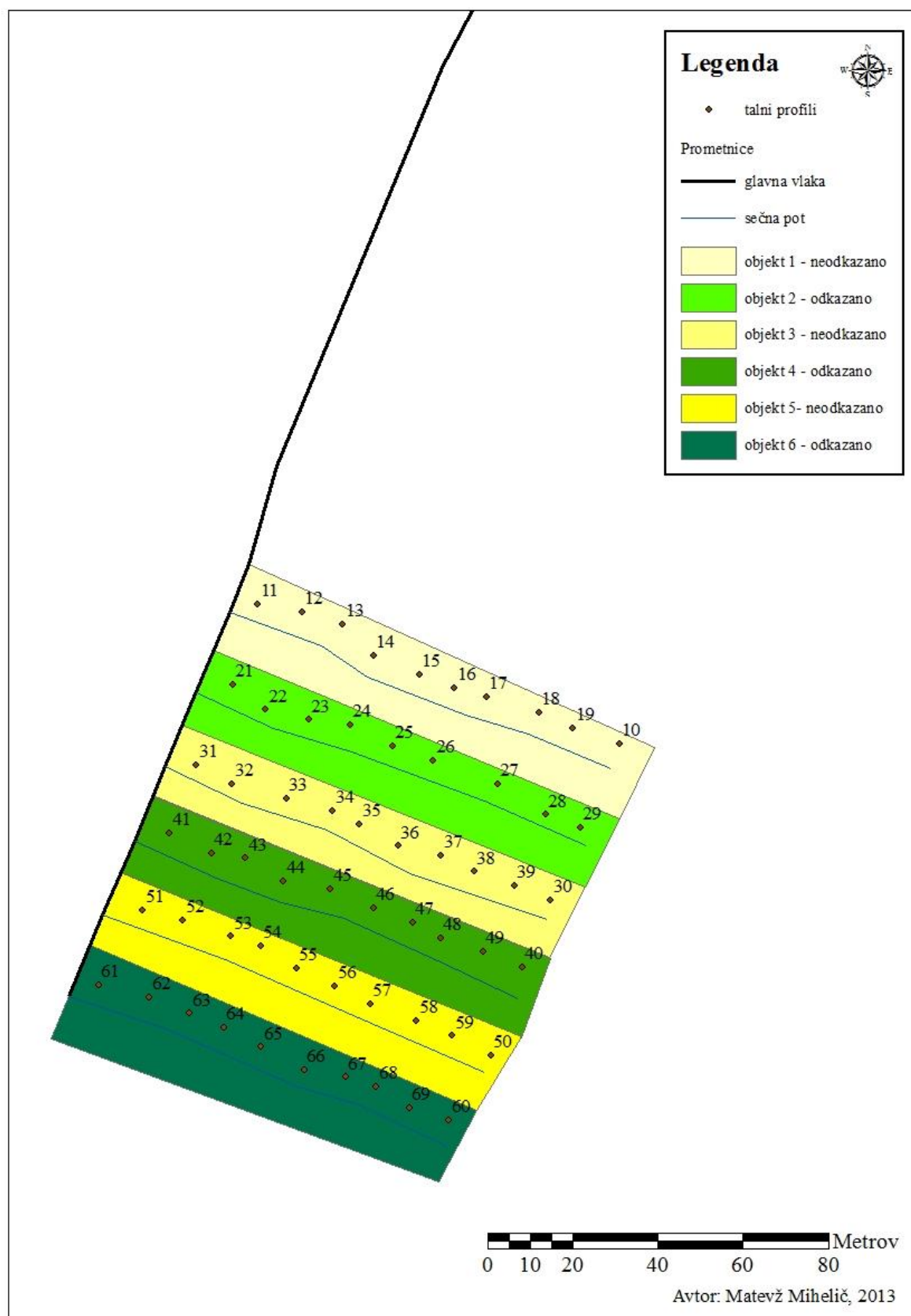
Ob vsaki predvideni sečni poti smo pred sečnjo na razdalji 10 m postavili količke, ki so določali mesto merjenja prečnih profilov. Vsak količek je bil oštevilčen, prva številka je pomenila številko linije druga pa številko profila v liniji. Meritve profilov smo opravili po sečnji in nato še po spravilu.

Kot v poskusu na Osankarici smo tudi tukaj ugotavljali nosilnost tal in vlažnost tal med delom stroja za sečnjo, prav tako je potekal odvzem talnih vzorcev za ugotavljanje vlažnosti tal s strani raziskovalcev GIS. Na tem objektu so uporabili kopeckijeve cilindre s prostornino 100 cm³. Odvzeli so 2 krat po 28 vzorcev, od tega na linijah 1, 2, 3 in 6 po 2 para vzorcev, na linijah 4 in 5 pa po tri pare vzorcev.

Vse robne točke ploskev in vsa mesta količkov smo posneli z GPS instrumentom znamke Trimble, model GeoXT.

Sečnja in spravilo sta se izvajala z istimi stroji kot na Osankarici. Sečnjo je opravljal isti strojnik kot na Osankarici, stroj za spravilo je celoten čas upravljal starejši strojnik. Celoten čas poskusa v Bukovju sta stroja delala brez nameščenih kolesnih verig ali verig v obliki gosenic.

Gostota dreves na objektu po opravljenem delu je znašala 1875 dreves/ha. Gostoto smo ugotovili iz popisa vseh dreves na ploskvah. Iz ploskev smo ugotovili tudi gostoto dreves na objektu pred posegom in sicer tako, da smo vsem drevesom na ploskvi prišteli še vse popisane nove panje. Gostota dreves pred posegom je znašala 2401 dreves/ha. Na objektu smo ugotavljali poškodbe dreves v sestoji na 23,9 % odstotka površine. Temeljnica po posegu na objektu znaša 20,87 m²/ha. Gostoto in temeljnico smo ugotovili iz popisa vseh dreves na ploskvah. Temeljnica je bila ugotavljana iz popisanih dreves v sestoji, katerim smo izmerili tudi prsni premer (skupaj s skorjo). Povprečni prsni premer sestoja po opravljenem posegu je znašal 10,3 cm.



Slika 33: Objekt Bukovje; Prikaz prometnic, objekta in lokacij talnih profilov

Delo na objektu, predvsem strojna sečnja, je potekala z velikimi zapleti, kljub temu da so bile razmere ugodne. Strojelomi so bili stalnica predvsem prvi dan, ko so dvakrat počile hidravlične cevi. Le-te je potrebno zamenjati, doliti olje ter pobrati z oljem kontaminirano prst ter jo odpeljati na odpad. Poleg tega se je konec dneva poškodoval še glavni električni kabel za glavo. Strojelomi niso bili direktna krivda strojnika, temveč posledica utrujenega materiala in nesrečnih okoliščin. Posledica strojelomov je tudi dejstvo, da je strojnik v prvem dnevu uspel posekati le eno sečno pot (št. 6). Naslednji dan je delo potekalo le z manjšimi zastoji, ki so bili posledica težav z mečem, ki se je večkrat snel. Zaradi težav z mečem je strojnik na zadnji posekani sečni poti (št. 1) nekoliko prilagodil tehniko dela in manjših podmerskih dreves ni več odrezoval, temveč jih je ruval in šele nato prežagoval na manjše kose.

Delo z zgibnim polprikoličarjem je potekalo brez večjih strojelomov. Težave je zaradi velikega naklona povzročala sečna pot 1, na sečni poti 3 pa se je zaradi nekoliko nerodne postavitve sečne poti po grebenu stroj zataknil ob drevo, kar je zahtevalo posredovanje stroja za sečnjo. Ker je bila sečna pot za polprikoličar neustrezna, je stroj za sečnjo sortimente, ki so ostali pod točko, na kateri je obtičal polprikoličar, s sečno glavo prenesel nad problematično mesto. Ta tudi razloži večje število prehodov stroja za sečnjo na tej sečni poti. Strojnik v zgibnem polprikoličarju je celoten čas časovne študije namenoma delal počasi, s preveč skrbi za urejen tovor, prav tako je skoraj celoten čas (razen dveh ciklov) po glavni vlaki vozil v počasni prestavi, namesto da bi uporabil hitro prestavo, kar je pri prazni vožnji stalna praksa.

Razmere za delo so bile v času poskusa ugodne, vreme je bilo skoraj ves čas sončno. Minimalna temperatura na objektu merjena zjutraj ob 7:00 je znašala 17 °C, maksimalna pa 19 °C, najvišja dnevna temperatura (ob 14:00) je znašala 25 °C, najnižja pa 11 °C. Povprečna zračna vlažnost je nihala med 75 in 94 %.



Slika 34: Objekt Bukovje; Prikaz ploskev za ugotavljanje poškodb dreves

3.7.7 Poskusni objekt Mozelski Šahen

Poskusni objekt na katerem smo izvajali časovne študije zgibnih polprikoličarjev je del odseka 39A, s krajevnim imenom Mozelski Šahen. Prikazujemo ga na sliki 35. Odsek 39 je del kočevskega gozdnogospodarskega območja. Površina odseka je 14,25 ha, povprečni naklon v odseku znaša 5 %, kamnitost 5 %, skalovitost pa 10 %. Gozd v odseku spada v kategorijo večnamenskih gozdov, ki so bili v preteklosti izmenjani. Odsek je primeren za traktorsko spravilo in je odprt v 90 %, povprečna pravilna razdalja pa znaša 450 m (Odseki, 2007). Odsek v celoti zavzema gozdna združba *Asperulo odoratae* – *Carpinetum betuli*, oziroma drugotna združba navadnega gabra in dišeče lakote (Marinček in sod., 2002).

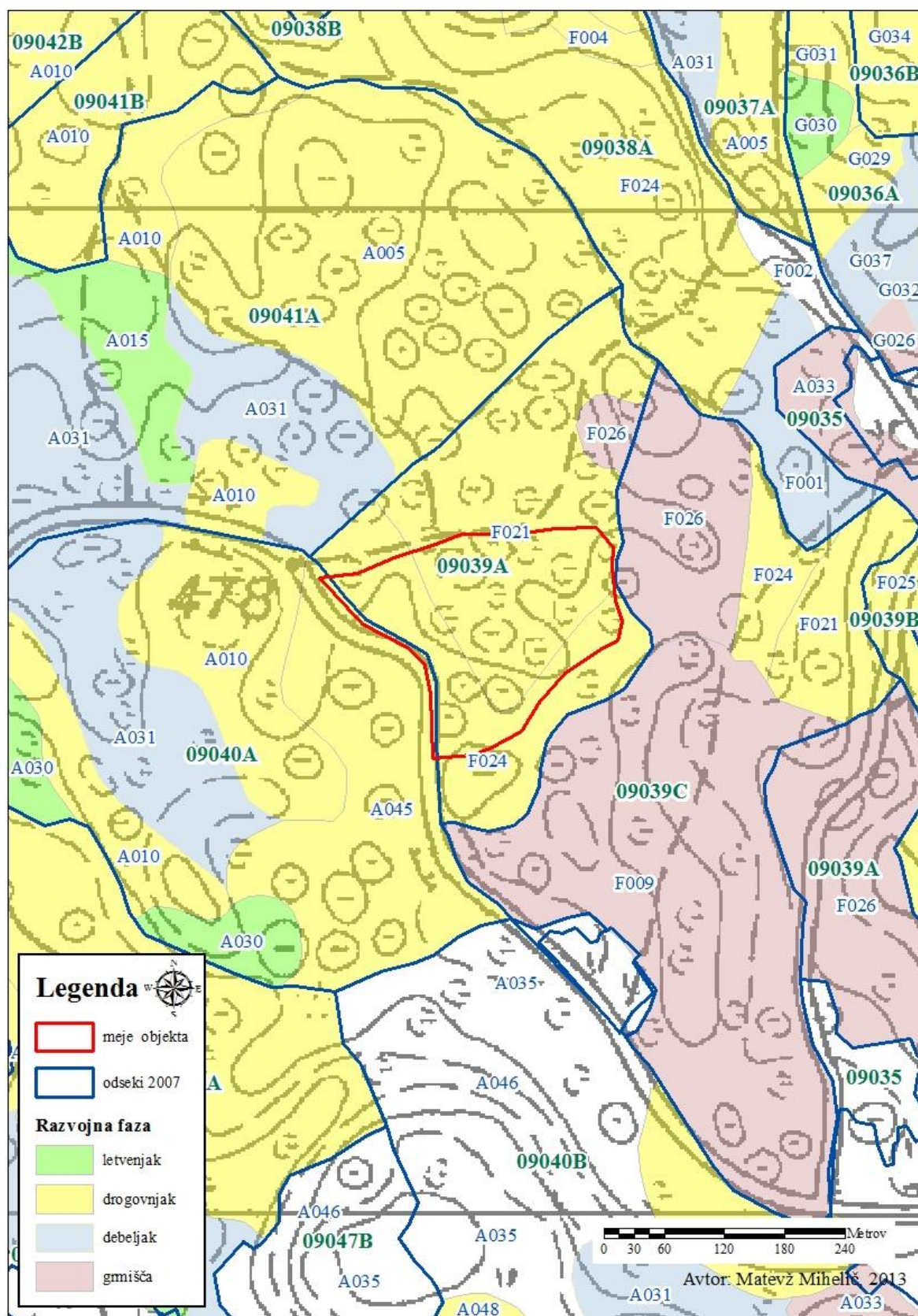
Matična podlaga na objektu je mešanica apnenca in dolomita. Tla na objektu so v večjem delu rjava pokarbonatna tla. V nekaterih delih so izprana, pojavljajo se tudi sprsteninaste rendzine. Po FAO klasifikaciji bi ta tla lahko uvrstili v tip kromičnega kambisola (Pedološka, 2007).

Poskusni objekt je del sestojev F21 in F24 (slika 35). Sestoj F21 ima površino 5,7 ha, sestoj F24 pa 3,4 ha. Oba sestoja sestavljajo drogovnjaki z dobro zasnovno in normalnim do rahlim sklepom. Lesna zaloga v sestoju F21 je 241,6 m³/ha smreke, 2,4 m³/ha bukve in 4,9 m³/ha belega gabra. V sestoju F24 pa znaša lesna zaloga 367,7 m³/ha smreke, 3,8 m³/ha bukve, 3,8 m³/ha gradna in 3,8 m³/ha belega gabra. Govorimo torej o iglastih sestojih s primesjo listavcev, kar je posledica preteklega gospodarjenja (Sestoji, 2008).

Povzetek odkazila opravljenega v Mozelskem Šahnu prikazujemo v preglednici 41. Odkazilo je bilo redno in opravljeno pred sečnjo. V strukturi odkazila močno prevladujejo iglavci, pretežno smreka z manjšo primesjo rdečega bora. Povprečen volumen bruto odkazanega drevesa je znašal 0,93 m³. Gostota odkazila, glede na površino odseka znaša 76 m³/ha. Tarifa za smreko v oddelku je bila 32, za listavce pa 30.

Preglednica 41: Povzetek odkazila v oddelku 39A

Odkazana drevesa v odseku 39A	Število [n]	Bruto volumen [m ³]	Neto volumen [m ³]	Bruto volumen povprečno odkazanega drevesa [m ³ /drevo]	Neto volumen povprečno odkazanega drevesa [m ³ /drevo]
Iglavci	2056	1987	1689	0,97	0,82
Listavci	236	142	123	0,60	0,52
Skupaj	2292	2129	1813	0,93	0,67

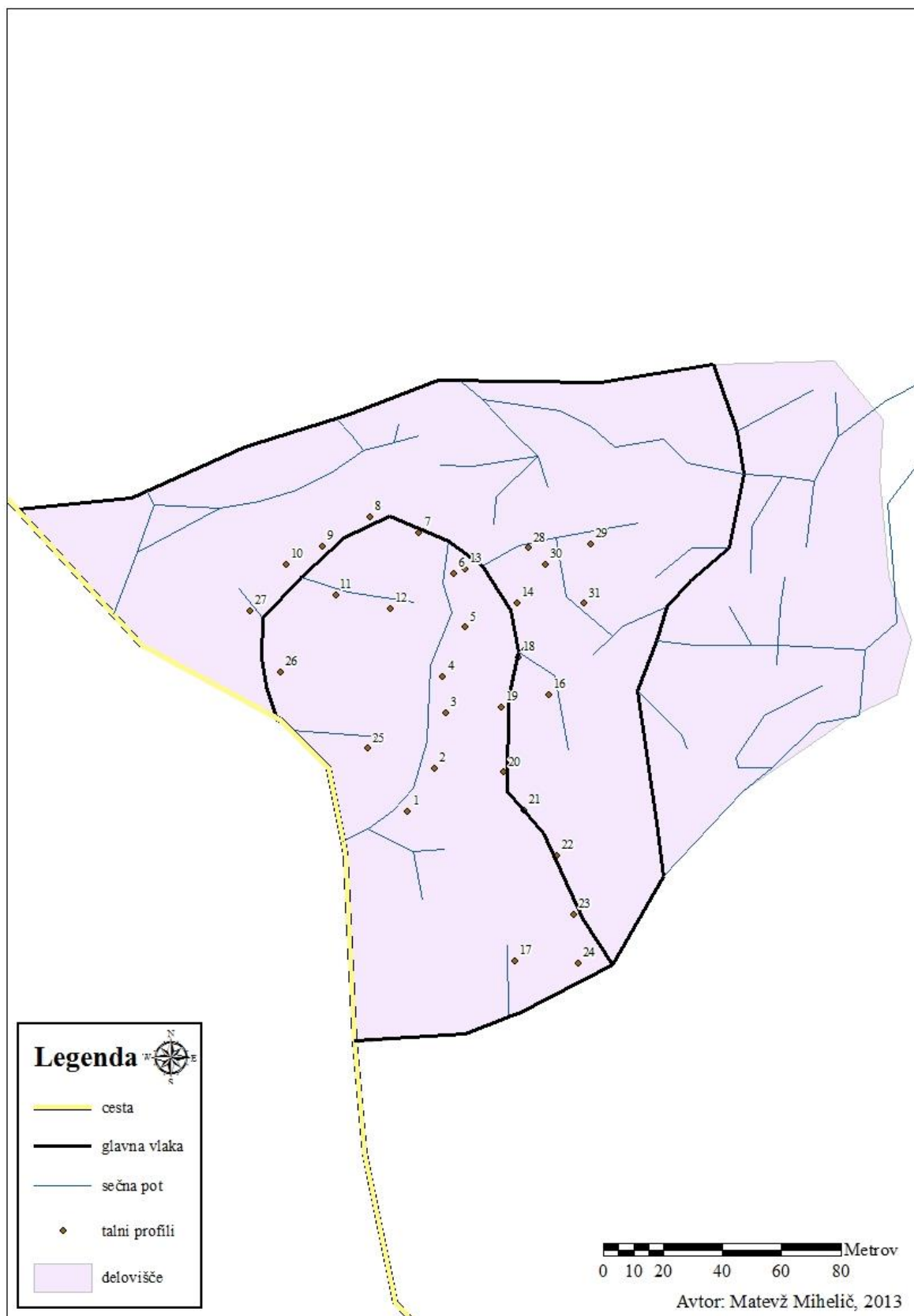


Slika 35: Situacija objekta Mozelski Šahen

Gostota dreves na objektu po opravljenem delu je znašala 643 dreves/ha. Iz ploskev smo ugotovili tudi gostoto dreves na objektu pred posegom in sicer tako, da smo vsem drevesom na ploskvi prišteli še vse popisane nove panje. Gostota dreves pred posegom je znašala 783 dreves/ha. Na objektu smo ploskve sestoj vzorčili na 4,03 % odstotka površine. Temeljnica po posegu na objektu znaša 36,11 m²/ha. Gostoto in temeljnico smo ugotovili iz popisa vseh dreves na ploskvah. Temeljnica je bila ugotovljena iz popisanih dreves v sestoji, katerim smo izmerili tudi prsni premer (skupaj s skorjo). Povprečni prsni premer v sestoji pred sečnjo je znašal 24,2 cm, po sečnji pa 24,4 cm. Povprečni prsni premer pred sečnjo smo ugotovili tako, da smo iz razmerja med premerom in korenovcem stojećih dreves ugotovili funkcijo in nato iz premera korenovca podrtih dreves sklepali na prsni premer.

Delo na objektu je potekalo v maju in juniju 2011. Po izbiri objekta, ki smo jo izvedli skupaj z gozdnim gospodarstvom, je sledila priprava objekta na strojno sečnjo. V delu objekta smo zaradi ugotavljanja učinkov strojne sečnje na debela napisali premere.

Sečnjo in spravilo na objektu je opravljalo Gozdarstvo Grča s strojem za sečnjo John Deere 1470D Eco3 ter zgibnim polprikoličarjem John Deere 1410D. Stroja sta bila v času poskusa stara tri leta. Sečnja je potekala relativno hitro, z enim večjim zastojem. Organizacija dela in delavcev je bila dvoizmenska. Prvi delavec je delal od 6:00 do 14:00, drugi pa od 14:00 do 20:00. Delo s strojem za sečnjo je bilo opravljeno v enem dnevu – 2. junij 2011. Celotno sečnjo smo nameravali opraviti z enim strojnikom, a zaradi strojeloma to ni bilo mogoče, saj so popravila vzela več kot tri ure časa. Počila je hidravlična cev. Stroj za sečnjo je delo na objektu opravil brez gosenic na sprednjih dveh kolesih, le na zadnjem kolesu je imel montirane verige. Zgibni polprikoličar je imel na zadnjih dveh kolesih montirane gosenice, na sprednjih dveh pa verige.



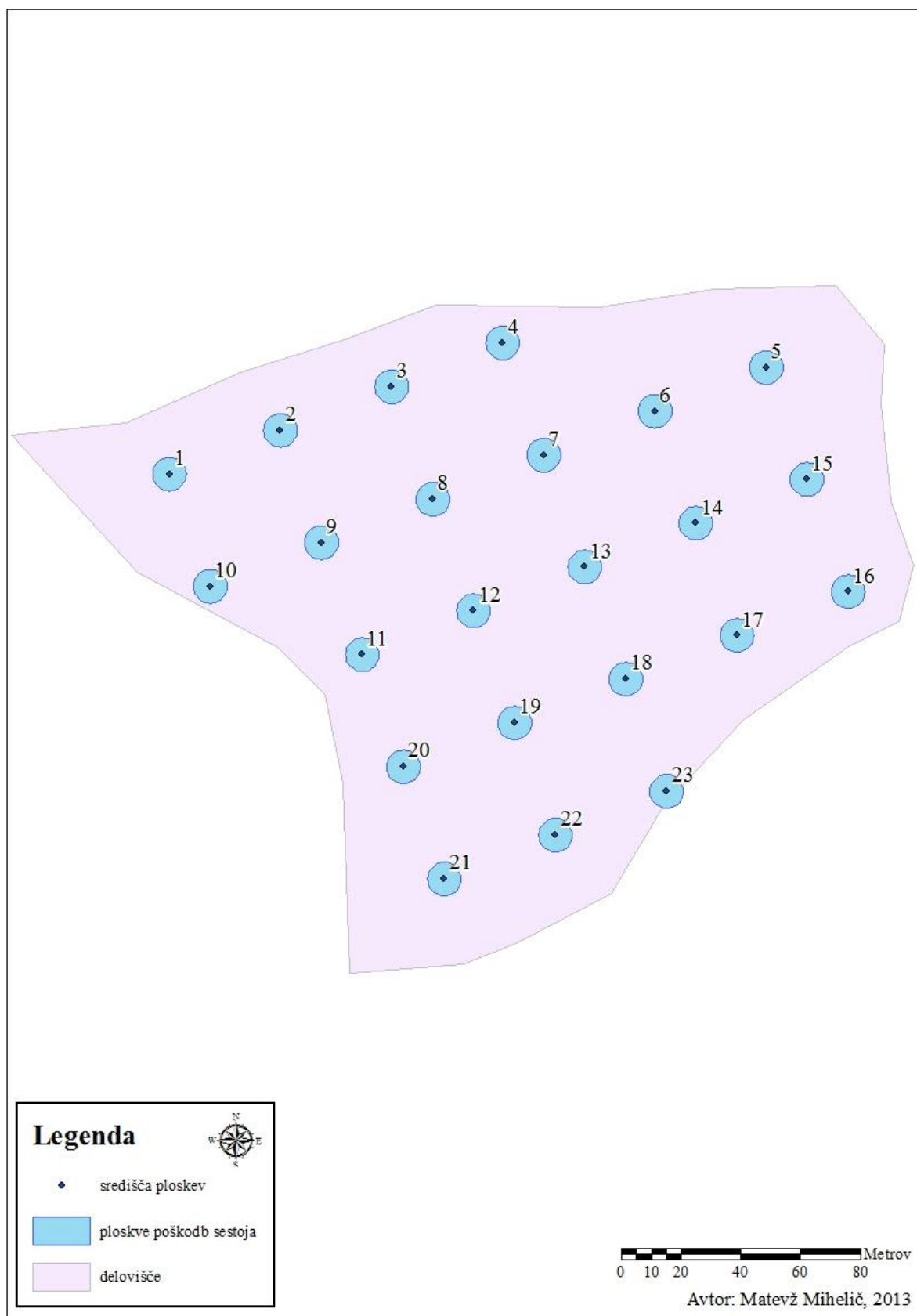
Slika 36: Objekt Mozelski Šahen; Prikaz gozdnih prometnic in talnih profilov

Sprednje pnevmatike na stroju za sečnjo so bile dimenzij 650×26,5, zadnje pa 700×34. Zgibni polprikoličar je imel vse pnevmatike dimenzij 600×26,5.

Med strojnikoma se pojavljajo razlike kljub temu, da oba že tri leta delata na tem stroju. Prvi strojnik, ki je delal od 7:00 do 11:30, je delal slabše in počasneje kot drugi strojnik, ki je delal od 17:00 do 19:00. Pri delu prvega strojnika je bilo problematično predvsem izpuščanje odkazanih dreves kljub temu, da so bila vidna, prav tako pa je slabo sortiral surovino – hlode, brusni in celulozni les je redno dajal na isti kup in tako povzročil nemalo težav pri spravilu lesa. Prav tako je prvi strojnik pokazal malo skrbi za poškodbe drevja.

Po opravljeni sečnji je sledilo delo z zgibnim polprikoličarjem. Pred prihodom le-tega pa je bilo potrebno zabiti količke in nato opraviti meritve talnih profilov. Vlažnost in nosilnost tal smo ugotavljali med delom stroja za sečnjo. Delo z gibnega polprikoličarja se je začelo v petek, 3. junija 2011 ob 8:00, s prvim strojnikom in je trajalo do 13:30 istega dne. Drugi strojnik je začel delo opravljati v ponedeljek, 6. junija 2011 ob 7:00, končal pa je ob 12:00. Prvi strojnik je bil relativno neizkušen, saj je na stroju delal le pol leta, medtem ko je bil drugi strojnik bolj izkušen, saj na stroju dela že več kot tri leta. Kakovost in hitrost dela sta bila usklajena z stažem delavcev. Prvi delavec se je zelo trudil delati hitro, a so njegovi učinki še zmeraj precej nižji od drugega strojnika. Imel je precej težav zaradi nesortiranih sortimentov in naredil veliko nepotrebnih premikov po sečnih poteh. Prav tako se je s hidravličnim dvigalom ali sortimenti velikokrat dotaknil stoječega drevja in ga tudi poškodoval. Drugi strojnik je delal umirjeno a zelo usklajeno in hitro. Prikazal je zelo suvereno obvladovanje hidravličnega dvigala in stroja. Za njegovo tehniko dela je značilno večje število majhnih premikov med nakladanjem lesa, kjer izvaja fino pozicioniranje stroja skupaj z hkratnimi premiki hidravličnega dvigala. Oba strojnika sta sortimente sortirala v gozdu. Večina ciklov je bila sestavljena iz kombinacije različnih sortimentov, ciklov s čistim tovorom enega samega sortimenta je bilo zelo malo.

Vreme v času poskusov je bilo zelo spremenljivo, temperatura pa med 17 in 22 °C. Delo na objektu so vse dni spremljale plohe in nevihte, tla so bila ves čas razmočena.



Slika 37: Objekt Mozelski Šahen; Prikaz ploskev za ugotavljanje poškodb dreves

3.7.8 Poskusni objekt Vetrih (Mislinja)

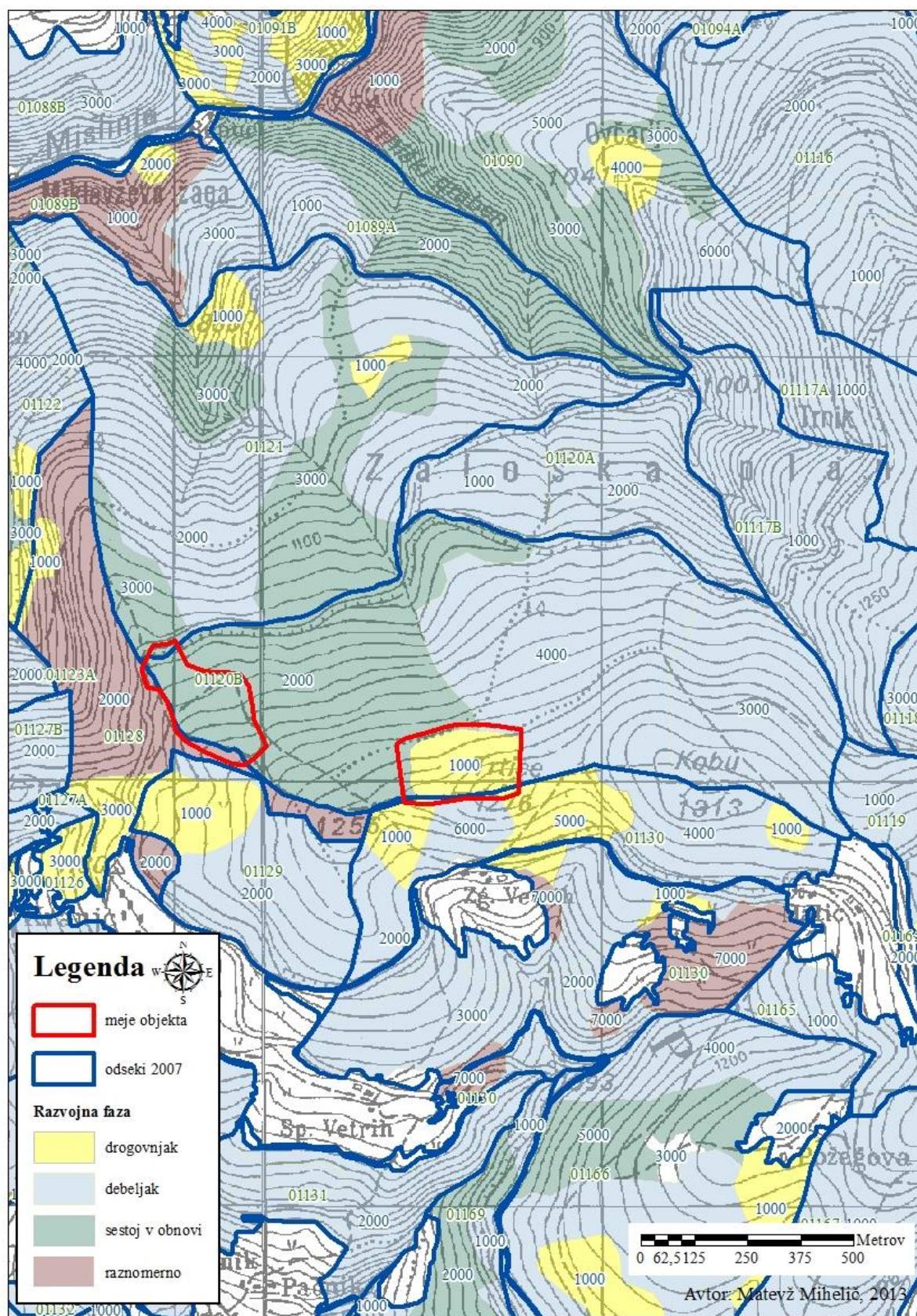
Poskusni objekt se nahaja v gozdnogospodarski enoti Mislinja, v odseku 112B, s krajevnim imenom Zaloh. Odsek je del gozdnogospodarskega območja Slovenj Gradec. Površina odseka je 76,78 ha, povprečni naklon v odseku znaša 20 %, kamnitosti in skalovitosti ni. Relief je valovit. Odsek spada v gospodarski razred visokogorski smrekovi gozdovi. Spravilno sredstvo je traktor, odprtost je 100 %, povprečna spravilna razdalja pa znaša 400 m (Odseki, 2007). V odseku sta pomembni dve gozdni združbi: *Luzulo sylvaticae* – *Piceetum*, zastopan z 71 % ter *Luzulo albidae* – *Piceetum* z 29 % (Marinček in sod., 2002).

Matična podlaga na objektu je biotitno-muskovitni blestnik. Tla na objektu so v 60 % srednje globoka distrična rjava tla, v 30 % pa rankerji. Po FAO klasifikaciji ta tla uvrščamo v tip distričnega kambisola (Pedološka, 2007).

Poskusni objekt, kjer smo izvajali strojno sečnjo, je del sestoja 1000. Objekt, kjer smo uporabljali tehnologijo dolgega lesa, je del sestoja 2000. Sestoj 1000 je v razvoji fazi letvenjaka s tesnim sklepom in površino 3,6 ha, sestoj 2000 pa je v razvojni fazi debeljaka z normalnim sklepom in površino 28,9 ha. Lesna zaloga v sestoj 1000 je 333 m³/ha iglavcev, predvsem smreke brez primesi listavcev. V sestoj 2000 znaša lesna zaloga 420 m³/ha iglavcev, predvsem smreke in 14 m³/ha bukve. Govorimo torej o skoraj čistih smrekovih sestojih s primesjo listavcev, kar je posledica preteklega gospodarjenja (Sestoji, 2008).

Preglednica 42: Povzetek odkazila v oddelku 112B (Odkazilni, 2012)

Odkazana drevesa v odseku 112B	Število [n]	Bruto volumen [m ³]	Neto volumen [m ³]	Bruto volumen povprečno odkazanega drevesa [m ³ /drevo]	Neto volumen povprečno odkazanega drevesa [m ³ /drevo]
Sestoj 1000 – iglavci	567	194	165	0,34	0,28
Sestoj 2000 – iglavci	75	90	76	1,2	1,01



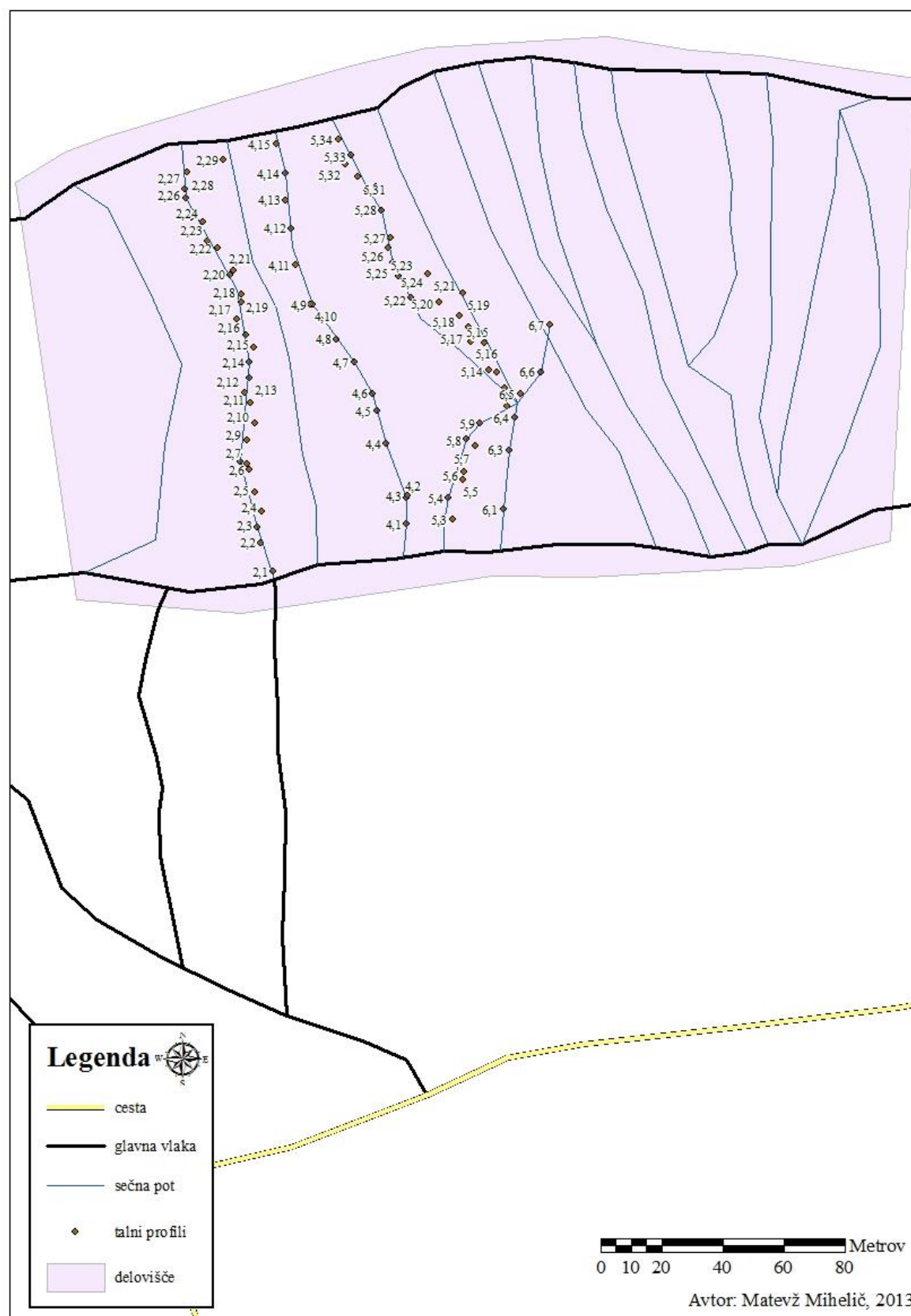
Slika 38: Pregledna karta objekta Vetrih

Na objektu, kjer smo izvajali strojno sečnjo je bila gostota dreves pred delom 813 dreves/ha, po opravljenem delu pa je znašala 613 dreves/ha. Gostoto smo ugotovili iz prsnih premerov in popisanih panjev. Na objektu smo ploskve sestoja vzorčili na 10,36 % površine. Temeljnica pred posegom je znašala 29,64 m²/ha po posegu pa 24,01 m²/ha. Gostoto in temeljnico smo ugotovili iz popisa vseh dreves na ploskvah. Temeljnica je bila ugotovljena iz popisanih dreves v sestoji, katerim smo izmerili tudi prsni premer (skupaj s skorjo). Povprečni prsni premer v sestoji pred sečnjo je znašal 24,7 cm, po sečnji pa 26,6 cm.

Na objektu, kjer smo izvajali spravilo s sedlastim traktorjem, je bila gostota dreves pred delom 439 dreves/ha, po opravljenem delu pa je znašala 351 dreves/ha. Gostoto smo ugotovili iz prsnih premerov in popisanih panjev. Na objektu smo izvedli popolno premerbo na ploskvi. Temeljnica pred posegom na objektu je merila 36,8 m²/ha, po posegu pa je padla na 36,11 m²/ha. Gostoto in temeljnico smo ugotovili iz popisa vseh dreves na ploskvah. Temeljnica je bila ugotovljena iz popisanih dreves v sestoji, katerim smo izmerili tudi prsni premer (skupaj s skorjo). Povprečni prsni premer v sestoji pred sečnjo je znašal 29,8 cm, po sečnji pa 30,8 cm.

Delo na objektu je potekalo v juniju 2012. Po izbiri objekta, ki so jo izvedli na Gozdnem gospodarstvu Slovenj Gradec, je sledila priprava objekta na strojno sečnjo. V obeh delih objekta smo zaradi ugotavljanja učinkov strojne sečnje na debela napisali premere.

Sečnjo in spravilo na objektu je opravljalo podjetje Gozdno gospodarstvo Slovenj Gradec d. d. s kombiniranim strojem za sečnjo in spravilo HSM 805F. Organizacija dela in delavcev je bila enoizemska. Na stroju je delal samo en strojnik, delavnik je bil od 6:00 do 15:00. Stroj je bil v času poskusa star eno leto. Strojnik na stroju za sečnjo ni bil izurjen. Drevesa s prsnim premerom nad 25 cm so povzročala manjše težave, drevesa s prsnim premerom nad 30 cm pa večje. Stroj za sečnjo je delal cel prvi in še del drugega snemalnega dne (5 ur). Nato smo stroj »predelali« v zgibni polprikoličar, ki je les spravil v dnevno in pol. Stojnik je bil navajen dela z zgibnim polprikoličarjem. Na stroju pri delu ni bilo nameščenih goseničnih niti navadnih verig. Na spodnji sliki prikazujemo situacijo prometnic in lokacije ter številke količkov za ugotavljanje talnih profilov.



Slika 39: Situacija objekta, kjer smo izvajali strojno sečnjo, prometnic ter lokacije profilov

V drugem delu poskusa smo delali s kombinirano ročno – strojno sečnjo v debeljaku in starejšem drogovnjaku. Sečnja je trajala 1 cel delovnik ter 3 ure drugega dne. Stroj za sečnjo je drevesa, katera je dosegel, sam podrl, klestil in zložil ob vlako. Ostalo drevje so proti vlaki usmerjeno podirali sekači, stroj pa jih je nato s hidravličnim dvigalom potegnil k vlaki, oklestil in pripravil za spravilo. Delo je bilo tekoče, zaznamovalo pa ga je več skorajšnjih nesreč, zaradi prisotnosti sekačev na delovišču.

Strojnik ni bil izkušen z delom v dolgem lesu, zato so bile poškodbe na drevesih v sestoju večje, saj se je z drevesi pogosto dotikal stoječih dreves. Sistem dolgega lesa v taki obliki in intenziteti ni primeren za redčenja v razvojni fazi drogovnjaka, saj je strojnik zaradi pomanjkanja prostora veliko časa porabil za manipulacijo debel.

Sledilo je spravilo s sedlastim traktorjem. Tudi tu so bile večje težave z neizkušenostjo strojnika. Večkrat se je namreč zgodilo, da je tovor zdrsnil iz sedla, kar je zmanjšalo učinke. Najverjetnejši razlog za to je bilo napačno zlaganje tovara.

Vzporedno s časovnimi študijami smo ugotavljali tudi poškodbe tal po že prej opisani metodi. Na delovišču smo izmerili tudi konusni indeks in vlažnost tal.

Poškodbe dreves smo na objektu, kjer smo izvajali strojno sečnjo, ugotavljali z metodo krožnih ploskev. Sistematično smo postavili 31 ploskev in tako vzorčili na 10,3 % površine objekta. Na delu objekta, kjer smo izvajali traktorsko spravilo, smo poškodbe dreves ugotavljali z metodo popolne izmere na ploskvi.

3.7.9 Poskusni objekt Ljubelj

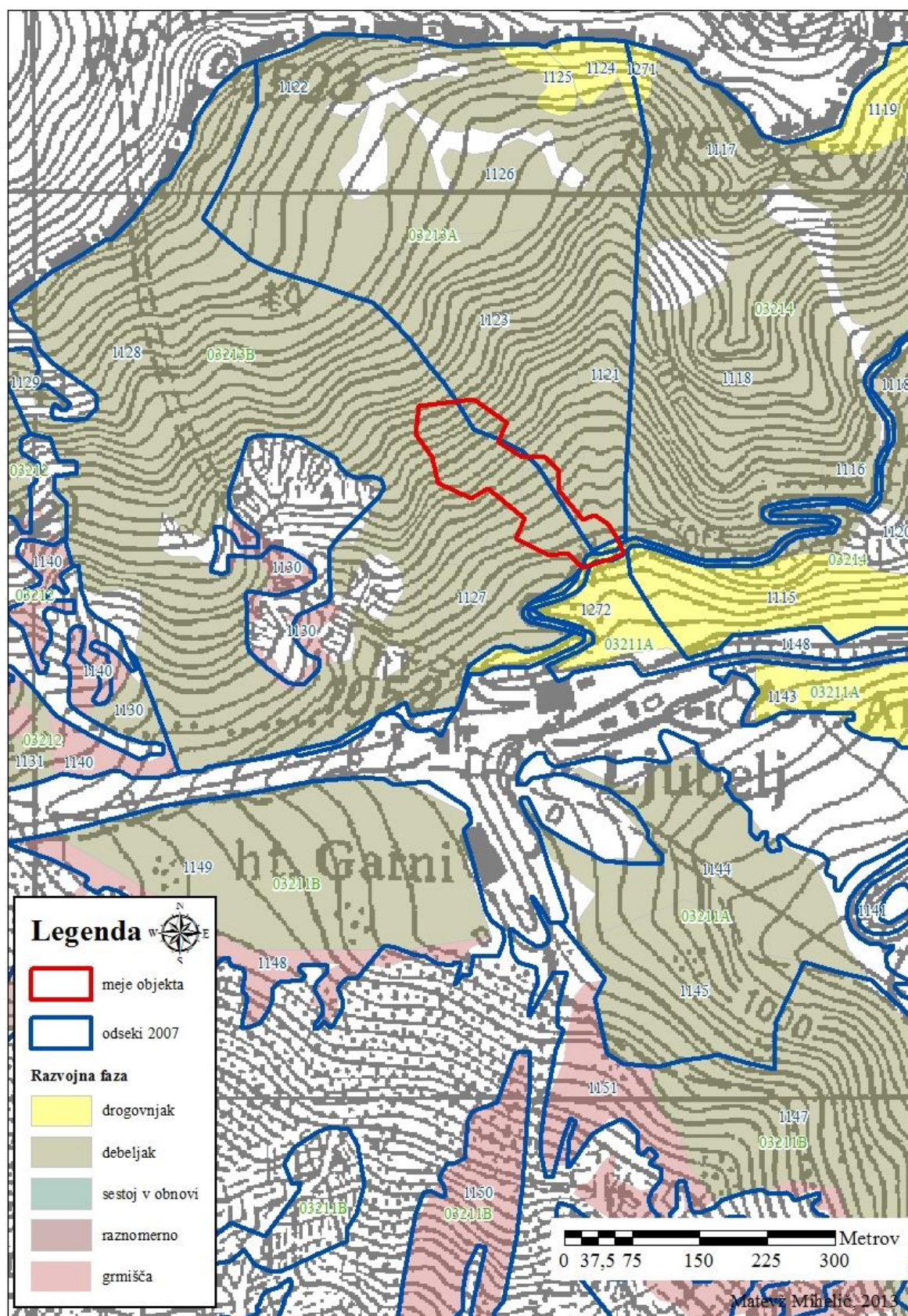
Poskusni objekt se nahaja v gozdnogospodarski enoti Tržič, v odseku 3213B. Odsek je del gozdnogospodarskega območja Kranj. Površina odseka, ki leži na pobočju, je 22,42 ha, povprečni naklon znaša 35 %, kamnitost je 30 %, skalovitost pa 35 %. Spravilno sredstvo je žični žerjav, odprtost je 80 %, povprečna pravilna razdalja pa znaša 450 m. Gozdovi so ohranjeni (Odseki, 2007). V odseku prevladuje gozdna združba dlakavega sleča in navadnega slečnika z rušjem (Marinček in sod., 2002).

Poskusni objekt, je del sestojev 1127 in 1128. Sestoj 1127 je v razvoji fazi debeljaka s tesnim sklepom in površino 3,6 ha, sestoj 1128 pa je v razvojni fazi debeljaka z normalnim sklepom in površino 18,8 ha. Lesna zaloga v sestoju 1127 je 127,8 m³/ha smreke, 42,8 m³/ha macesna in 159,2 m³/ha bukke. V sestoju 1128 znaša lesna zaloga 137,5 m³/ha smreke, 38,5 m³/ha macesna in 157,9 m³/ha bukke. Govorimo torej o mešanih sestojih smreke, bukke in macesna (Sestoji, 2008).

Matična podlaga na objektu je mešanica apnenca in dolomita. Tla so prhninaste in sprsteninaste rendzine. Po FAO klasifikaciji ta tla uvrščamo v tip rendizičnega leptosola (Pedološka, 2007).

Objekt leži na nadmorski višini med 1150 (cesta in stojišče) in 1336 m (glavno sidro), kar je po nekaterih priporočilih že blizu meje dopustne uporabe drevesne metode, ki pogojuje odstranitev vse nadzemne lesne biomase. Horizontalna dolžina linije je bila 260 m. Na objektu je bilo za sečnjo ob prvem odkazilu označeno 316,23 m³, od tega 151,99 m³ listavcev ter 164,24 m³ iglavcev, vendar je bilo izvedeno še dodatno odkazilo. Ti gozdovi imajo status varovalnih gozdov, saj poraščajo zelo strme in mestoma skalovite terene. Gradnja prometnic je tukaj iz ekonomskega in ekološkega vidika nemogoča. Lega objekta nad obstoječo cesto, omogoča uporabo žičničnega spravila navzdol.

Koncentracija po tekočem metru linije je zanesljiv podatek, saj sta količina odkazanega lesa ter dolžina žičnice natančno znana. Koncentracija je v povprečju za velike žične žerjave s stolpom. Ugotovljena sortimentna struktura na objektu je bila podpovprečna.



Slika 40: Pregledna karta objekta Ljubelj

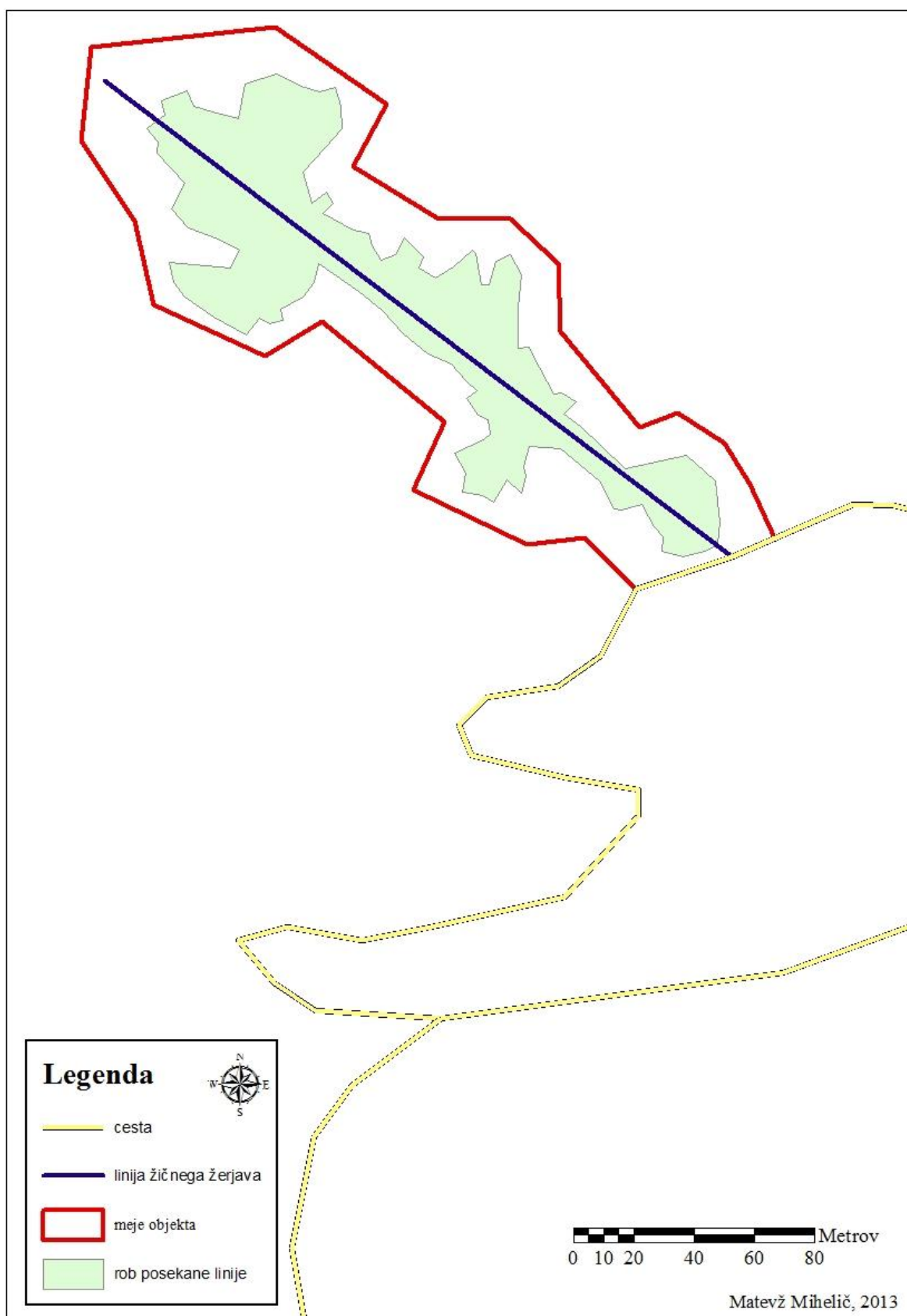
Na objektu smo uporabili drevesno metodo. Izdelovali smo okrogli les. Izdelava sortimentov je potekala ob cesti. Tukaj so na kup zložili tudi sečne ostanke, iz katerih so po koncu spravila izdelali zelene sekance.

Sečnja in izdelava okroglega lesa je potekala z motornimi žagami ter procesorjem v več fazah. V prvi fazi so sekači podrli drevje na trasi in tisto drevje, ki bi kasneje pri podiranju ogrožalo nosilno vrv. V naslednji fazi je potekala sečnja ob hkratnem spravilu lesa, v zadnji fazi pa je potekala dodelava in izdelava sortimentov na kamionski cesti s procesorjem. Sečnja in spravilo lesa je potekalo v organizaciji gospodarske družbe Gozdarstvo Gorenjske d. o. o. Dela so potekala v oktobru in novembru 2011. Snega med delom ni bilo, smo pa zabeležili večje zastoje zaradi dežja.

Poleg motornih žag je bil osnovni stroj, ki ga imenujemo po žičnici, »Syncrofalke« s procesorjem Woody 60 na kamionu in z hidravličnim dvigalom. Proizvajalec žičnega žerjava je podjetje Meyr Melnhof Technik. Osnova za prevoz in delovanje žerjava je tovornjak IVECO 410. Hidravlično dvigalo na stroju je proizvod podjetja LIV, z oznako L25.94N. Dvigalo ima 240 kNm dvizne sile, doseg 6,5 m in kot obračanja 405°. Osnovne podatke o žičnem žerjavu prikazujemo v spodnji preglednici.

Preglednica 43: Osnovni tehnični podatki žičnice Syncrofalke 3 t (Mihelič in Košir, 2011).

Del žičnice	Element žičnice	Element	Enota	Vrednost
Vitli	Nosilna vrv	Dolžina	m	750
		Premier	mm	20
	Vlačilna vrv	Dolžina	m	1700
		Premier	mm	11
	Povratna vrv	Dolžina	m	1700
		Premier	mm	9
	Delovna vrv	Dolžina	m	1700
		Premier	mm	11
	Montažna vrv	Dolžina	m	1900
		Premier	mm	6
Voziček	Sherpa U III	Nosilnost	t	3
		Upravljanje		Daljinsko
		Masa	kg	400
Stolp	Pregibno-teleskopski Štiri sidrne vrvi	Višina	m	11
		Dolžina	m	40
		Premier	mm	18



Slika 41: Situacija trase žičnice z vrisanim robom linije (poseke) in primarnimi ter sekundarnimi prometnicami

Procesor Woody 60 obvladuje premer kleščanja dreves in sortimentov v razponu med 8 in 60 cm. Posebnost procesorja sta dva vgrajena meča z verižno žago. Prvi je daljši, njegov namen je osnovno krojenje sortimentov, drugi meč pa je krajši, njegov namen je odžagovanje vrhov in tanjših delov drevesa. Prisotnost dveh mečev na glavi zmanjša količino manipulacije procesorske glave. Procesor ima tudi možnost dviga potisnih valjev. Na ta način postane procesor sposoben natančnejše manipulacije z lesom in učinkovito deluje kot grabež.

Po končanem spravilu okroglega lesa je podjetje Gajles d. o. o. s sekalnikom Starchl MK74 600 na tovarnjaku izdelalo zelene sekance. Zaradi omejenega prostora na cesti so sekance mleli v dve traktorski prikolici. Le-ti sta sekance odvažali na parkirišče pri mejnem prehodu Ljubelj. Sekance so nato s traktorjem s sprednjim nakladačem nalagali na tovarnjak in odpeljali v toplarno v Svetem Andražu (Avstrija).

Proučevano delovišče je imelo nekoliko drugačno postavitev žičnične linije. Nismo namreč delali klasičnega redčenja, temveč sečnjo v jedrih. Zato smo spremenili metodo ugotavljanja poškodovanosti dreves. Na objektu smo izvajali prilagojeno metodo popolnega popisa. Poškodbe smo ugotavljali tako, da smo popisali vsa drevesa na robu celotnega delovišča. Pas je bil širok 5 m in je segal od roba krošnje ob liniji v preostali sesto. Pri ugotavljanju poškodb posameznih dreves smo ugotavljali enake parametre, kot pri metodi za ugotavljanje poškodb dreves v sestoji pri strojni sečnji

4 REZULTATI

4.1 REZULTATI MODELA BIOPERA

Rezultate modela bomo predstavili v obliki treh tehnologij, katere smo oblikovali na podlagi načina sečnje in spravila lesa:

- tehnologija 1 – ročna sečnja in traktorsko spravilo lesa,
- tehnologija 2 – strojna sečnja in spravilo lesa z zgibnimi polprikoličarji in traktorji,
- tehnologija 3 – ročna ali strojna sečnja in spravilo lesa z žičnim žerjavom.

Vsaka od naštetih tehnologij je predstavnica velikega števila možnih tehnoloških verig. Pravzaprav lahko trdimo, da so tehnologije 1 do 3 nekako skupni imenovalec za veliko število tehnologij, ki se v našem prostoru pojavljajo. Seveda bi bilo možno oblikovati daljši seznam tehnologij ali pa izbrati drugačne kriterije za sestavo tehnologij, a smo se pri izdelavi seznama držali načela, da je uporaba tehnologije pri nas verjetna. Pomemben kriterij je bila tudi dostopnost dobrih podatkov (iz naših raziskav, drugih domačih raziskav ali raziskav iz sosesčine) o učinkih tehnologije in njenem vplivu na okolje.

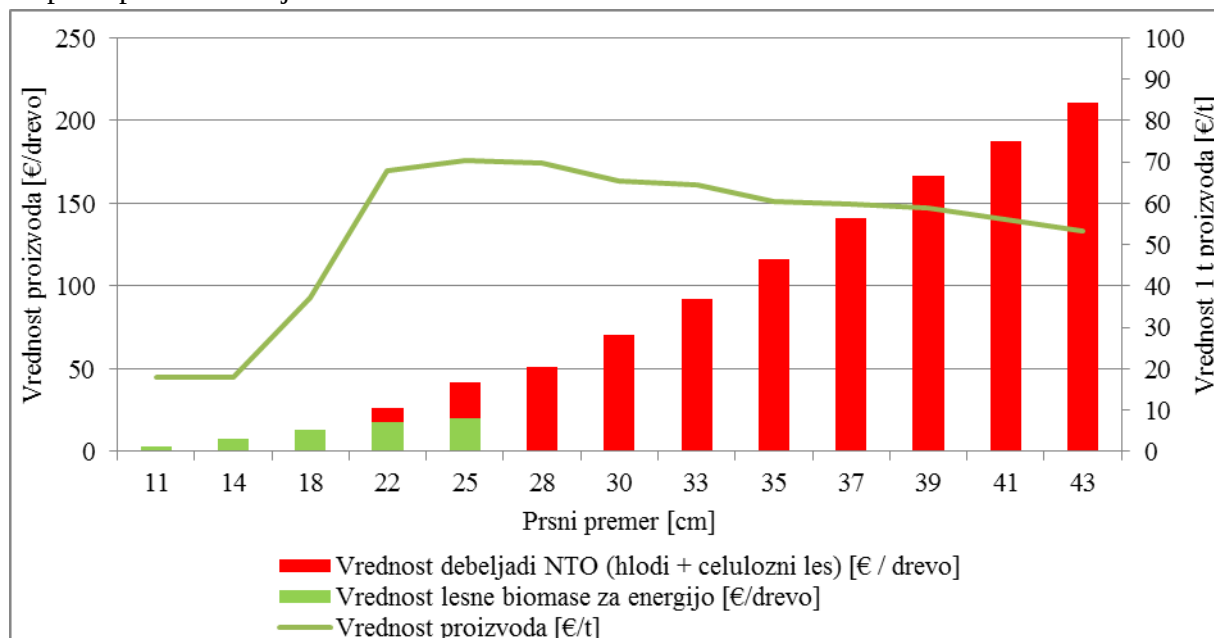
Kot smo že omenili, so zgoraj našteje tehnologije skupni imenovalec za več možnih tehnologij, katere lahko sestavimo iz različnih strojev. Na primeru tehnologije 1 lahko spravilo izvajamo s prilagojenim kmetijskim traktorjem ali specialnim gozdarskim zgibnikom. Uporabimo lahko tudi sedlasti traktor ali pa traktor s kleščami. Pri tehnologiji 2 lahko uporabljamo različne velikosti strojev za sečnjo, spravilo pa izvajamo po tleh s stroji z večjimi močmi (zgibni polprikoličarji, zgibni polprikoličarji s sedlom). Tehnologija 3 temelji predvsem na spravilu z žičnico. Za to tehnologijo smo se odločili zaradi specifik spravila po vrvi, saj ne povzroča zbijanja tal in za delo ne potrebuje sekundarnih prometnic.

V poglavju 3.1.6 smo opisali tri tipe tehnologij (cesta, terminal, gozd ...), vendar tehnologij na terminalu in v gozdu v modelu BIOPERA nismo uporabljali. Razlog za odsotnost tehnologij v gozdu je v pomanjkanju lastnih podatkov za delo sekalnika v gozdu. V Sloveniji sicer imamo stroje, ki bi na ta način lahko delali, a podatkov o takem načinu dela nismo uspeli pridobiti. Pri nas obstaja tudi več podjetij, ki izdelujejo lesno biomaso na terminalu (Lesoj d. o. o., Tisa d. o. o.), a se nobeno od teh podjetij ne ukvarja z izdelavo zelenih sekancev, koncentracija na skladiščih pa je dosežena z drugimi sredstvi (stroške nosi okrogel les). Poleg tega se večina lesne biomase (sekanci, veje) na takšne terminale pripelje s traktorskimi prikolicami, za katere nismo uspeli pridobiti natančnejših podatkov in meritev. Prav tako pa uporaba takšnih rešitev za velik obseg proizvodnje ni primerna.

4.1.1 Tehnologija 1 – ročna sečnja in traktorsko spravilo lesa

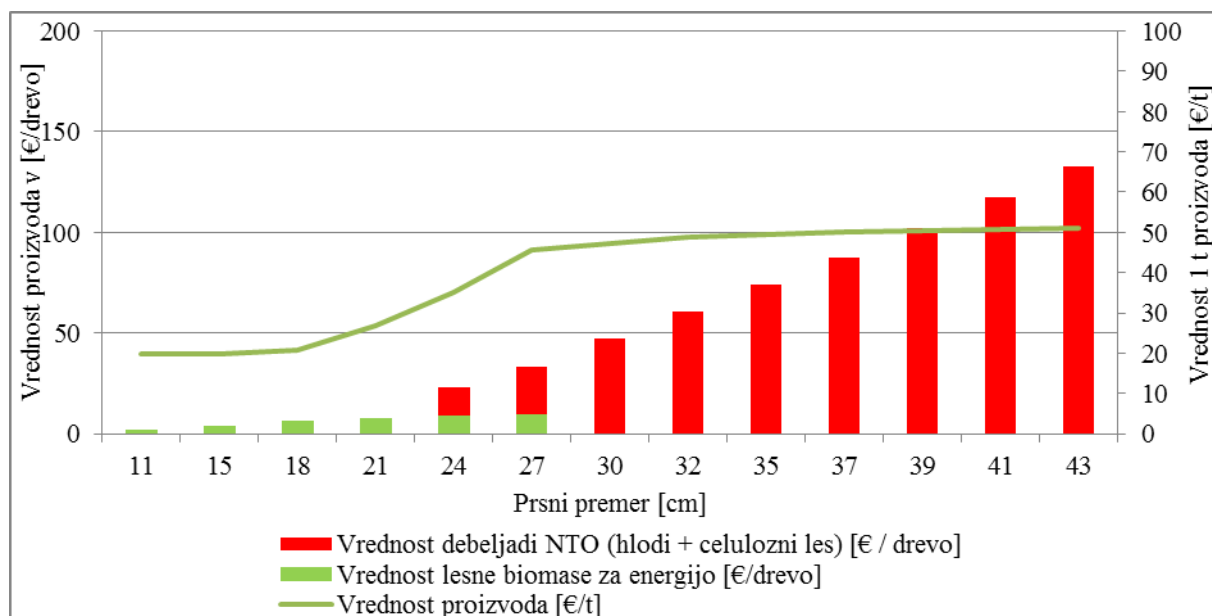
Prva tehnološka veriga je sestavljena iz sečnje z motorno žago in spravila s traktorjem. Trdimo lahko, da je ta tehnologija primerna za velik delež države in da se z njo tudi opravi največ pridobivanja lesa. Tehnologija je cenovno ugodna. Velika prednost te tehnologije je v njeni elastičnosti in posledično neobčutljivosti na pripravo dela, ki je za učinkovito delo potrebna.

Vhodne nastavitve za vrednost lesne biomase v sestoji, ločeno po drevesnih vrstah, prikazujemo na slikah 42 in 43. Na slikah prikazujemo glavne parametre gospodarnosti tehnologij v sestoji, namreč vrednost posameznega drevesa in vrednost 1 t proizvoda, glede na prsni premer sestoja.



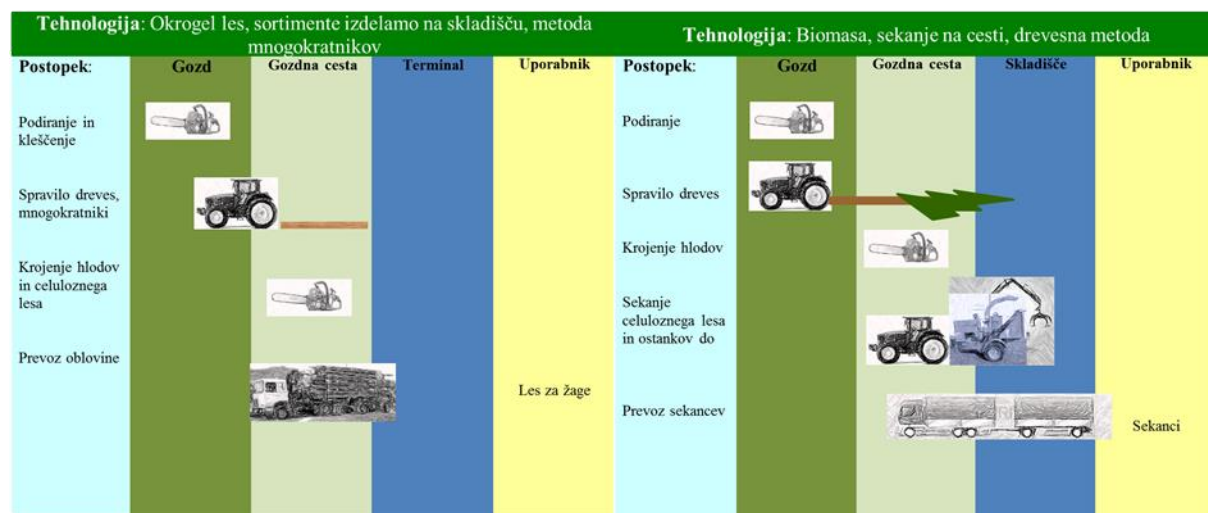
Slika 42: Vrednost drevesa smreke v tehnologiji 1 in 1 t drevesa glede na prsni premer drevesa

Pri tej tehnološki verigi je meja med tehnologijo pridobivanja biomase in tehnologijo okroglega lesa pri prsnem premeru sestoja za smreko 28 cm in za bukev 30 cm. Do tega premera namreč uporabljamo drevesno metodo in hlode odrežemo na skladišču. Od tega premera naprej uporabljamo tehnologijo okroglega lesa, kjer drevo izdelamo v gozdu, iz gozda pa spravljamo le okrogel les. K okroglemu lesu prištevamo tudi celulozni les pri smreki in goli pri bukvi. Vprašljive so predvsem goli, saj spadajo v les za kemično predelavo oziroma se porabijo kot energijski les. Odločili smo se, da goli ne bomo obravnavali, kot del naše tehnologije za pridobivanje biomase. Razlog za to je način izdelave drv (cepljenje), ki se od načina izdelave sekancev močno razlikuje. V modelu smo torej predvideli, da goli prodamo in iz njih ne izdelujemo drv.



Slika 43: Vrednost drevesa bukve v tehnologiji 1 in 1 t drevesa glede na prsni premer drevesa

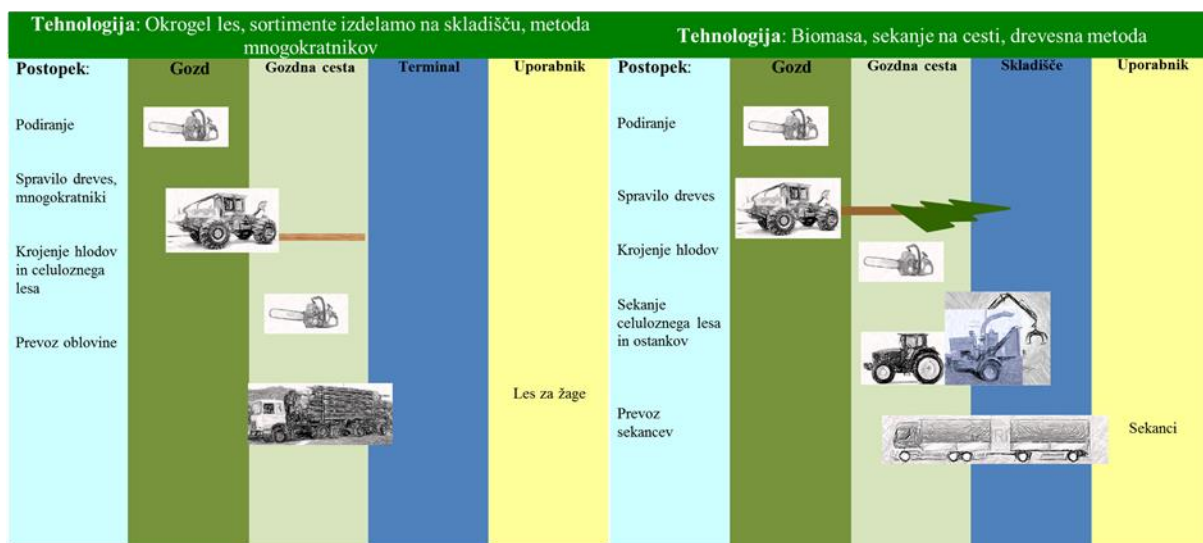
Pri tehnologiji ročne sečnje in traktorskega spravila smo sestavili dve tehnološki verigi, ki sta možni v naših razmerah in za katere imamo dobre podatke. Pri tehnologiji okroglega lesa 1a drevesa podremo in oklestimo z motorno žago ter izdelamo mnogokratnike. Spravilo izvajamo s prilagojenim kmetijskim traktorjem, prevoz okroglega lesa pa s tovornjakom s polprikolico. Pri tehnologiji pridobivanja biomase uporabljamo drevesno metodo, torej drevesa pri panju le posekamo. S prilagojenim kmetijskim traktorjem izvajamo spravilo dreves do ceste, kjer hlode tudi skrojimo. Sekanje se izvaja s sekalnikom Eschlböck Bieber 70 ZK. Sekance prevažamo s tovornjakom s prikolico.



Slika 44: Shema tehnološke verige 1a

Tehnologija 1b je podobna tehnologiji 1a, le da smo za spravilno sredstvo predvideli traktor zgibnik. Razlog za to odločitev je dejstvo, da v modelu nismo upoštevali zahtevnejših terenov. Ta tehnologija bi prišla v poštev na vseh področjih, kjer je nagib terena večji, kjer

imamo vlake s protivzponi, nekoliko daljše vlake in nasploh zahtevnejše pravilne razmere. Ostali parametri modela so ostali nespremenjeni.



Slika 45: Shema tehnološke verige 1b.

Na preglednici 44 prikazujemo rezultate primerjave med vrednostjo proizvoda in stroški pridobivanja lesa pri tehnologijah 1a in 1b. Primerjave smo naredili za smreko in za dve vsebnosti vode v sekancih. Po prvem scenariju bi porabniku na gozdno cesto vozili sveže posekan les z vsebnostjo vlage 60 %, po drugem pa les, ki je bil sušen vsaj 6 mesecev ($w = 30\%$). Ker iz pravnega vidika iglavcev v gozdu ne smemo puščati tako dolgo predvidevamo, da je to les iglavcev iz zimske sečnje in sušice, naš glavni namen pa je predstaviti prednosti sušenja surovine na naraven način. Ves energijski les bi nato tam tudi ssekali. Primerjava pokaže, da je tehnologija 1a cenejša kot 1b, kar je logično, saj pri slednji namesto kmetijskega traktorja uporabljamo specialni gozdarski zgibnik v lahkih delovnih pogojih.

Pri tehnologiji 1a se nam v smrekovem sestoju stroški pridobivanja lesa pri svežem lesu izplačajo v sestojih s premerom 18 cm, pri vseh pravilnih razdaljah. Pri tehnologiji 1b je razmerje nekoliko manj ugodno, stroški se zaradi uporabe zgibnika povečajo, delo pa se izplača nad prsnim premerom sestoja 18 cm, za pravilne razdalje manjše od 1000 m. Če predvidimo manjše vsebnosti vode ($w = 30\%$), je cena višja, zato se nam delo izplača že v nižjih sestojnih dimenzijah. Pri tehnologiji 1a se stroški dela povrnejo že pri prsnem premeru 14 cm in pravilni razdalji do 800 m. Tudi pri tehnologiji 1b se nam delo izplača že pri premeru 14 cm, a le pri spravi na kratkih razdaljah do 200 m.

Preglednica 44: Primerjava razlike med vrednostjo proizvoda in stroški pridobivanja lesa v €/t za tehnologiji 1a in 1b pri smreki, glede na različne vlažnosti končnega proizvoda

Tehnologija 1a [€/t], cena za w = 60 %													
Vlačenje [m]	Smreka, povprečni prsni premer sestoja [cm]												
	10,5	14,4	18,1	21,5	24,6	27,5	30,1	32,5	34,8	36,9	39	40,8	42,6
100	-26,0	-12,7	10,3	38,3	42,7	45,2	41,7	41,3	37,1	36,6	35,6	32,1	29,4
200	-26,9	-13,7	9,3	37,3	41,7	44,2	40,7	40,3	36,1	35,6	34,5	31,1	28,4
300	-27,9	-14,6	8,4	36,3	40,7	43,2	39,7	39,3	35,1	34,5	33,5	30,1	27,4
400	-28,8	-15,6	7,5	35,3	39,7	42,2	38,7	38,3	34,1	33,5	32,5	29,0	26,4
500	-29,7	-16,5	6,5	34,3	38,7	41,2	37,6	37,3	33,1	32,5	31,5	28,0	25,4
600	-30,7	-17,5	5,6	33,4	37,7	40,1	36,6	36,2	32,1	31,5	30,5	27,0	24,3
700	-31,6	-18,4	4,6	32,4	36,8	39,1	35,6	35,2	31,0	30,5	29,5	26,0	23,3
800	-32,6	-19,3	3,7	31,4	35,8	38,1	34,6	34,2	30,0	29,5	28,5	25,0	22,3
900	-33,5	-20,3	2,7	30,4	34,8	37,1	33,6	33,2	29,0	28,5	27,5	24,0	21,3
1000	-34,5	-21,2	1,8	29,4	33,8	36,1	32,6	32,2	28,0	27,5	26,5	23,0	20,3
Tehnologija 1b [€/t], cena za w = 60 %													
Vlačenje [m]	Smreka, povprečni prsni premer sestoja [cm]												
	10,5	14,4	18,1	21,5	24,6	27,5	30,1	32,5	34,8	36,9	39	40,8	42,6
100	-36,0	-17,9	6,6	35,1	39,8	42,4	39,1	38,8	34,6	34,1	33,1	29,7	27,0
200	-36,7	-18,7	5,8	34,3	39,0	41,6	38,2	37,9	33,8	33,3	32,3	28,9	26,2
300	-37,5	-19,4	5,1	33,5	38,2	40,8	37,4	37,1	33,0	32,5	31,5	28,1	25,4
400	-38,3	-20,2	4,3	32,7	37,4	40,0	36,6	36,3	32,2	31,7	30,7	27,3	24,6
500	-39,0	-20,9	3,6	31,9	36,6	39,2	35,8	35,5	31,4	30,9	29,9	26,5	23,8
600	-39,8	-21,7	2,8	31,1	35,8	38,4	35,0	34,7	30,6	30,1	29,1	25,7	23,0
700	-40,5	-22,4	2,1	30,3	35,1	37,6	34,2	33,9	29,8	29,3	28,3	24,9	22,2
800	-41,3	-23,2	1,3	29,5	34,3	36,8	33,4	33,1	29,0	28,5	27,5	24,1	21,4
900	-42,0	-23,9	0,6	28,8	33,5	36,0	32,6	32,3	28,2	27,7	26,7	23,2	20,6
1000	-42,8	-24,7	-0,2	28,0	32,7	35,2	31,8	31,5	27,4	26,9	25,9	22,4	19,8
Tehnologija 1a [€/t], cena za w = 30 %													
Vlačenje [m]	Smreka, povprečni prsni premer sestoja [cm]												
	10,5	14,4	18,1	21,5	24,6	27,5	30,1	32,5	34,8	36,9	39	40,8	42,6
100	-7,1	6,2	22,9	40,2	44,3	45,2	41,7	41,3	37,1	36,6	35,6	32,1	29,4
200	-8,0	5,2	21,9	39,2	43,3	44,2	40,7	40,3	36,1	35,6	34,5	31,1	28,4
300	-9,0	4,3	21,0	38,2	42,3	43,2	39,7	39,3	35,1	34,5	33,5	30,1	27,4
400	-9,9	3,3	20,0	37,3	41,3	42,2	38,7	38,3	34,1	33,5	32,5	29,0	26,4
500	-10,9	2,4	19,1	36,3	40,4	41,2	37,6	37,3	33,1	32,5	31,5	28,0	25,4
600	-11,8	1,4	18,2	35,3	39,4	40,1	36,6	36,2	32,1	31,5	30,5	27,0	24,3
700	-12,7	0,5	17,2	34,3	38,4	39,1	35,6	35,2	31,0	30,5	29,5	26,0	23,3
800	-13,7	-0,4	16,3	33,3	37,4	38,1	34,6	34,2	30,0	29,5	28,5	25,0	22,3
900	-14,6	-1,4	15,3	32,3	36,4	37,1	33,6	33,2	29,0	28,5	27,5	24,0	21,3
1000	-15,6	-2,3	14,4	31,3	35,4	36,1	32,6	32,2	28,0	27,5	26,5	23,0	20,3

se nadaljuje

nadaljevanje preglednice

Tehnologija 1b [€/t], cena za w = 30 %													
Vlačenje [m]	Smreka, povprečni prsni premer sestoja [cm]												
	10,5	14,4	18,1	21,5	24,6	27,5	30,1	32,5	34,8	36,9	39	40,8	42,6
100	-17,1	1,0	19,2	37,0	41,4	42,4	39,1	38,8	34,6	34,1	33,1	29,7	27,0
200	-17,8	0,2	18,4	36,2	40,6	41,6	38,2	37,9	33,8	33,3	32,3	28,9	26,2
300	-18,6	-0,5	17,7	35,4	39,8	40,8	37,4	37,1	33,0	32,5	31,5	28,1	25,4
400	-19,4	-1,3	16,9	34,6	39,0	40,0	36,6	36,3	32,2	31,7	30,7	27,3	24,6
500	-20,1	-2,0	16,2	33,8	38,3	39,2	35,8	35,5	31,4	30,9	29,9	26,5	23,8
600	-20,9	-2,8	15,4	33,0	37,5	38,4	35,0	34,7	30,6	30,1	29,1	25,7	23,0
700	-21,6	-3,5	14,7	32,3	36,7	37,6	34,2	33,9	29,8	29,3	28,3	24,9	22,2
800	-22,4	-4,3	13,9	31,5	35,9	36,8	33,4	33,1	29,0	28,5	27,5	24,1	21,4
900	-23,1	-5,0	13,1	30,7	35,1	36,0	32,6	32,3	28,2	27,7	26,7	23,2	20,6
1000	-23,9	-5,8	12,4	29,9	34,3	35,2	31,8	31,5	27,4	26,9	25,9	22,4	19,8

V preglednici 45 prikazujemo še rezultate primerjave med vrednostjo proizvoda in stroški pridobivanja lesa pri tehnologijah 1a in 1b za bukev. Primerjave smo spet naredili za dve različni vsebnosti vode v sekancih.

Pri tehnologiji 1a se nam v bukovih sestojih stroški pridobivanja lesa v sestoji pri svežem lesu izplačajo v sestojih s premerom 24 cm, pri spravilnih razdaljah krajših od 800 m. Pri tehnologiji 1b je razmerje nekoliko manj ugodno, stroški se zaradi uporabe zgibnika povečajo, delo pa se izplača od enakega premera sestoja (24 cm), za spravilne razdalje krajše od 700 m. Če predvidimo manjše vsebnosti vode ($w = 30\%$), je cena proizvoda višja, zato se nam delo izplača že v nižjih sestojnih dimenzijah. Pri bukvi je ta tendenca zelo izrazita, saj se pri tehnologiji 1a stroški dela povrnejo že pri prsnem premeru 14 cm in vseh spravilnih razdaljah. Tudi pri tehnologiji 1b se nam delo izplača že pri premeru 14 cm, a le pri spravilu na razdaljah krajših od 900 m.

Preglednica 45: Primerjava razlike med vrednostjo proizvoda in stroški pridobivanja lesa v €/t za tehnologiji 1a in 1b pri bukvi, glede na različne vlažnosti končnega proizvoda

Tehnologija 1a [€/t], w = 60 %													
Vlačenje [m]	Bukev, povprečni prsni premer sestoja [cm]												
	10,5	14,4	18,1	21,5	24,6	27,5	30,1	32,5	34,8	36,9	39	40,8	42,6
100	-22,1	-10,2	-5,2	2,1	6,9	13,8	20,9	22,8	23,8	24,3	24,4	24,5	24,6
200	-23,0	-11,1	-6,2	1,2	6,0	13,0	20,1	22,0	23,0	23,5	23,6	23,6	23,8
300	-24,0	-12,1	-7,1	0,2	5,1	12,2	19,3	21,2	22,2	22,7	22,8	22,8	23,0
400	-24,9	-13,0	-8,1	-0,7	4,2	11,4	18,5	20,4	21,4	21,9	22,0	22,0	22,2
500	-25,8	-14,0	-9,0	-1,7	3,3	10,5	17,7	19,6	20,6	21,0	21,2	21,2	21,4
600	-26,8	-14,9	-10,0	-2,6	2,4	9,7	16,8	18,8	19,8	20,2	20,4	20,4	20,6
700	-27,7	-15,9	-10,9	-3,6	1,5	8,9	16,0	18,0	19,0	19,4	19,6	19,6	19,8
800	-28,7	-16,8	-11,9	-4,5	0,6	8,1	15,2	17,2	18,2	18,6	18,8	18,8	18,9
900	-29,6	-17,7	-12,8	-5,5	-0,3	7,3	14,4	16,4	17,4	17,8	18,0	18,0	18,1
1000	-30,6	-18,7	-13,8	-6,4	-1,2	6,5	13,6	15,6	16,6	17,0	17,2	17,2	17,3

se nadaljuje

nadaljevanje preglednice

Tehnologija 1B [€/t], w = 60 %													
Vlačenje [m]	Bukev, povprečni prsni premer sestoja [cm]												
	10,5	14,4	18,1	21,5	24,6	27,5	30,1	32,5	34,8	36,9	39	40,8	42,6
100	-32,0	-15,6	-9,0	-0,9	4,8	12,6	19,6	21,4	22,4	22,8	22,9	22,9	23,0
200	-32,7	-16,3	-9,8	-1,7	4,0	11,8	18,8	20,6	21,6	22,0	22,1	22,1	22,2
300	-33,5	-17,1	-10,5	-2,4	3,2	11,0	18,0	19,8	20,8	21,2	21,3	21,3	21,4
400	-34,2	-17,8	-11,3	-3,2	2,5	10,2	17,2	19,0	20,0	20,4	20,5	20,5	20,6
500	-35,0	-18,6	-12,0	-3,9	1,7	9,4	16,4	18,2	19,2	19,6	19,7	19,7	19,8
600	-35,7	-19,3	-12,8	-4,7	0,9	8,6	15,6	17,4	18,4	18,8	18,9	18,9	19,0
700	-36,5	-20,1	-13,5	-5,4	0,2	7,8	14,7	16,6	17,6	18,0	18,1	18,1	18,2
800	-37,2	-20,8	-14,3	-6,2	-0,6	7,0	13,9	15,8	16,8	17,2	17,3	17,3	17,4
900	-38,0	-21,6	-15,0	-6,9	-1,4	6,1	13,1	15,0	16,0	16,3	16,5	16,5	16,6
1000	-38,7	-22,3	-15,8	-7,7	-2,2	5,3	12,3	14,2	15,1	15,5	15,7	15,7	15,8
Tehnologija 1a [€/t], w = 30 %													
Vlačenje [m]	Bukev, povprečni prsni premer sestoja [cm]												
	10,5	14,4	18,1	21,5	24,6	27,5	30,1	32,5	34,8	36,9	39	40,8	42,6
100	-1,3	10,6	14,7	17,6	15,6	13,8	20,9	22,8	23,8	24,3	24,4	24,5	24,6
200	-2,2	9,7	13,8	16,6	14,7	13,0	20,1	22,0	23,0	23,5	23,6	23,6	23,8
300	-3,2	8,7	12,8	15,7	13,8	12,2	19,3	21,2	22,2	22,7	22,8	22,8	23,0
400	-4,1	7,8	11,9	14,7	12,9	11,4	18,5	20,4	21,4	21,9	22,0	22,0	22,2
500	-5,1	6,8	11,0	13,8	12,0	10,5	17,7	19,6	20,6	21,0	21,2	21,2	21,4
600	-6,0	5,9	10,0	12,8	11,1	9,7	16,8	18,8	19,8	20,2	20,4	20,4	20,6
700	-6,9	4,9	9,1	11,9	10,2	8,9	16,0	18,0	19,0	19,4	19,6	19,6	19,8
800	-7,9	4,0	8,1	10,9	9,3	8,1	15,2	17,2	18,2	18,6	18,8	18,8	18,9
900	-8,8	3,0	7,2	10,0	8,4	7,3	14,4	16,4	17,4	17,8	18,0	18,0	18,1
1000	-9,8	2,1	6,2	9,0	7,5	6,5	13,6	15,6	16,6	17,0	17,2	17,2	17,3
Tehnologija 1B [€/t], w = 30 %													
Vlačenje [m]	Bukev, povprečni prsni premer sestoja [cm]												
	10,5	14,4	18,1	21,5	24,6	27,5	30,1	32,5	34,8	36,9	39	40,8	42,6
100	-11,2	5,2	11,0	14,5	13,5	12,6	19,6	21,4	22,4	22,8	22,9	22,9	23,0
200	-11,9	4,5	10,2	13,8	12,7	11,8	18,8	20,6	21,6	22,0	22,1	22,1	22,2
300	-12,7	3,7	9,5	13,0	11,9	11,0	18,0	19,8	20,8	21,2	21,3	21,3	21,4
400	-13,4	3,0	8,7	12,3	11,2	10,2	17,2	19,0	20,0	20,4	20,5	20,5	20,6
500	-14,2	2,2	8,0	11,5	10,4	9,4	16,4	18,2	19,2	19,6	19,7	19,7	19,8
600	-14,9	1,5	7,2	10,8	9,6	8,6	15,6	17,4	18,4	18,8	18,9	18,9	19,0
700	-15,7	0,7	6,5	10,0	8,9	7,8	14,7	16,6	17,6	18,0	18,1	18,1	18,2
800	-16,4	0,0	5,7	9,3	8,1	7,0	13,9	15,8	16,8	17,2	17,3	17,3	17,4
900	-17,2	-0,8	5,0	8,5	7,3	6,1	13,1	15,0	16,0	16,3	16,5	16,5	16,6
1000	-18,0	-1,5	4,2	7,8	6,5	5,3	12,3	14,2	15,1	15,5	15,7	15,7	15,8

V preglednici 46 prikazujemo razliko med nakupno ceno sekancev v toplarni in stroški prevoza ter pridobivanja lesa. Kot izhodišče za izračun smo vzeli ceno zelenih sekancev v toplarni v €/atro tono, prilagojeno na vsebnost vode v lesu. Od te cene smo nato odšteli stroške pridobivanja lesnih sekancev v €/t za posamezne razdalje spravila in prsni premer sestoja. Od te vrednosti smo nato odšteli stroške prevoza lesa, glede na obliko tovornjaka in razdaljo prevoza v €/t.

Rezultati kažejo, da lahko s tehnologijo 1a pridobljene vlažne sekance smreke vozimo do 100 km daleč pri prsnem premeru sestoja 21 cm in spravljeni razdalji do 500 m, pri enaki prevoznici razdalji in prsnem premeru 24 cm pa lahko les spravljamo 700 m. Sušeni sekanci ekonomsko prenesajo bistveno daljše razdalje prevoza, saj jih lahko prevažamo na razdalji do 200 km pri prsnem premeru sestoja od 14 cm naprej. Seveda lahko sekance vozimo tudi dlje, a so potem po naših izračunih stroški večji od prihodkov.

Pri tehnologiji 1b lahko vlažne sekance smreke vozimo do 100 km daleč pri prsnem premeru sestoja 21 cm in zelo kratki spravljeni razdalji do 200 m, pri enaki prevoznici razdalji in prsnem premeru 24 cm pa lahko les spravljamo 500 m. Sušene sekance lahko prevažamo na razdalji do 200 km pri prsnem premeru sestoja od 14 cm naprej. Tehnologija v najtanjših sestojih (10 cm) nikjer ne omogoča prevoza sekancev na omenjenih razdaljah.

Preglednica 46: Razlika med nakupno ceno energije smrekovih sekancev franko kamionska cesta kupec ter stroški pridobivanja lesa za različne razdalje spravila, vlažnost in stroške prevoza lesa za tri prevozne razdalje pri tehnologiji 1.

Tehnologija 1a, [€/t], povprečni prsni premer [cm], w = 30 %															
Spravilna razdalja	Prevozna razdalja 100 km					Prevozna razdalja 150 km					Prevozna razdalja 200 km				
	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2
100	4,7	17,1	20,8	29,2	29,7	1,0	13,3	17,1	25,5	26,0	-2,7	9,6	13,4	21,8	22,3
300	3,8	16,1	19,9	28,9	29,4	-0,9	11,4	15,2	24,9	25,4	-4,6	7,7	11,5	21,1	21,7
500	2,8	15,2	18,9	28,6	29,2	-2,8	9,6	13,3	24,2	24,9	-6,5	5,8	9,6	20,5	21,1
700	1,9	14,2	18,0	28,3	28,9	-4,7	7,7	11,4	23,6	24,3	-8,4	3,9	7,7	19,9	20,6
900	0,9	13,3	17,0	28,0	28,6	-6,6	5,8	9,5	23,0	23,7	-10,3	2,0	5,8	19,3	20,0
Tehnologija 1a, [€/t], povprečni prsni premer [cm], w = 60 %															
Spravilna razdalja	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2
	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2
100	-23,1	-10,8	-7,0	1,4	1,9	-26,8	-14,5	-10,8	-2,4	-1,8	-30,6	-18,2	-14,5	-6,1	-5,6
300	-25,0	-12,7	-8,9	0,8	1,3	-28,7	-16,4	-12,6	-3,0	-2,4	-32,5	-20,1	-16,4	-6,7	-6,1
500	-26,9	-14,6	-10,8	0,1	0,7	-30,6	-18,3	-14,5	-3,6	-3,0	-34,4	-22,0	-18,3	-7,3	-6,7
700	-28,8	-16,5	-12,7	-0,5	0,2	-32,5	-20,2	-16,4	-4,2	-3,6	-36,2	-23,9	-20,2	-7,9	-7,3
900	-30,7	-18,3	-14,6	-1,1	-0,4	-34,4	-22,1	-18,3	-4,8	-4,1	-38,1	-25,8	-22,0	-8,6	-7,9

se nadaljuje

nadaljevanje preglednice

Spravilna razdalja	Tehnologija 1b, [€/t], povprečni prsni premer [cm], w = 30 %														
	Prevozna razdalja 100 km					Prevozna razdalja 150 km					Prevozna razdalja 200 km				
	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2
100	-5,3	11,9	17,1	28,2	28,9	-9,0	8,2	13,4	24,5	25,2	-12,8	4,4	9,6	20,7	21,4
300	-6,1	11,1	16,3	28,0	28,7	-10,5	6,7	11,9	24,0	24,7	-14,3	2,9	8,1	20,2	21,0
500	-6,8	10,4	15,6	27,7	28,4	-12,0	5,1	10,4	23,5	24,2	-15,8	1,4	6,6	19,8	20,5
700	-7,6	9,6	14,8	27,5	28,2	-13,5	3,6	8,9	23,0	23,8	-17,3	-0,1	5,1	19,3	20,1
900	-8,3	8,9	14,1	27,2	28,0	-15,1	2,1	7,3	22,5	23,3	-18,8	-1,6	3,6	18,8	19,6
Spravilna razdalja	Tehnologija 1b, [€/t], povprečni prsni premer [cm], w = 60 %														
	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2
	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2
100	-33,1	-16,0	-10,7	0,4	1,0	-36,9	-19,7	-14,5	-3,4	-2,7	-40,6	-23,4	-18,2	-7,1	-6,4
300	-34,6	-17,5	-12,2	-0,1	0,6	-38,4	-21,2	-16,0	-3,9	-3,1	-42,1	-24,9	-19,7	-7,6	-6,9
500	-36,2	-19,0	-13,8	-0,6	0,1	-39,9	-22,7	-17,5	-4,4	-3,6	-43,6	-26,4	-21,2	-8,1	-7,3
700	-37,7	-20,5	-15,3	-1,1	-0,3	-41,4	-24,2	-19,0	-4,9	-4,1	-45,1	-27,9	-22,7	-8,6	-7,8
900	-39,2	-22,0	-16,8	-1,6	-0,8	-42,9	-25,7	-20,5	-5,3	-4,5	-46,6	-29,4	-24,2	-9,1	-8,2

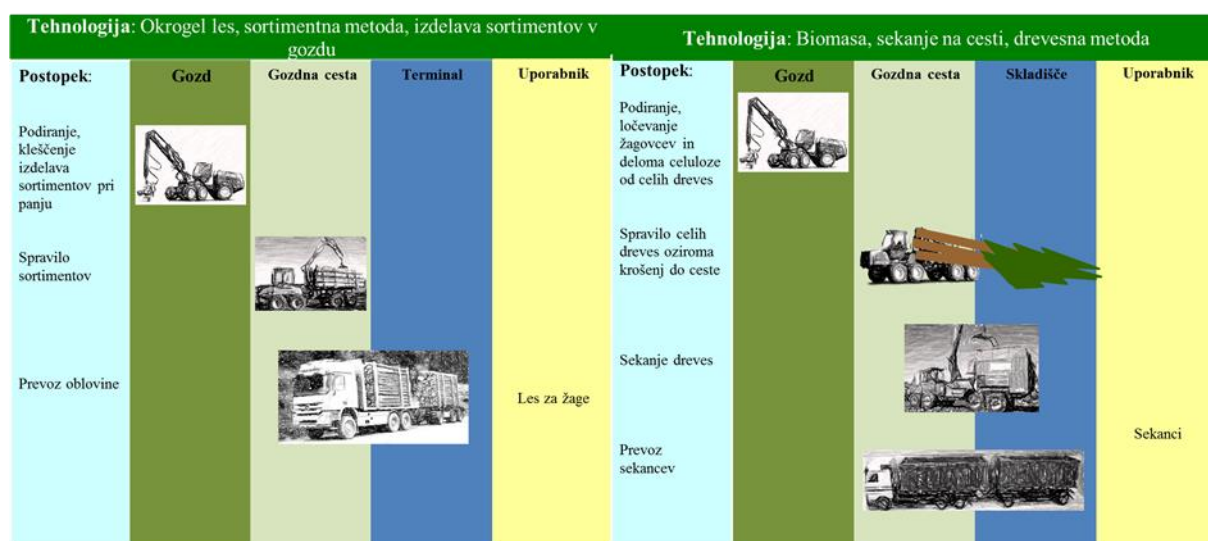
4.1.2 Tehnologija 2 – strojna sečnja in spravilo lesa z zgibnimi polprikoličarji in traktorji

Druga tehnološka veriga je sestavljena iz strojne sečnje in spravila z velikimi zgibnimi polprikoličarji in traktorji. Opisana tehnologija je novejša, a je pri nas že uveljavljena. Njena prednost je v visoki stopnji mehaniziranosti, večjih učinkih in visoki stopnji varnosti pri delu. Tehnologija je draga in občutljiva na neprimerno pripravo dela.

Vhodne nastavitve za vrednost lesne biomase v sestoju, ločeno po drevesnih vrstah, prikazujemo na spodnjih slikah. Na slikah prikazujemo glavne parametre gospodarnosti tehnologij v sestoju, namreč vrednost posameznega drevesa in vrednost 1 t proizvoda, glede na prsni premer sestoja. Nastavitve vrednosti so enake kot pri tehnologiji 1.

Meja med tehnologijo pridobivanja biomase in tehnologijo okroglega lesa je enaka kot pri tehnologiji 1. Do mejnega premera uporabljamo drevesno metodo, pri kateri zgibni polprikoličar na stroj naloži cela drevesa in jih odpelje do ceste, kjer jih zloži v skladovnice za kasnejše mletje. Hlude, ki se pojavljajo, stroj za sečnjo odreže v gozdu in jih sortira na ločene kupe. Zgibni polprikoličar jih nato odpelje do ceste. Od mejnega premera naprej uporabljamo tehnologijo okroglega lesa, ki v tem primeru pomeni klasično tehnologijo strojne sečnje. K okroglemu lesu prištevamo tudi celulozni les pri smreki in goli pri bukvi. Tudi pri tej tehnologiji goli ne obravnavamo kot del naše tehnologije pridobivanja biomase.

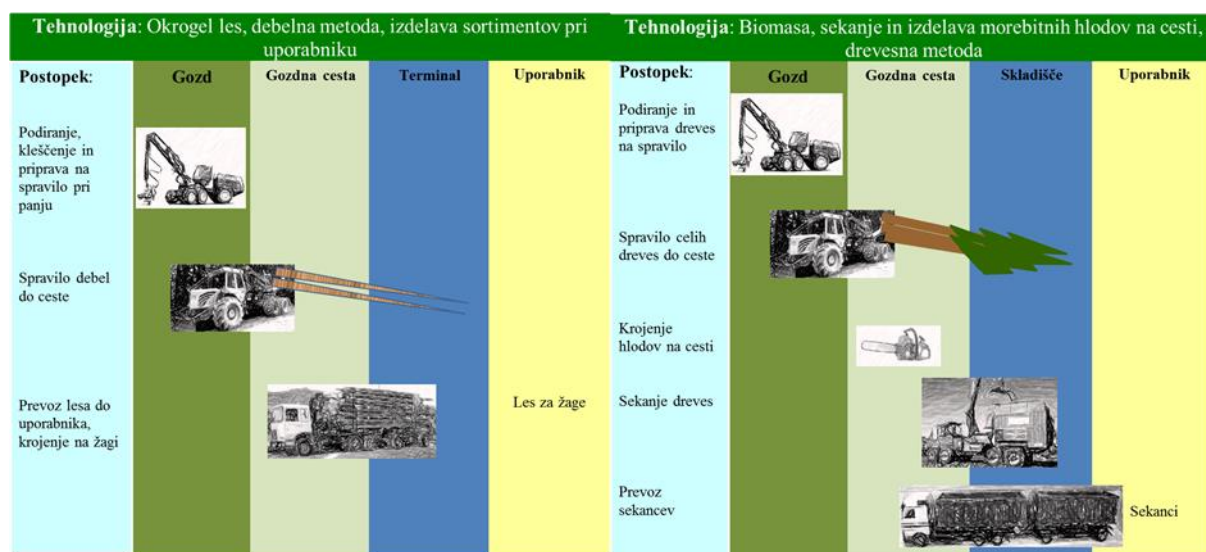
Pri tehnologiji strojne sečnje in spravila lesa z zgibnimi polprikoličarji in traktorji smo sestavili dve tehnološki verigi, ki sta možni v naših razmerah in za katere imamo dobre podatke. Pri tehnologiji okroglega lesa 2a drevesa podremo, klestimo, krojimo in sortiramo s strojem za sečnjo. Sortiment torej izdelamo pri panju. Spravilo okroglega lesa izvajamo z zgibnim polprikoličarjem, prevoz okroglega lesa pa s tovornjakom s prikolico. Pri tehnologiji pridobivanja biomase uporabljamo drevesno metodo, torej drevesa pri panju s strojem za sečnjo posekamo ter skrojimo hlude. Z zgibnim polprikoličarjem drevesa in hlude spravimo do ceste. Sekanje izvajamo s sekalnikom Bruks 805CT na zgibnem polprikoličarju. Sekance prevažamo s tovornjakom s prikolico za prevoz kotalnih kontejnerjev.



Slika 46: Shema tehnološke verige 2a

Pri tehnologiji 2b smo za pravilno sredstvo predvideli sedlasti traktor. Za razliko od tehnologije 2a tukaj pri okroglem lesu uporabljamo debelno metodo. Sečnjo in klesanje dreves ter pripravo za spravilo (obračanje v smeri spravila) izvaja stroj za sečnjo. Sedlasti traktor (HSM 805F) nato debela spravi do ceste, kjer jih zloži v skladovnice. Odvoz okroglega lesa dolžin do 16 m izvaja s tovrnjakom s polpriklopnikom, les pa se kroji pri uporabniku. To tehnologijo smo proučevali na objektu Vetrih. Pri tehnologiji pridobivanja biomase stroj za sečnjo drevesa poseka in jih pripravi za spravilo. Sedlasti traktor nato drevesa odpelje do skladišča, kjer jih zloži v skladovnice. Krojenje hlovov se opravlja na cesti z motorno žago. Sekanje in prevoz sekancev opravimo na enak način, kot pri tehnologiji 2a.

Tehnologija ni primerna za redčenja in spravilo navzgor. Zelo primerna je za delo pri večjih dimenzijah dreves, predvsem pri končnih sečnjah in delu po ujmah.



Slika 47: Shema tehnološke verige 2b

Na preglednici 47 prikazujemo rezultate primerjave med vrednostjo proizvoda in stroški pridobivanja lesa pri tehnologijah 2a in 2b. Primerjave smo naredili za smreko in za dve vsebnosti vode v sekancih. Po prvem scenariju bi porabniku do gozdne ceste (stroškov prevoza nismo upoštevali) dostavili sveže zelene sekance z vsebnostjo vlage 60 %, po drugem pa uporabnik prevzame zelene sekance, ki so bili ob gozdni cesti sušeni vsaj 6 mesecev ($w = 30 \%$). Primerjava pokaže, da je tehnologija 2a nekoliko cenejša kot 2b.

Pri tehnologiji 2a se nam pri smreki stroški pridobivanja lesa v sestoji pri svežem lesu izplačajo v sestojih s premerom 21 cm pri vseh pravilnih razdaljah. Pri tehnologiji 2b je razmerje nekoliko manj ugodno, stroški so višji, razlika med tehnologijama pa je majhna, saj se meja premera ne premakne. Če predvidimo manjše vsebnosti vode ($w = 30 \%$), je cena sekancev višja, zato se nam delo izplača že pri nižjih dimenzijah sestoja. Pri tehnologiji 2a se stroški dela povrnejo pri prsnem premeru 18 cm in pravilni razdalji do 200 m. Tudi pri tehnologiji 2b se nam delo izplača pri enakem premeru pri spravilu na kratkih razdaljah do 100 m.

Preglednica 47: Primerjava razlike med vrednostjo proizvoda in stroški pridobivanja lesa v €/t za tehnologiji 2a in 2b pri smreki, glede na različne vlažnosti končnega proizvoda

Tehnologija 2a [€/t], w = 60 %													
Vlačenje [m]	Smreka, povprečni prsni premer sestoja [cm]												
	10,5	14,4	18,1	21,5	24,6	27,5	30,1	32,5	34,8	36,9	39	40,8	42,6
100	-47,0	-35,7	-11,6	26,4	30,8	17,5	49,0	48,2	43,5	42,5	41,1	37,2	34,2
200	-47,7	-36,4	-12,3	25,7	30,1	16,8	48,3	47,5	42,7	41,8	40,4	36,5	33,5
300	-48,4	-37,1	-13,0	25,0	29,4	16,1	47,6	46,8	42,0	41,1	39,7	35,8	32,8
400	-49,1	-37,8	-13,7	24,3	28,7	15,4	46,9	46,1	41,3	40,4	39,0	35,1	32,1
500	-49,8	-38,5	-14,4	23,6	28,0	14,7	46,2	45,4	40,6	39,7	38,3	34,4	31,4
600	-50,6	-39,2	-15,1	22,9	27,3	14,0	45,5	44,6	39,9	39,0	37,6	33,7	30,7
700	-51,3	-39,9	-15,8	22,2	26,6	13,3	44,8	43,9	39,2	38,3	36,9	33,0	30,0
800	-52,0	-40,7	-16,5	21,5	25,8	12,6	44,1	43,2	38,5	37,6	36,2	32,3	29,3
900	-52,7	-41,4	-17,3	20,8	25,1	11,9	43,4	42,5	37,8	36,9	35,5	31,6	28,6
1000	-53,4	-42,1	-18,0	20,1	24,4	11,2	42,7	41,8	37,1	36,2	34,8	30,9	27,9
Tehnologija 2b [€/t], w = 60 %													
Vlačenje [m]	Smreka, povprečni prsni premer sestoja [cm]												
	10,5	14,4	18,1	21,5	24,6	27,5	30,1	32,5	34,8	36,9	39	40,8	42,6
100	-46,4	-36,1	-12,5	23,4	28,1	15,2	46,5	45,8	41,2	40,3	39,0	35,2	32,2
200	-47,1	-36,8	-13,2	22,7	27,4	14,5	45,8	45,1	40,5	39,6	38,3	34,5	31,5
300	-47,8	-37,5	-13,9	22,0	26,7	13,8	45,1	44,4	39,8	38,9	37,6	33,8	30,8
400	-48,5	-38,2	-14,6	21,3	26,0	13,1	44,3	43,7	39,1	38,2	36,9	33,0	30,1
500	-49,2	-38,9	-15,3	20,6	25,3	12,4	43,6	43,0	38,4	37,5	36,2	32,3	29,4
600	-49,9	-39,6	-16,0	19,9	24,6	11,7	42,9	42,3	37,7	36,8	35,5	31,6	28,7
700	-50,6	-40,4	-16,7	19,2	23,9	11,0	42,2	41,6	37,0	36,1	34,8	30,9	28,0
800	-51,3	-41,1	-17,4	18,5	23,2	10,3	41,5	40,9	36,3	35,4	34,1	30,2	27,3
900	-52,0	-41,8	-18,1	17,8	22,5	9,6	40,8	40,1	35,6	34,7	33,4	29,5	26,6
1000	-52,7	-42,5	-18,9	17,1	21,8	8,9	40,1	39,4	34,8	34,0	32,6	28,8	25,9
Tehnologija 2a [€/t], w = 30 %													
Vlačenje [m]	Smreka, povprečni prsni premer sestoja [cm]												
	10,5	14,4	18,1	21,5	24,6	27,5	30,1	32,5	34,8	36,9	39	40,8	42,6
100	-28,1	-16,8	1,0	28,2	32,3	19,7	49,0	48,2	43,5	42,5	41,1	37,2	34,2
200	-28,8	-17,5	0,3	27,5	31,6	18,9	48,3	47,5	42,7	41,8	40,4	36,5	33,5
300	-29,5	-18,2	-0,4	26,8	30,9	18,2	47,6	46,8	42,0	41,1	39,7	35,8	32,8
400	-30,2	-18,9	-1,1	26,1	30,2	17,5	46,9	46,1	41,3	40,4	39,0	35,1	32,1
500	-31,0	-19,6	-1,8	25,4	29,5	16,8	46,2	45,4	40,6	39,7	38,3	34,4	31,4
600	-31,7	-20,3	-2,5	24,7	28,8	16,1	45,5	44,6	39,9	39,0	37,6	33,7	30,7
700	-32,4	-21,1	-3,3	24,0	28,1	15,4	44,8	43,9	39,2	38,3	36,9	33,0	30,0
800	-33,1	-21,8	-4,0	23,3	27,4	14,7	44,1	43,2	38,5	37,6	36,2	32,3	29,3
900	-33,8	-22,5	-4,7	22,6	26,7	14,0	43,4	42,5	37,8	36,9	35,5	31,6	28,6
1000	-34,5	-23,2	-5,4	21,9	26,0	13,3	42,7	41,8	37,1	36,2	34,8	30,9	27,9

se nadaljuje

nadaljevanje preglednice

Tehnologija 2b [€/t], w = 30 %													
Vlačenje [m]	Smreka, povprečni prsni premer sestojav [cm]												
	10,5	14,4	18,1	21,5	24,6	27,5	30,1	32,5	34,8	36,9	39	40,8	42,6
100	-27,5	-17,2	0,1	25,2	29,6	17,3	46,5	45,8	41,2	40,3	39,0	35,2	32,2
200	-28,2	-17,9	-0,6	24,5	28,9	16,6	45,8	45,1	40,5	39,6	38,3	34,5	31,5
300	-28,9	-18,6	-1,3	23,8	28,2	15,9	45,1	44,4	39,8	38,9	37,6	33,8	30,8
400	-29,6	-19,3	-2,0	23,1	27,5	15,2	44,3	43,7	39,1	38,2	36,9	33,0	30,1
500	-30,3	-20,0	-2,7	22,4	26,8	14,5	43,6	43,0	38,4	37,5	36,2	32,3	29,4
600	-31,0	-20,8	-3,4	21,7	26,1	13,8	42,9	42,3	37,7	36,8	35,5	31,6	28,7
700	-31,7	-21,5	-4,1	21,0	25,4	13,1	42,2	41,6	37,0	36,1	34,8	30,9	28,0
800	-32,4	-22,2	-4,9	20,3	24,7	12,4	41,5	40,9	36,3	35,4	34,1	30,2	27,3
900	-33,1	-22,9	-5,6	19,6	24,0	11,7	40,8	40,1	35,6	34,7	33,4	29,5	26,6
1000	-33,8	-23,6	-6,3	18,9	23,3	11,0	40,1	39,4	34,8	34,0	32,6	28,8	25,9

V preglednici 48 prikazujemo rezultate primerjave med vrednostjo proizvoda in stroški pridobivanja lesa pri tehnologijah 2a in 2b za bukev. Primerjave smo naredili za dve različni vsebnosti vode v sekancih. Pri tehnologiji 2a se pri bukvi stroški pridobivanja lesa v sestoju pri svežem lesu povrnejo šele v sestojih s premerom 27 cm. V sestojih s tem premerom je pridobivanje lesa rentabilno pri vseh pravilnih razdaljah. Pri tehnologiji 2b je razmerje nekoliko manj ugodno, stroški se zaradi prilagojene sečnje in drugačnega načina spravila povečajo, prag rentabilnosti pri prsnem premeru pa je enak, kot pri tehnologiji 2a. Če predvidimo manjše vsebnosti vode ($w = 30 \%$) in višje cene proizvoda, se nam prag rentabilnosti ne spremeni, zaradi visokih stroškov tehnologije. Zmanjša se negativna bilanca.

Preglednica 48: Primerjava razlike med vrednostjo proizvoda in stroški pridobivanja lesa v €/t za tehnologiji 2a in 2b pri bukvi, glede na različne vlažnosti končnega proizvoda

Tehnologija 2a [€/t], w = 60 %													
Vlačenje [m]	Bukev, povprečni prsni premer sestoja [cm]												
	10,5	14,4	18,1	21,5	24,6	27,5	30,1	32,5	34,8	36,9	39	40,8	42,6
100	-37,7	-30,7	-26,4	-18,8	-9,8	22,4	30,6	32,2	33,0	33,3	33,3	33,1	33,1
200	-38,4	-31,4	-27,1	-19,5	-10,6	21,7	29,9	31,5	32,3	32,6	32,6	32,4	32,4
300	-39,1	-32,1	-27,8	-20,2	-11,3	21,0	29,2	30,8	31,6	31,9	31,9	31,7	31,7
400	-39,8	-32,8	-28,5	-20,9	-12,0	20,3	28,5	30,1	30,9	31,2	31,2	31,0	31,0
500	-40,5	-33,5	-29,2	-21,6	-12,7	19,6	27,8	29,4	30,2	30,5	30,4	30,3	30,3
600	-41,2	-34,2	-29,9	-22,3	-13,4	18,9	27,1	28,7	29,5	29,7	29,7	29,6	29,6
700	-42,0	-34,9	-30,6	-23,0	-14,1	18,2	26,4	28,0	28,8	29,0	29,0	28,9	28,9
800	-42,7	-35,6	-31,3	-23,7	-14,8	17,5	25,6	27,3	28,1	28,3	28,3	28,2	28,2
900	-43,4	-36,3	-32,0	-24,5	-15,5	16,7	24,9	26,6	27,4	27,6	27,6	27,5	27,5
1000	-44,1	-37,0	-32,7	-25,2	-16,2	16,0	24,2	25,9	26,7	26,9	26,9	26,7	26,8

se nadaljuje

nadaljevanje preglednice

Tehnologija 2b [€/t], w = 60 %													
Vlačenje [m]	Bukev, povprečni prsni premer sestoja [cm]												
	10,5	14,4	18,1	21,5	24,6	27,5	30,1	32,5	34,8	36,9	39	40,8	42,6
100	-37,6	-31,1	-27,2	-19,8	-12,0	18,7	27,5	29,4	30,5	31,0	31,1	31,1	31,2
200	-38,3	-31,9	-27,9	-20,5	-12,7	18,0	26,8	28,7	29,8	30,3	30,4	30,3	30,5
300	-39,0	-32,6	-28,6	-21,2	-13,4	17,3	26,1	28,0	29,1	29,6	29,7	29,6	29,8
400	-39,7	-33,3	-29,3	-21,9	-14,1	16,6	25,3	27,3	28,4	28,9	29,0	28,9	29,1
500	-40,4	-34,0	-30,0	-22,6	-14,8	15,9	24,6	26,6	27,7	28,1	28,3	28,2	28,4
600	-41,1	-34,7	-30,7	-23,3	-15,5	15,2	23,9	25,9	27,0	27,4	27,6	27,5	27,7
700	-41,8	-35,4	-31,4	-24,0	-16,3	14,5	23,2	25,2	26,3	26,7	26,9	26,8	27,0
800	-42,5	-36,1	-32,1	-24,7	-17,0	13,8	22,5	24,5	25,6	26,0	26,2	26,1	26,3
900	-43,2	-36,8	-32,8	-25,4	-17,7	13,1	21,8	23,8	24,9	25,3	25,5	25,4	25,5
1000	-43,9	-37,5	-33,5	-26,1	-18,4	12,4	21,1	23,1	24,2	24,6	24,8	24,7	24,8

Tehnologija 2a [€/t], w = 30 %													
Vlačenje [m]	Bukev, povprečni prsni premer sestoja [cm]												
	10,5	14,4	18,1	21,5	24,6	27,5	30,1	32,5	34,8	36,9	39	40,8	42,6
100	-16,9	-9,9	-6,4	-3,4	-1,1	22,4	30,6	32,2	33,0	33,3	33,3	33,1	33,1
200	-17,6	-10,6	-7,1	-4,1	-1,9	21,7	29,9	31,5	32,3	32,6	32,6	32,4	32,4
300	-18,3	-11,3	-7,8	-4,8	-2,6	21,0	29,2	30,8	31,6	31,9	31,9	31,7	31,7
400	-19,0	-12,0	-8,5	-5,5	-3,3	20,3	28,5	30,1	30,9	31,2	31,2	31,0	31,0
500	-19,8	-12,7	-9,2	-6,2	-4,0	19,6	27,8	29,4	30,2	30,5	30,4	30,3	30,3
600	-20,5	-13,4	-9,9	-6,9	-4,7	18,9	27,1	28,7	29,5	29,7	29,7	29,6	29,6
700	-21,2	-14,1	-10,6	-7,6	-5,4	18,2	26,4	28,0	28,8	29,0	29,0	28,9	28,9
800	-21,9	-14,8	-11,3	-8,3	-6,1	17,5	25,6	27,3	28,1	28,3	28,3	28,2	28,2
900	-22,6	-15,5	-12,0	-9,0	-6,8	16,7	24,9	26,6	27,4	27,6	27,6	27,5	27,5
1000	-23,3	-16,2	-12,8	-9,7	-7,5	16,0	24,2	25,9	26,7	26,9	26,9	26,7	26,8

Tehnologija 2b [€/t], w = 30 %													
Vlačenje [m]	Bukev, povprečni prsni premer sestoja [cm]												
	10,5	14,4	18,1	21,5	24,6	27,5	30,1	32,5	34,8	36,9	39	40,8	42,6
100	-16,8	-10,4	-7,2	-4,3	-3,3	18,7	27,5	29,4	30,5	31,0	31,1	31,1	31,2
200	-17,5	-11,1	-7,9	-5,1	-4,0	18,0	26,8	28,7	29,8	30,3	30,4	30,3	30,5
300	-18,2	-11,8	-8,6	-5,8	-4,7	17,3	26,1	28,0	29,1	29,6	29,7	29,6	29,8
400	-18,9	-12,5	-9,3	-6,5	-5,4	16,6	25,3	27,3	28,4	28,9	29,0	28,9	29,1
500	-19,6	-13,2	-10,0	-7,2	-6,1	15,9	24,6	26,6	27,7	28,1	28,3	28,2	28,4
600	-20,3	-13,9	-10,7	-7,9	-6,8	15,2	23,9	25,9	27,0	27,4	27,6	27,5	27,7
700	-21,0	-14,6	-11,4	-8,6	-7,6	14,5	23,2	25,2	26,3	26,7	26,9	26,8	27,0
800	-21,7	-15,3	-12,1	-9,3	-8,3	13,8	22,5	24,5	25,6	26,0	26,2	26,1	26,3
900	-22,4	-16,0	-12,8	-10,0	-9,0	13,1	21,8	23,8	24,9	25,3	25,5	25,4	25,5
1000	-23,1	-16,7	-13,5	-10,7	-9,7	12,4	21,1	23,1	24,2	24,6	24,8	24,7	24,8

V preglednici 49 prikazujemo razliko med nakupno ceno sekancev v toplarni in stroški prevoza ter pridobivanja lesa. Metodologija izračuna je enaka kot pri tehnologiji 1.

Tehnologiji 2a in 2b imata višjo ceno na enoto proizvoda kot ostale tehnologije. Kot je razvidno iz spodnje preglednice, ne opravičita prevoza pridobljenih svežih sekancev.

Tehnologija 2a dovoljuje prevoz suhih smrekovih sekancev do razdalje 200 km pri prsnem premeru sestoja 21 cm in vseh spravilnih razdaljah. Prevoz sekancev iz sestoja s premerom 18 cm je upravičen do razdalje 100 km pri pravilni razdalji do 300 m.

Pri tehnologiji 2b lahko sušene sekance prevažamo na razdalji do 200 km pri prsnem premeru sestoja od vključno 21 cm naprej. Tehnologija v najtanjših sestojih (10 cm) nikjer ne omogoča prevoza sekancev na omenjenih razdaljah. Prevoz sekancev iz sestoja s premerom 18 cm je upravičen le do razdalje 100 km pri pravilni razdalji do 200 m.

Preglednica 49: Razlika med nakupno ceno energije smrekovih sekancev franko kamionska cesta kupec ter stroški pridobivanja lesa za različne razdalje spravila, vlažnost in stroške prevoza lesa za tri prevozne razdalje pri tehnologiji 2

Tehnologija 2a, [€/t], povprečni prsni premer [cm], w = 30 %															
Spravilna razdalja	Prevozna razdalja 100 km					Prevozna razdalja 150 km					Prevozna razdalja 200 km				
	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2
100	-13,3	-3,2	1,7	10,7	11,5	-17,0	-6,9	-2,1	7,0	7,7	-20,8	-10,7	-5,8	3,2	3,9
300	-14,7	-4,6	0,3	10,3	11,1	-18,4	-8,3	-3,5	6,5	7,3	-22,2	-12,1	-7,3	2,8	3,5
500	-16,1	-6,0	-1,1	9,9	10,7	-19,8	-9,7	-4,9	6,1	6,9	-23,6	-13,5	-8,7	2,3	3,1
700	-17,5	-7,4	-2,5	9,4	10,3	-21,3	-11,2	-6,3	5,7	6,5	-25,0	-14,9	-10,1	1,9	2,7
900	-18,9	-8,8	-4,0	9,0	9,9	-22,7	-12,6	-7,7	5,2	6,1	-26,4	-16,3	-11,5	1,4	2,3
Tehnologija 2a, [€/t], povprečni prsni premer [cm], w = 60 %															
Spravilna razdalja	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2
	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2
100	-41,1	-31,0	-26,2	-17,1	-16,4	-44,9	-34,8	-29,9	-20,9	-20,2	-48,6	-38,5	-33,7	-24,7	-23,9
300	-42,5	-32,4	-27,6	-17,6	-16,8	-46,3	-36,2	-31,3	-21,3	-20,6	-50,0	-39,9	-35,1	-25,1	-24,3
500	-43,9	-33,8	-29,0	-18,0	-17,2	-47,7	-37,6	-32,7	-21,8	-21,0	-51,5	-41,4	-36,5	-25,5	-24,7
700	-45,3	-35,2	-30,4	-18,4	-17,6	-49,1	-39,0	-34,2	-22,2	-21,4	-52,9	-42,8	-37,9	-26,0	-25,1
900	-46,7	-36,6	-31,8	-18,9	-18,0	-50,5	-40,4	-35,6	-22,6	-21,8	-54,3	-44,2	-39,3	-26,4	-25,5

se nadaljuje

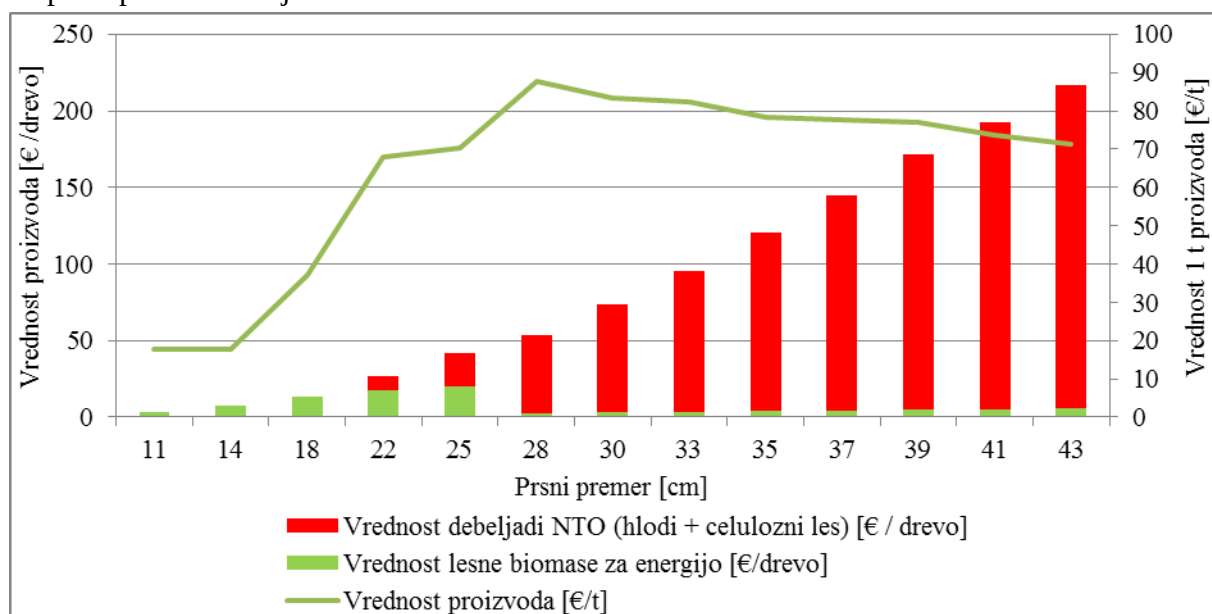
nadaljevanje preglednice

Spravilna razdalja	Tehnologija 2b, [€/t], povprečni prsni premer [cm], w = 30 %														
	Prevozna razdalja 100 km					Prevozna razdalja 150 km					Prevozna razdalja 200 km				
	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2
100	-12,6	-3,6	0,8	10,4	11,1	-16,4	-7,3	-3,0	6,6	7,3	-20,1	-11,1	-6,7	2,8	3,5
300	-14,0	-5,0	-0,6	9,9	10,7	-17,8	-8,7	-4,4	6,2	6,9	-21,5	-12,5	-8,1	2,4	3,1
500	-15,4	-6,4	-2,0	9,5	10,3	-19,2	-10,2	-5,8	5,7	6,5	-23,0	-13,9	-9,6	2,0	2,7
700	-16,8	-7,8	-3,4	9,1	9,9	-20,6	-11,6	-7,2	5,3	6,1	-24,4	-15,3	-11,0	1,5	2,3
900	-18,2	-9,2	-4,8	8,6	9,5	-22,0	-13,0	-8,6	4,9	5,7	-25,8	-16,7	-12,4	1,1	1,9
Spravilna razdalja	Tehnologija 2b, [€/t], povprečni prsni premer [cm], w = 60 %														
	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2
100	-40,4	-31,4	-27,0	-17,5	-16,8	-44,2	-35,2	-30,8	-21,2	-20,5	-48,0	-38,9	-34,6	-25,0	-24,3
300	-41,9	-32,8	-28,5	-17,9	-17,2	-45,6	-36,6	-32,2	-21,7	-20,9	-49,4	-40,4	-36,0	-25,4	-24,7
500	-43,3	-34,2	-29,9	-18,4	-17,6	-47,0	-38,0	-33,6	-22,1	-21,3	-50,8	-41,8	-37,4	-25,9	-25,1
700	-44,7	-35,6	-31,3	-18,8	-18,0	-48,4	-39,4	-35,0	-22,6	-21,7	-52,2	-43,2	-38,8	-26,3	-25,5
900	-46,1	-37,0	-32,7	-19,2	-18,4	-49,9	-40,8	-36,5	-23,0	-22,1	-53,6	-44,6	-40,2	-26,8	-25,9

4.1.3 Tehnologija 3 – ročna ali strojna sečnja in spravilo lesa z žičnim žerjavom

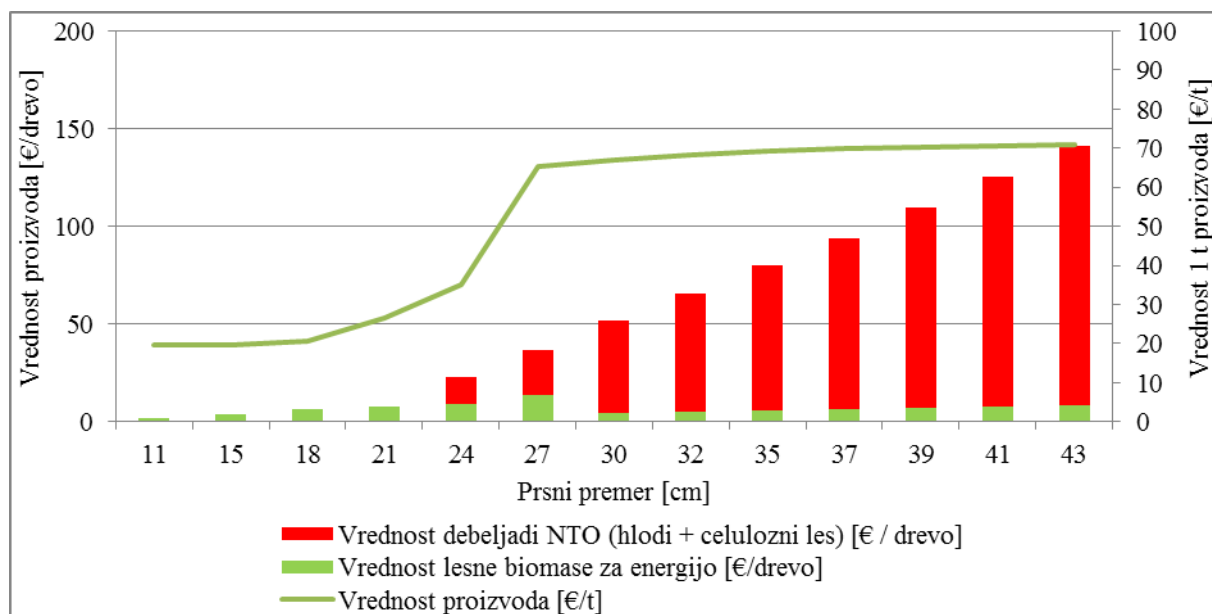
Tretjo tehnološko verigo definira spravilo z žičnim žerjavom. Ta je specifična zaradi zmožnosti dela na težkih terenih, majhnih poškodb tal in zaradi dejstva, da za delo ne potrebuje sekundarnih prometnic. Opisana tehnologija je pri nas uveljavljena ter se veliko uporablja predvsem v delih države, kjer so tereni zahtevnejši. Ta tehnologija je v zadnjih letih dosegla velik napredek, postala je visoko mehanizirana in visoko učinkovita. Tehnologija je draga in občutljiva na neprimerno pripravo dela.

Vhodne nastavitve za vrednost lesne biomase v sestoju, ločeno po drevesnih vrstah, prikazujemo na slikah 48 in 49. Na njih prikazujemo glavne parametre gospodarnosti tehnologij v sestoju, namreč vrednost posameznega drevesa in vrednost 1 t proizvoda glede na prsni premer sestoja.



Slika 48: Vrednost drevesa smreke v tehnologiji 3 in 1 t drevesa glede na prsni premer drevesa

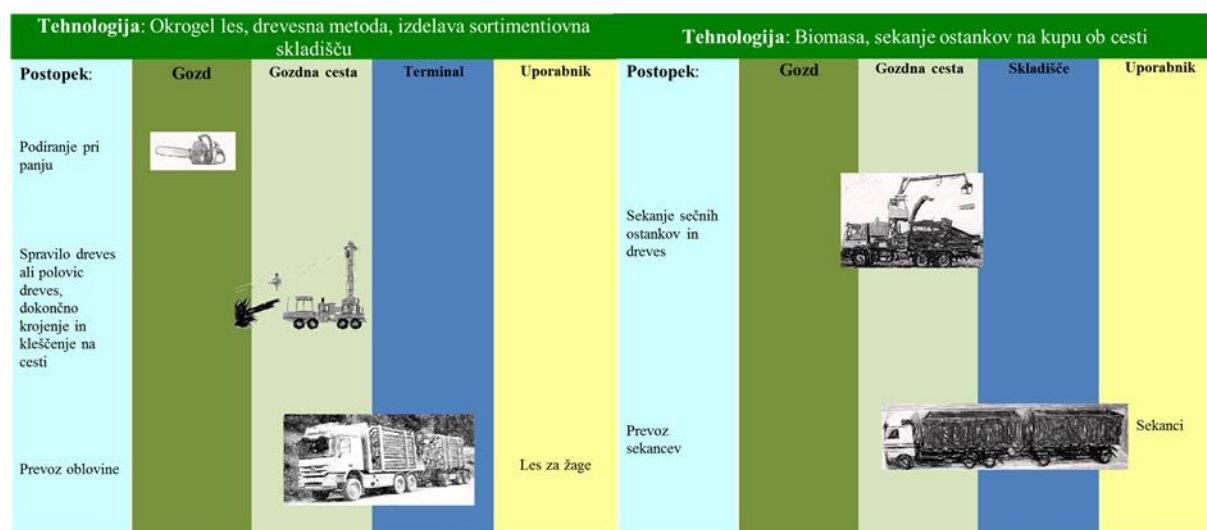
Meja med tehnologijo pridobivanja biomase in tehnologijo okroglega lesa je enaka, kot pri tehnologijah 1 in 2. Do mejnega premera uporabljamo drevesno metodo, pri kateri drevesa posekamo in z žičnico spravimo do ceste, kjer jih s hidravličnim dvigalom žičnega žerjava zložimo v skladovnice za kasnejše mletje. Hlode, ki se pojavljajo, lahko izdelamo v sečišču, ali pa na kamionski cesti ter jih sortiramo na ločene kupe ob cesti. Od mejnega premera naprej uporabljamo tehnologijo okroglega lesa, ki v tem primeru pomeni sečnjo v sečišču in delno izdelavo hlodov. Uporabljamo drevesno metodo. Del krojenja in kleščenje se vrši na skladišču, kjer se poleg skladovnice okroglega lesa ustvari kup sečnih ostankov in dreves. Te sečne ostanke in drevesa nato uporabimo za izdelavo sekancev. K okroglemu lesu prištevamo tudi celulozni les pri smreki in goli pri bukvi. Tudi pri tej tehnologiji goli ne obravnavamo kot del naše tehnologije pridobivanja biomase.



Slika 49: Vrednost drevesa bukve v tehnologiji 3 in 1 t drevesa glede na prsni premer drevesa

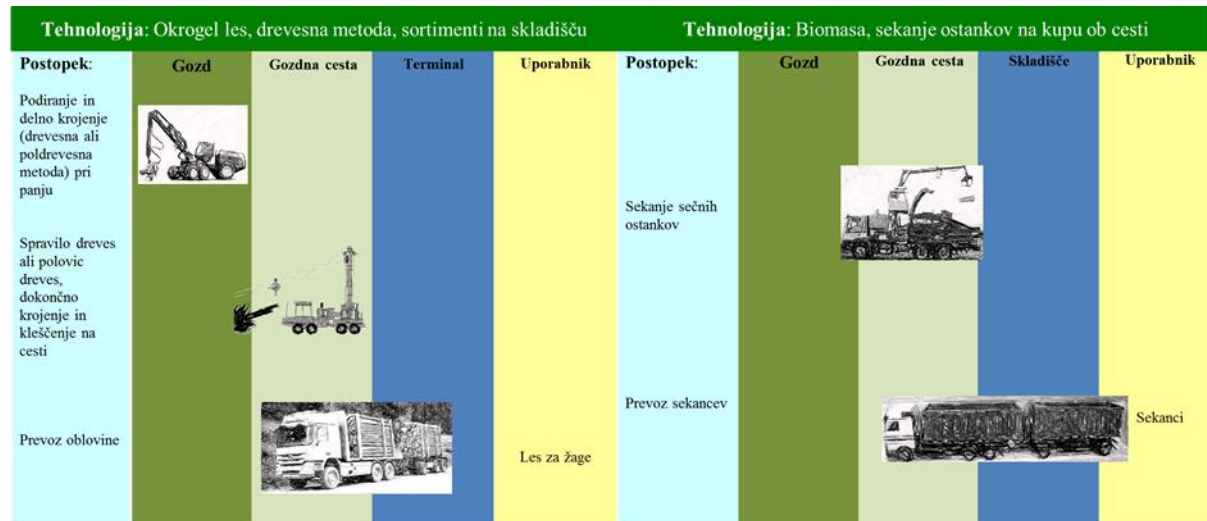
Iz slik 48 in 49 je razvidno, da imamo tehnologijo pridobivanja biomase tudi pri tehnologiji okroglega lesa, saj ob cesti, kot stranski produkt drevesne metode, ostajajo sečni ostanki, katere lahko uporabimo za proizvodnjo sekancev.

Pri tehnologiji ročne ali strojne sečnje in spravila lesa z žičnim žerjavom smo sestavili dve tehnološki verigi, ki sta možni v naših razmerah in za katere imamo dobre podatke. Pri tehnologiji okroglega lesa 3a uporabljamo drevesno metodo. Drevesa podremo in izvedemo delno krojenje z motorno žago (če je drevo za žičnico pretežko krojimo mnogokratnike, krošnjo pa spravljamo posebej). Spravljamo z žičnim žerjavom s procesorjem, okrogli les pa prevažamo s tovornjakom s prikolico. Tudi pri tehnologiji pridobivanja biomase uporabljamo drevesno metodo. Drevesa pri panju posekamo ter skrojimo hlode. Z žičnim žerjavom drevesa in hlode spravimo do ceste, kjer jih zložimo v kupe. Sekanje izvajamo s sekalnikom Starchl MK74 600 na tovornjaku. Sekance prevažamo s tovornjakom s prikolico za prevoz kotalnih kontejnerjev.



Slika 50: Shema tehnološke verige 3a

Pri tehnologiji 3b smo za sečnjo predvideli stroj za sečnjo. Spravilno sredstvo ostane enako, torej žični žerjav z procesorjem. Razlog za takšno odločitev leži v dejstvu, da hočemo uporabiti sečne ostankke za proizvodnjo zelenih sekancev kot pri tehnologiji 3a. Stroj za sečnjo torej drevesa v sestoji podre in delno skroji. Žični žerjav opravi spravilo lesa, krojenje, kleščenje ter sortiranje okroglega in energijskega lesa. Sekanje in prevoz sekancev se opravljata enako kot pri tehnologiji 3a.



Slika 51: Shema tehnološke verige 3b

V preglednici 50 prikazujemo rezultate primerjave med vrednostjo proizvoda in stroški pridobivanja lesa pri tehnologijah 3a in 3b. Primerjave smo naredili za smreko in za dve vsebnosti vode v sekancih. Po prvem scenariju bi k porabniku do gozdne ceste (stroškov prevoza nismo upoštevali) dostavili sveže zelene sekance z vsebnostjo vlage 60 %, po drugem pa zelene sekance, ki so bili ob gozdni cesti sušeni vsaj 6 mesecev ($w = 30 \%$). Primerjava pokaže, da je tehnologija 3a nekoliko cenejša kot 3b.

Pri tehnologiji 3a se nam v smreki stroški pridobivanja lesa v sestoji pri svežem lesu izplačajo v sestojih s premerom 18 cm, pri vseh spravilnih razdaljah. Pri tehnologiji 3b je razmerje enako, stroški pa so pri spravljeni 100 m za 9,9 €/t višji. Če predvidimo manjše vsebnosti vode ($w = 30\%$), doseže tehnologija 3a prag rentabilnosti pri prsnem premeru 14 cm in spravljeni razdalji do 500 m. Tudi pri tehnologiji 3b se nam delo izplača pri enakem premeru in spravlju na kratkih razdaljah do 200 m.

Preglednica 50: Primerjava razlike med vrednostjo proizvoda in stroški pridobivanja lesa v €/t za tehnologiji 3a in 3b pri smreki, glede na različne vlažnosti končnega proizvoda

Tehnologija 3a, [€/t], $w = 60\%$													
Vlačenje [m]	Smreka, povprečni prsni premer sestoja [cm]												
	10,5	14,4	18,1	21,5	24,6	27,5	30,1	32,5	34,8	36,9	39	40,8	42,6
100	-18,7	-9,0	15,0	48,5	52,8	71,2	67,9	67,8	64,2	64,1	63,7	61,0	58,8
200	-24,4	-12,8	12,0	46,0	50,7	69,4	66,3	66,3	62,8	62,8	62,5	59,9	57,7
300	-28,3	-15,4	10,1	44,4	49,3	68,1	65,2	65,2	61,9	61,9	61,7	59,1	56,9
400	-31,3	-17,4	8,5	43,1	48,2	67,2	64,3	64,5	61,1	61,3	61,0	58,5	56,3
500	-33,7	-19,1	7,3	42,1	47,3	66,4	63,6	63,8	60,5	60,7	60,5	57,9	55,8
600	-35,9	-20,5	6,2	41,2	46,6	65,7	63,0	63,2	60,0	60,2	60,0	57,5	55,4
700	-37,7	-21,8	5,2	40,4	45,9	65,1	62,4	62,7	59,6	59,8	59,6	57,1	55,0
800	-39,4	-22,9	4,3	39,7	45,3	64,6	61,9	62,3	59,1	59,4	59,3	56,8	54,7
900	-41,0	-23,9	3,5	39,1	44,7	64,1	61,5	61,9	58,8	59,0	58,9	56,5	54,4
1000	-42,4	-24,9	2,8	38,5	44,2	63,6	61,1	61,5	58,4	58,7	58,6	56,2	54,1
Tehnologija 3b, [€/t], $w = 60\%$													
Vlačenje [m]	Smreka, povprečni prsni premer sestoja [cm]												
	10,5	14,4	18,1	21,5	24,6	27,5	30,1	32,5	34,8	36,9	39	40,8	42,6
100	-37,5	-18,9	9,2	45,0	50,7	70,1	67,4	67,7	64,4	64,6	64,4	61,8	59,6
200	-41,4	-21,5	7,2	43,4	49,3	68,8	66,3	66,7	63,5	63,7	63,5	61,0	58,9
300	-44,0	-23,3	5,9	42,3	48,4	68,0	65,5	66,0	62,8	63,1	62,9	60,5	58,4
400	-46,0	-24,6	4,8	41,4	47,6	67,3	64,9	65,4	62,3	62,6	62,5	60,0	58,0
500	-47,7	-25,8	4,0	40,7	47,0	66,8	64,4	65,0	61,9	62,2	62,1	59,7	57,6
600	-49,1	-26,7	3,2	40,1	46,5	66,3	64,0	64,6	61,6	61,9	61,8	59,4	57,3
700	-50,4	-27,6	2,6	39,6	46,0	65,9	63,7	64,3	61,3	61,6	61,6	59,1	57,1
800	-51,6	-28,4	2,0	39,1	45,6	65,5	63,3	64,0	61,0	61,3	61,3	58,9	56,9
900	-52,6	-29,1	1,4	38,6	45,2	65,2	63,0	63,7	60,7	61,1	61,1	58,7	56,7
1000	-53,6	-29,7	1,0	38,2	44,9	64,9	62,7	63,4	60,5	60,9	60,9	58,5	56,5
Tehnologija 3a, [€/t], $w = 30\%$													
Vlačenje [m]	Smreka, povprečni prsni premer sestoja [cm]												
	10,5	14,4	18,1	21,5	24,6	27,5	30,1	32,5	34,8	36,9	39	40,8	42,6
100	-0,2	9,9	27,6	50,4	54,4	90,1	86,8	86,7	83,1	83,0	82,6	79,9	77,7
200	-5,5	6,1	24,6	48,0	52,3	88,3	85,2	85,2	81,7	81,7	81,4	78,8	76,6
300	-9,4	3,5	22,6	46,3	50,9	87,0	84,1	84,1	80,8	80,8	80,6	78,0	75,8
400	-12,4	1,5	21,1	45,1	49,8	86,1	83,2	83,4	80,0	80,1	79,9	77,3	75,2
500	-14,8	-0,2	19,8	44,0	48,9	85,3	82,5	82,7	79,4	79,6	79,4	76,8	74,7
600	-17,0	-1,6	18,8	43,1	48,2	84,6	81,9	82,1	78,9	79,1	78,9	76,4	74,3
700	-18,8	-2,9	17,8	42,3	47,5	84,0	81,3	81,6	78,4	78,7	78,5	76,0	73,9
800	-20,5	-4,0	16,9	41,6	46,9	83,5	80,8	81,2	78,0	78,3	78,2	75,7	73,6
900	-22,1	-5,0	16,1	41,0	46,3	83,0	80,4	80,8	77,7	77,9	77,8	75,3	73,3
1000	-23,5	-6,0	15,4	40,4	45,8	82,5	80,0	80,4	77,3	77,6	77,5	75,1	73,0

se nadaljuje

nadaljevanje preglednice

Tehnologija 3b, [€/t], w = 30 %													
Vlačenje [m]	Smreka, povprečni prsni premer sestoja [cm]												
	10,5	14,4	18,1	21,5	24,6	27,5	30,1	32,5	34,8	36,9	39	40,8	42,6
100	-18,6	0,0	21,8	47,0	52,4	88,9	86,3	86,6	83,3	83,5	83,3	80,7	78,5
200	-22,5	-2,6	19,8	45,3	50,9	87,7	85,2	85,6	82,4	82,6	82,4	79,9	77,8
300	-25,1	-4,4	18,5	44,2	50,0	86,9	84,4	84,9	81,7	82,0	81,8	79,3	77,3
400	-27,1	-5,7	17,4	43,3	49,3	86,2	83,8	84,3	81,2	81,5	81,4	78,9	76,9
500	-28,8	-6,9	16,6	42,6	48,7	85,7	83,3	83,9	80,8	81,1	81,0	78,6	76,5
600	-30,2	-7,8	15,8	42,0	48,1	85,2	82,9	83,5	80,5	80,8	80,7	78,3	76,2
700	-31,5	-8,7	15,2	41,5	47,7	84,8	82,5	83,2	80,2	80,5	80,4	78,0	76,0
800	-32,7	-9,5	14,6	41,0	47,2	84,4	82,2	82,8	79,9	80,2	80,2	77,8	75,8
900	-33,7	-10,2	14,0	40,5	46,9	84,1	81,9	82,6	79,6	80,0	80,0	77,6	75,6
1000	-34,7	-10,8	13,5	40,1	46,5	83,8	81,6	82,3	79,4	79,8	79,8	77,4	75,4

V preglednici 51 prikazujemo rezultate primerjave med vrednostjo proizvoda in stroški pridobivanja lesa pri tehnologijah 3a in 3b za bukev. Primerjave smo naredili za dve različni vsebnosti vode v lesu. Pri tehnologiji 3a se pri bukvi stroški pridobivanja lesa v sestoji pri svežem lesu povprečno v sestojih s premerom 21 cm, a je v sestojih s tem premerom pridobivanje lesa rentabilno pri spravilnih razdaljah do 900 m. Pri tehnologiji 3b je razmerje nekoliko manj ugodno, stroški se zaradi strojne sečnje povečajo, prag rentabilnosti je pri prsnem premeru 21 cm in kratkih spravilnih razdaljah do 200 m. Če predvidimo manjše vsebnosti vode (w = 30 %) in s tem višje cene proizvoda, se nam prag rentabilnosti močno dvigne in je najvišji od vseh opisanih tehnologij. Pri tehnologiji 3a je prag rentabilnosti dosežen že v sestojih z prsnim premerom 10 cm, in pri spravilni razdalji do 500 m. Pri tehnologiji 3b prag dosežemo pri premeru 14 cm in kratki spravilni razdalji do 200 m.

Preglednica 51: Primerjava razlike med vrednostjo proizvoda in stroški pridobivanja lesa v €/t za tehnologiji 3a in 3b pri bukvi, glede na različne vlažnosti končnega proizvoda

Tehnologija 3a [€/t], w = 60 %													
Vlačenje [m]	Bukev, povprečni prsni premer sestoja [cm]												
	10,5	14,4	18,1	21,5	24,6	27,5	30,1	32,5	34,8	36,9	39	40,8	42,6
100	-10,6	-4,2	-0,4	8,5	18,3	49,6	52,1	54,1	55,4	56,3	57,1	57,7	58,2
200	-15,0	-7,5	-2,2	6,4	16,5	47,9	50,6	52,8	54,2	55,2	56,0	56,6	57,2
300	-18,0	-9,7	-4,0	4,9	15,2	46,8	49,5	51,8	53,3	54,4	55,2	55,9	56,5
400	-20,3	-11,4	-5,3	3,8	14,2	45,9	48,8	51,1	52,7	53,7	54,6	55,4	56,0
500	-22,2	-12,8	-6,4	2,8	13,4	45,2	48,1	50,5	52,1	53,2	54,2	54,9	55,6
600	-23,9	-14,0	-7,4	2,0	12,7	44,6	47,6	50,0	51,6	52,8	53,7	54,5	55,2
700	-25,3	-15,1	-8,3	1,3	12,1	44,0	47,1	49,6	51,2	52,4	53,4	54,2	54,9
800	-26,6	-16,0	-9,0	0,7	11,5	43,6	46,6	49,2	50,9	52,1	53,1	53,9	54,6
900	-27,8	-16,9	-9,7	0,1	11,0	43,1	46,2	48,8	50,5	51,7	52,8	53,6	54,3
1000	-28,9	-17,7	-10,4	-0,5	10,6	42,7	45,8	48,5	50,2	51,5	52,5	53,3	54,1

se nadaljuje

nadaljevanje preglednice

Tehnologija 3b [€/t], w = 60 %													
Vlačenje [m]	Bukev, povprečni prsni premer sestoja [cm]												
	10,5	14,4	18,1	21,5	24,6	27,5	30,1	32,5	34,8	36,9	39	40,8	42,6
100	-33,3	-19,1	-10,3	0,5	12,9	46,9	50,1	52,7	54,5	55,7	56,8	57,6	58,4
200	-36,3	-21,3	-12,0	-1,0	11,6	45,7	49,0	51,8	53,6	54,9	56,0	56,9	57,7
300	-38,3	-22,8	-13,2	-2,0	10,8	45,0	48,3	51,1	53,0	54,4	55,5	56,4	57,3
400	-39,9	-24,0	-14,2	-2,7	10,1	44,4	47,8	50,6	52,6	54,0	55,1	56,1	56,9
500	-41,2	-24,9	-14,9	-3,4	9,6	43,9	47,4	50,2	52,2	53,6	54,8	55,8	56,6
600	-42,3	-25,8	-15,6	-3,9	9,1	43,5	47,0	49,9	51,9	53,3	54,5	55,5	56,4
700	-43,3	-26,5	-16,2	-4,4	8,7	43,1	46,7	49,6	51,6	53,0	54,3	55,3	56,1
800	-44,2	-27,2	-16,7	-4,8	8,3	42,8	46,4	49,3	51,3	52,8	54,0	55,1	55,9
900	-45,0	-27,8	-17,2	-5,2	7,9	42,5	46,1	49,1	51,1	52,6	53,8	54,9	55,8
1000	-45,8	-28,3	-17,6	-5,6	7,6	42,2	45,8	48,8	50,9	52,4	53,6	54,7	55,6

Tehnologija 3a [€/t], w = 30 %													
Vlačenje [m]	Bukev, povprečni prsni premer sestoja [cm]												
	10,5	14,4	18,1	21,5	24,6	27,5	30,1	32,5	34,8	36,9	39	40,8	42,6
100	10,2	16,6	20,4	24,0	27,0	70,4	72,8	74,9	76,2	77,1	77,9	78,5	79,0
200	5,7	13,3	17,8	21,8	25,2	68,7	71,3	73,6	75,0	75,9	76,8	77,4	78,0
300	2,8	11,1	16,0	20,4	23,9	67,6	70,3	72,6	74,1	75,2	76,0	76,7	77,3
400	0,5	9,4	14,7	19,2	22,9	66,7	69,6	71,9	73,5	74,5	75,4	76,2	76,8
500	-1,5	8,0	13,5	18,3	22,1	66,0	68,9	71,3	72,9	74,0	74,9	75,7	76,4
600	-3,1	6,8	12,6	17,5	21,4	65,4	68,3	70,8	72,4	73,6	74,5	75,3	76,0
700	-4,5	5,7	11,7	16,8	20,8	64,8	67,9	70,4	72,0	73,2	74,2	75,0	75,7
800	-5,9	4,8	11,0	16,1	20,2	64,3	67,4	70,0	71,6	72,9	73,8	74,7	75,4
900	-7,0	3,9	10,3	15,5	19,7	63,9	67,0	69,6	71,3	72,5	73,5	74,4	75,1
1000	-8,1	3,1	9,6	15,0	19,3	63,5	66,6	69,3	71,0	72,2	73,3	74,1	74,9

Tehnologija 3b [€/t], w = 30 %													
Vlačenje [m]	Bukev, povprečni prsni premer sestoja [cm]												
	10,5	14,4	18,1	21,5	24,6	27,5	30,1	32,5	34,8	36,9	39	40,8	42,6
100	-12,5	1,7	9,7	16,0	21,6	67,7	70,8	73,5	75,2	76,5	77,6	78,4	79,2
200	-15,5	-0,5	7,9	14,5	20,3	66,5	69,8	72,5	74,4	75,7	76,8	77,7	78,5
300	-17,5	-2,0	6,8	13,5	19,5	65,8	69,1	71,9	73,8	75,2	76,3	77,2	78,1
400	-19,1	-3,2	5,8	12,7	18,8	65,2	68,6	71,4	73,4	74,7	75,9	76,9	77,7
500	-20,4	-4,1	5,1	12,1	18,3	64,7	68,2	71,0	73,0	74,4	75,6	76,6	77,4
600	-21,5	-5,0	4,4	11,5	17,8	64,3	67,8	70,7	72,7	74,1	75,3	76,3	77,2
700	-22,5	-5,7	3,8	11,0	17,4	63,9	67,4	70,4	72,4	73,8	75,0	76,1	76,9
800	-23,4	-6,4	3,3	10,6	17,0	63,5	67,1	70,1	72,1	73,6	74,8	75,8	76,7
900	-24,2	-7,0	2,8	10,2	16,6	63,2	66,9	69,8	71,9	73,4	74,6	75,7	76,6
1000	-25,0	-7,5	2,4	9,8	16,3	63,0	66,6	69,6	71,7	73,2	74,4	75,5	76,4

V preglednici 52 prikazujemo razliko med nakupno ceno sekancev v toplarni in stroški prevoza ter pridobivanja lesa. Metodologija izračuna je enaka kot pri drugih tehnologijah.

Sveže smrekove sekance pridobljene z tehnologijo 3a lahko prevažamo do razdalje 150 km pri prsnem premeru sestoja 21 cm in spravični razdalji do 500 m in na vseh spravičnih razdaljah pri istem premeru sestoja na 100 km razdalji. Sušene sekance lahko prevažamo na razdalji do 200 km pri prsnem premeru sestoja nad 14 cm in spravični razdalji do 700 m.

Sekance pridobljene iz sestojev s premerom 10 cm in spravilno razdaljo do 500 m lahko prevažamo do 100 km daleč.

Pri tehnologiji 3b lahko vlažne sekance premeru 21 cm vozimo do 100 km daleč, sekance iz sestoja s premerom 24 cm pa do 150 km. Sušene sekance lahko prevažamo na razdalji do 200 km pri prsnem premeru sestoja od 18 cm naprej. Sekance iz sestoja s premerom 14 cm, pri spravilni razdalji do 500 m lahko vozimo do 100 km daleč. Tehnologija v najtanjših sestojih (10 cm) nikjer ne omogoča prevoza sekancev na omenjenih razdaljah.

Preglednica 52: Razlika med nakupno ceno energije smrekovih sekancev franko kamionska cesta kupec ter stroški pridobivanja lesa za različne razdalje spravila, vlažnost in stroške prevoza lesa za tri prevozne razdalje pri tehnologiji 3

Spravilna razdalja	Tehnologija 3a, [€/t], povprečni prsni premer [cm], w = 30 %														
	Prevozna razdalja 100 km					Prevozna razdalja 150 km					Prevozna razdalja 200 km				
	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2
100	5,8	15,5	20,2	32,6	33,5	2,0	11,7	16,4	28,9	29,8	-1,8	8,0	12,6	25,1	26,0
300	0,1	11,7	17,2	31,8	32,9	-3,7	7,9	13,5	28,1	29,1	-7,5	4,1	9,7	24,3	25,4
500	-3,8	9,1	15,2	31,3	32,5	-7,6	5,3	11,5	27,5	28,7	-11,3	1,5	7,7	23,8	25,0
700	-6,8	7,1	13,7	30,9	32,2	-10,5	3,3	9,9	27,1	28,4	-14,3	-0,5	6,2	23,4	24,6
900	-9,2	5,4	12,4	30,6	31,9	-13,0	1,6	8,7	26,8	28,1	-16,8	-2,1	4,9	23,0	24,4
Spravilna razdalja	Tehnologija 3a, [€/t], povprečni prsni premer [cm], w = 60 %														
	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2
	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2
100	-22,1	-12,4	-7,7	4,8	5,7	-25,8	-16,1	-11,4	1,0	1,9	-29,6	-19,9	-15,2	-2,7	-1,8
300	-27,8	-16,2	-10,6	4,0	5,1	-31,6	-20,0	-14,4	0,2	1,3	-35,3	-23,7	-18,2	-3,5	-2,5
500	-31,6	-18,8	-12,6	3,5	4,6	-35,4	-22,5	-16,4	-0,3	0,9	-39,2	-26,3	-20,1	-4,1	-2,9
700	-34,6	-20,8	-14,1	3,0	4,3	-38,4	-24,5	-17,9	-0,7	0,6	-42,2	-28,3	-21,7	-4,5	-3,2
900	-37,1	-22,4	-15,4	2,7	4,0	-40,9	-26,2	-19,2	-1,1	0,3	-44,6	-30,0	-22,9	-4,8	-3,5

se nadaljuje

nadaljevanje preglednice

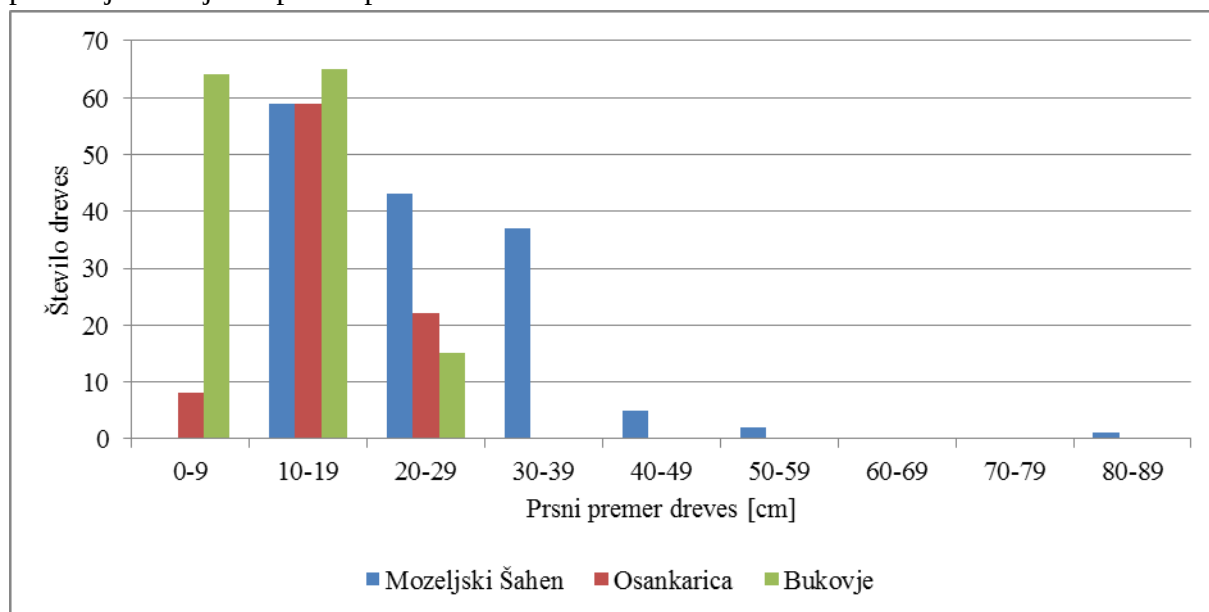
Spravilna razdalja	Tehnologija 3b, [€/t], povprečni prsni premer [cm], w = 30 %														
	Prevozna razdalja 100 km					Prevozna razdalja 150 km					Prevozna razdalja 200 km				
	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2
100	-13,0	5,6	14,4	31,5	32,9	-16,7	1,8	10,7	27,7	29,2	-20,5	-1,9	6,9	24,0	25,4
300	-16,9	3,0	12,4	31,0	32,5	-20,6	-0,8	8,7	27,2	28,7	-24,4	-4,6	4,9	23,4	25,0
500	-19,5	1,2	11,1	30,6	32,2	-23,3	-2,5	7,3	26,8	28,4	-27,0	-6,3	3,5	23,1	24,7
700	-21,5	-0,1	10,0	30,3	32,0	-25,3	-3,9	6,3	26,6	28,2	-29,0	-7,7	2,5	22,8	24,5
900	-23,2	-1,3	9,2	30,1	31,8	-27,0	-5,0	5,4	26,3	28,0	-30,7	-8,8	1,6	22,6	24,3
Spravilna razdalja	Tehnologija 3b, [€/t], povprečni prsni premer [cm], w = 60 %														
	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2	11	14,7	18	21,3	24,2
100	-40,8	-22,3	-13,4	3,7	5,1	-44,6	-26,0	-17,2	-0,1	1,3	-48,4	-29,8	-20,9	-3,9	-2,5
300	-44,7	-24,9	-15,4	3,1	4,7	-48,5	-28,6	-19,2	-0,6	0,9	-52,2	-32,4	-23,0	-4,4	-2,9
500	-47,3	-26,6	-16,8	2,8	4,4	-51,1	-30,4	-20,5	-1,0	0,6	-54,9	-34,2	-24,3	-4,8	-3,2
700	-49,4	-28,0	-17,8	2,5	4,1	-53,1	-31,8	-21,6	-1,3	0,4	-56,9	-35,5	-25,3	-5,1	-3,4
900	-51,0	-29,1	-18,7	2,3	4,0	-54,8	-32,9	-22,4	-1,5	0,2	-58,6	-36,7	-26,2	-5,3	-3,6

4.2 REZULTATI UGOTAVLJANJA POŠKODB DREVES

Predstavljamo podatke o vseh objektih razen podatkov o objektu Bradačeva frata, kjer je podatke za svoje magistrsko delo zbirala Marija Černe in tako niso dostopni.

Zaradi preglednosti rezultatov skušamo podatke združevati in jih prikazovati za vse objekte skupaj. Ko govorimo o vseh novih poškodbah, mislimo na poškodbe, ki smo jih na terenu zbirali v skupinah »nove« ter »nove in stare« poškodbe.

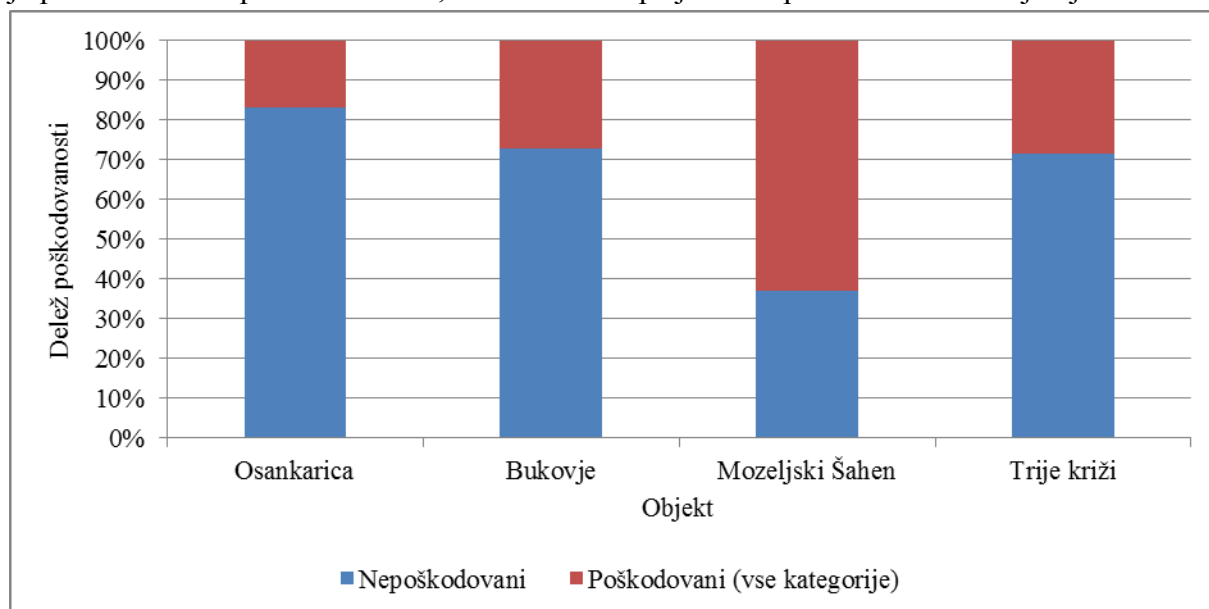
Na sliki 52 prikazujemo frekvenčno porazdelitev prsnih premerov vseh dreves, ki smo jih popisali na ploskvah za ugotavljanje poškodovanosti dreves. Na y osi je predstavljeno število dreves, na x osi pa razdelitev dreves na razrede, s širino razreda 10 cm. V razredu 0 do 9 cm prsnega premera ni podatkov iz Mozelskega Šahna, saj tam podatkov o drevesih s prsnim premerom manjšim od 10 cm nismo zbirali. Objekta Trije križi na grafikonu ne prikazujemo saj tam prsnih premerov nismo izmerili.



Slika 52: Frekvenčna porazdelitev prsnih premerov dreves po posameznih objektih

Frekvenčna porazdelitev dreves nam pokaže predvsem razvojno fazo sestoja na ploskvah. Prav tako lahko iz frekvenčne porazdelitve dobimo občutek za gostoto sestoja, ki je za poškodbe dreves bolj pomemben dejavnik. V neposredni povezavi z gostoto je tudi starost sestoja, ki nam pove več o številu predhodnih posegov. Ugotovimo lahko, da so sestoji na Osankarici in Bukovju mlajši kot v Mozelskem Šahnu, saj so vsa drevesa na ploskvah tanjša od 30 cm prsnega premera. V Mozelskem Šahnu pa lahko ugotovimo večji razpon premerov, večina dreves na ploskvah je imela premer manjši od 40 cm. Prsni premer povprečnega drevesa po posegu je na Osankarici znašal 15,0 cm, v Bukovju 10,3 cm, v Mozelskem Šahnu pa 24,3 cm.

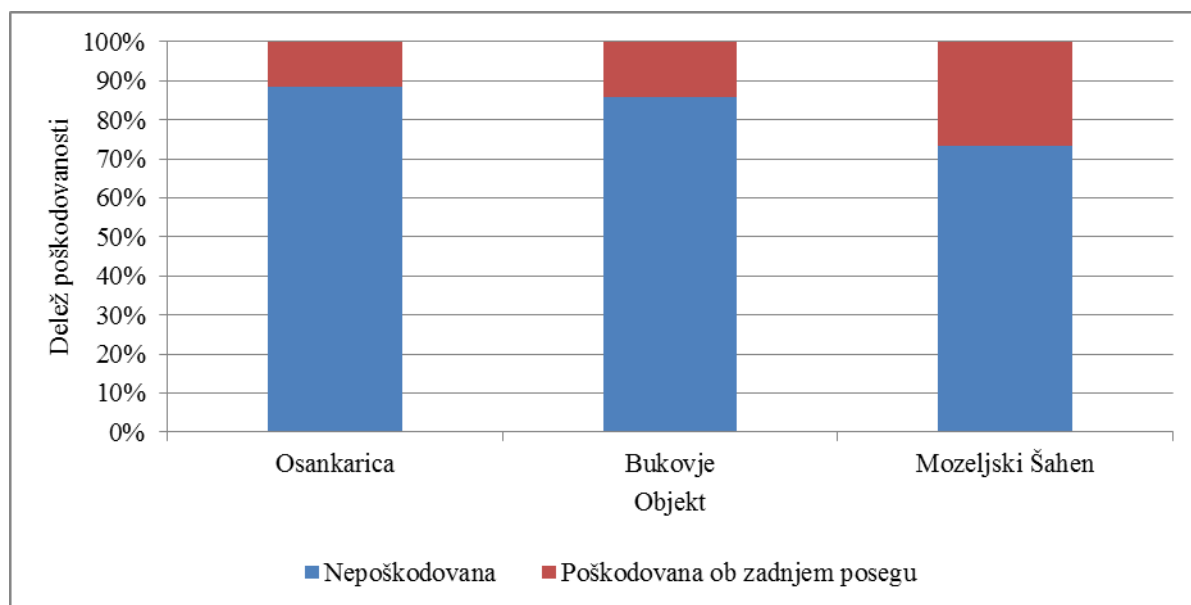
Na sliki 53 primerjamo deleže vseh poškodovanih in vseh nepoškodovanih dreves na posameznih objektih. Pokazati želimo število vseh poškodb - torej »starih«, »novih« ter »novih in starih« poškodb. Veliko število poškodb lahko vidimo predvsem na objektu Mozelski Šahen, kjer je bilo poškodovanega kar 62,8 % objekta. V Bukovju in Treh križih je poškodovanost približno enaka, na Osankarici pa je delež poškodovanosti najnižji.



Slika 53: Primerjava vseh poškodovanih in nepoškodovanih dreves po posameznih objektih

Glavni razlog za tako visoke deleže poškodovanosti je dejstvo, da smo v izračunu upoštevali vse poškodbe – torej tudi poškodbe, ki so nastale pri predhodnih posegih. Najmanj poškodovan objekt, s 16,8 % poškodb, je Osankarica, kjer se redčenja še niso izvajala. Stare poškodbe torej niso posledica gospodarjenja, temveč so nastale zaradi naravnih dejavnikov. V Bukovju, kjer je poškodovanega 27,3 % sestoja, so vidne sledi preteklega gospodarjenja. Na zgornjem delu objekta, pod našimi vzorčnimi ploskvami, je potekala konjska vlaka. Očitno je torej, da so v sestoji že gospodarili. Situacija na objektih Mozelski Šahen in Trije križi je nekoliko drugačna. V obeh objektih je bilo gospodarjeno, vendar se poškodbam zaradi gospodarjenja pridružijo tudi poškodbe zaradi jelenjadi. Tu nastopi težava, saj je vzrok poškodbe zelo težko z gotovostjo ugotoviti.

Na sliki 54 primerjamo vsa nepoškodovana drevesa z vsemi poškodovanimi drevesi glede na starost poškodbe. V izračunu smo upoštevali le skupini poškodb »nova« ter »nova in stara«. Podatke o starih poškodbah smo izločili z namenom, da bi ugotovili koliko dreves je bilo poškodovanih le ob zadnjem gojitvenem posegu.

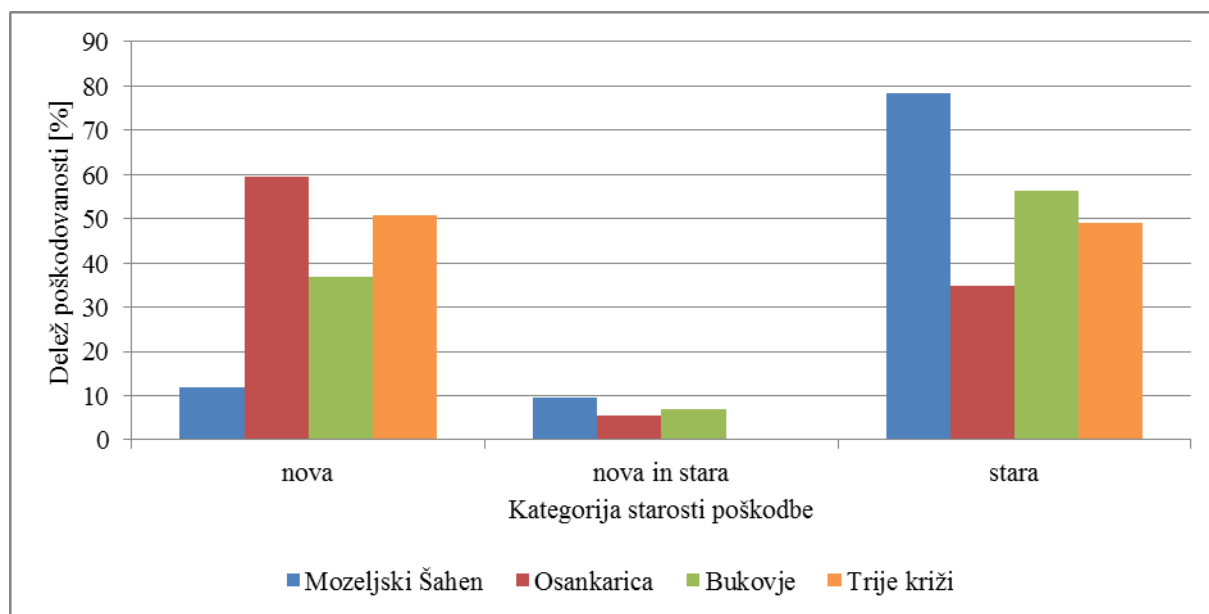


Slika 54: Primerjava med nepoškodovanimi in na novo poškodovanimi drevesi po posameznih objektih

V iglastih sestojih smo na objektih Osankarica in Mozelski Šahen ugotovili 11,6 % in 26,7 % novih poškodb. Poškodovanost je na Osankarici bistveno manjša, razloge za to lahko iščemo v načinu planiranja poskusa in izkušnjah strojnika. Vsekakor je poskus v Mozelskem Šahnu manj modelen in bližje realnosti, objekt Osankarica pa nam lahko poda orientacijo za minimalno mejo poškodovanosti ob delu v idealnih razmerah v mladem sestoji. Na objektu Bukovje, v sestojih listavcev, smo ugotovili 14,1 % poškodovanost. Ugotovimo lahko, da sta objekta Osankarica in Bukovje poškodovana približno enako.

Na slikah 53 in 54 prikazujemo razmerje med poškodovanimi in nepoškodovanimi drevesi v sestoji. Slika 53 prikazuje zelo velik delež poškodovanosti, razlog za to je upoštevanje starih poškodb. Veliko število poškodb lahko vidimo predvsem na objektu Mozelski Šahen, kjer je bilo poškodovanih kar 62,8 % dreves na objektu. Poškodovanost po posegu je znašala 26,7 %, kar pomeni, da je kar 36,1 % dreves bilo poškodovanih prej. Naši podatki torej potrjujejo zakon akumulacije poškodb, ki je bil dokazan z modelom (Košir in Cedilnik, 1996) in terenskimi opazovanji (Košir, 2000).

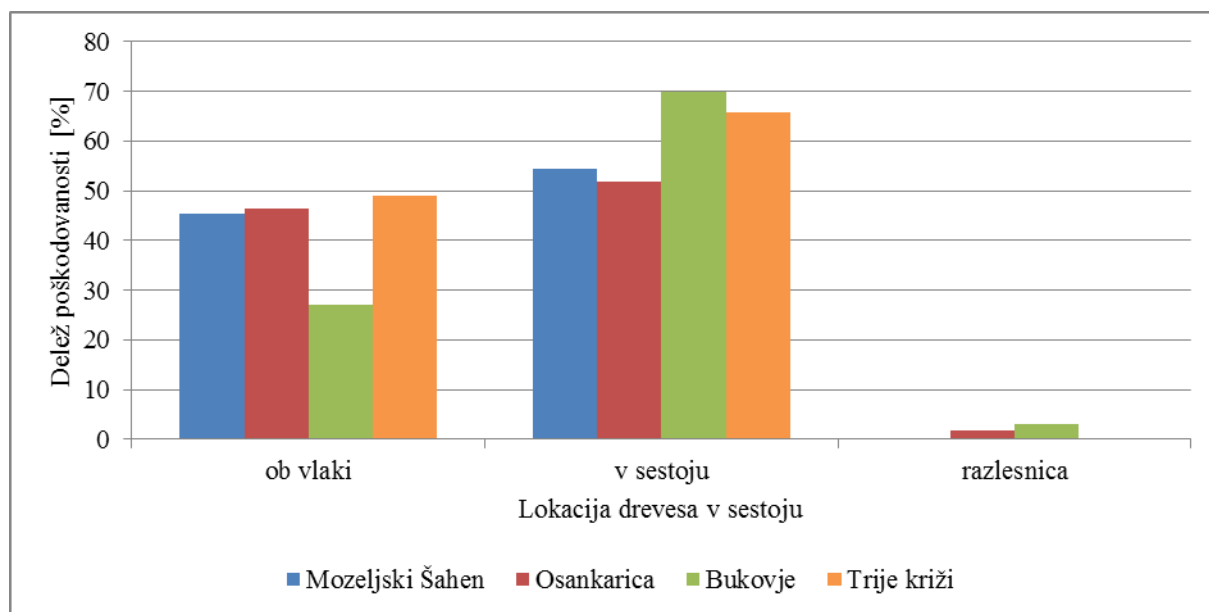
Na sliki 55 prikazujemo starost poškodb na poskusnih objektih v treh razredih – »nova«, »stara« ter »stara in nova«. Deleži prikazani na sliki so odstotki izraženi od vseh poškodovanih dreves. Na objektu Trije križi smo ugotovili samo »nove« in »stare« poškodbe. Poškodb v skupini »nova in stara« nismo zasledili.



Slika 55: Poškodovanost glede na starost poškodb vseh poškodovanih dreves po posameznih objektih

Iz grafikona starosti poškodb (slika 55) je razvidno, da je največ starih poškodb dreves v sestojih, kjer so se že prej izvajala redčenja. Na prvem mestu je Mozeljski Šahen s 78,5 % starih poškodb, sledi Bukovje s 56,3 % in Osankarica s 34,8 % starimi poškodbami. Največ novih poškodb je bilo ugotovljenih na Osankarici – 59,6 %, v Bukovju pa 36,8 %. Najmanj novih poškodb je bilo zabeleženih v Mozeljskem Šahnu – 11,8 %, a je delež novih in starih poškodb tukaj največji – 9,7 %. Odnos med »novimi« ter »novimi in starimi« poškodbami je obratno sorazmeren, saj je v Bukovju več »novih in starih« poškodb – 6,9 %, kot na Osankarici – 5,6 %. Pojav je lahko razložiti, saj je znano (Košir, 2000), da večje kot je število dreves s starimi poškodbami, manjše je število na novo poškodovanih dreves, hkrati pa je večje število dreves v skupini »nove in stare«. Tako v starih sestojih že zmanjkuje dreves, ki bi jih lahko na novo poškodovali.

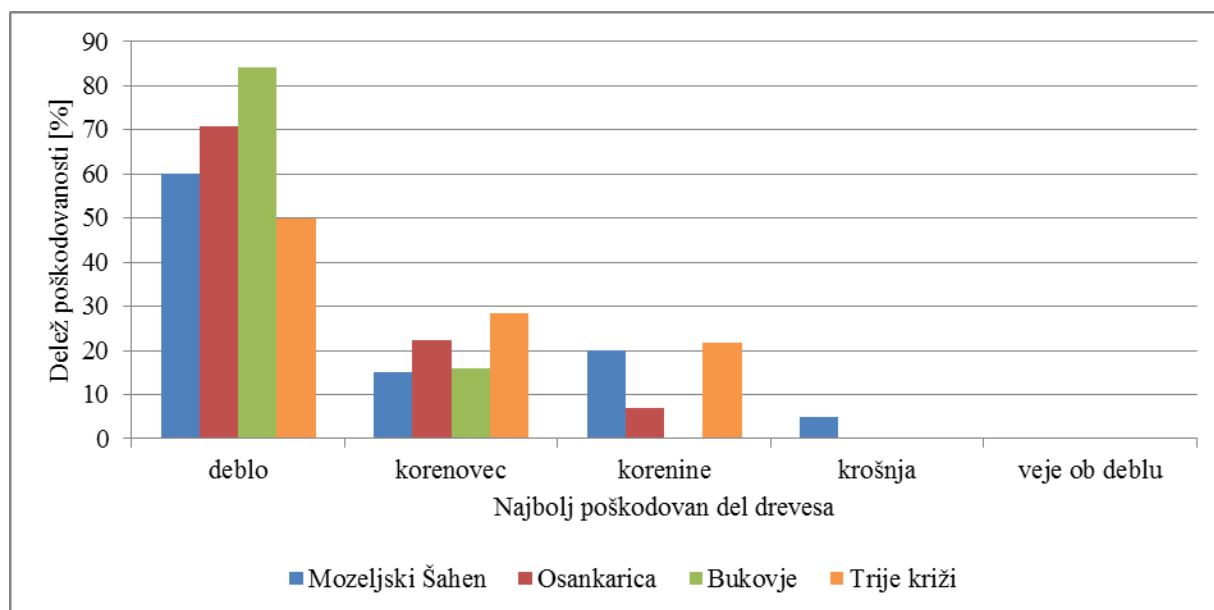
Na sliki 56 prikazujemo lego poškodb v sestoji na poskusnih objektih. Prikazane so le poškodbe, ki so nastale po tej tehnologiji, torej smo upoštevali le skupini »nove« ter »nove in stare«. Na objektu Trije križi smo ploskve, na katerih smo ugotavljali poškodbe, razdelili v dve skupini. Prva skupina so ploskve v sestoji, za katere je značilno, da je manj kot 25 % površine ploskve na prometnici. Druga skupina so ploskve ob gozdnih prometnicah. Delež površine ploskve, ki leži na prometnicah je večji od 26 %. Ugotavljanje lege ploskve ob razlesnici na objektu Trije križi na opisani način ni bilo mogoče, zato vrednosti ob razlesnici nismo ugotavljali.



Slika 56: Poškodovanost glede na lego novih poškodb v sestoju po posameznih objektih

Grafikon na sliki 56 pokaže malo poškodb na razlesnici, saj v Mozelskem Šahnu takšnih poškodb nismo zabeležili, na ostalih objektih pa je teh poškodb manj kot 5 %. Na vseh objektih smo opazili več poškodb dreves v sestoju, kot ob vlaki. Razlika je velika v Bukovju, kjer smo ugotovili kar 69,8 % poškodb dreves v sestoju in 27,0 % ob vlaki ter na Treh križih, kjer smo ugotovili 56,7 % poškodovanost dreves v sestoju in 49,0 % ob vlaki. Razlika je manj izrazita v Mozelskem Šahnu, kjer smo v sestoju ugotovili 54,5 % poškodb, ob vlaki pa 45,5 %. Na Osankarici je bilo v sestoju poškodovanih 51,7 %, ob vlaki pa 46,6 % dreves. Razlike med obema objektoma so torej minimalne.

Na sliki 57 prikazujemo lokacijo poškodb na posameznih popisanih poškodovanih drevesih. V izračunu so bila upoštevana le na novo poškodovana drevesa, razen na objektu Trije križi, kjer so upoštewane poškodbe vseh starosti. Rezultati na objektu Trije križi zato niso direktno primerljivi z ostalimi objekti.

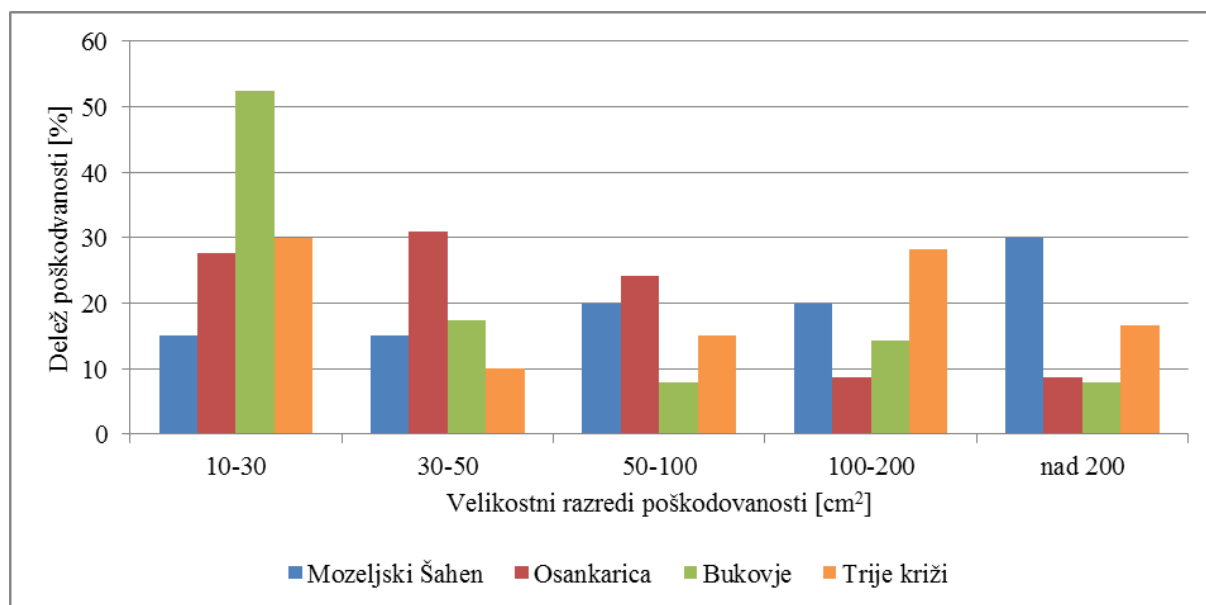


Slika 57: Poškodovanost glede na lokacijo poškodbe na drevesu po posameznih objektih

Rezultati poškodovanosti dreves glede na lokacijo poškodbe (slika 57) kažejo, da je večina novih poškodb skoncentrirana na deblu.

Poškodb vej ob deblu nismo ugotovili nikjer, razlog je v dejstvu, da poškodbe vej nastajajo med sečnjo. Če pa se zgodi, da padajoče drevo odlomi nekaj vej ob deblu stoječega drevesa, po naši metodi prevladajo večje poškodbe, ki nastanejo zaradi sečnje ali spravila in se nahajajo na deblu, ali pa korenovcu. Rezultati so zanimivi in kažejo na razlike med listavci in iglavci. Kot vidimo se pri listavcih poškodbe pojavljajo le na deblu in korenovcu, medtem ko so iglavci, precej bolj kot listavci, podvrženi poškodbam korenin.

Na sliki 58 prikazujemo razporeditev velikosti poškodb po velikostnih razredih površine poškodb. Za vse objekte so prikazane le nove poškodbe, razen na objektu Trije križi, kjer prikazujemo poškodbe vseh starosti.



Slika 58: Razporeditev vseh novih poškodb po velikostnih razredih

Velikost poškodb je precej različno porazdeljena in variira od objekta do objekta. V Bukovju ima velikost poškodb izrazit trend padanja, od majhnih poškodb proti velikim. Na objektu je največ majhnih poškodb in malo velikih. Večina poškodb – 52,4 % se nahaja v razredu od 10 do 30 cm². V razredu od 30 do 50 cm² je 17,5 % poškodb, v razredu od 100 do 200 cm² pa 14,3 % poškodb. V preostalih dveh razredih je poškodovanost enaka in znaša 7,9 %.

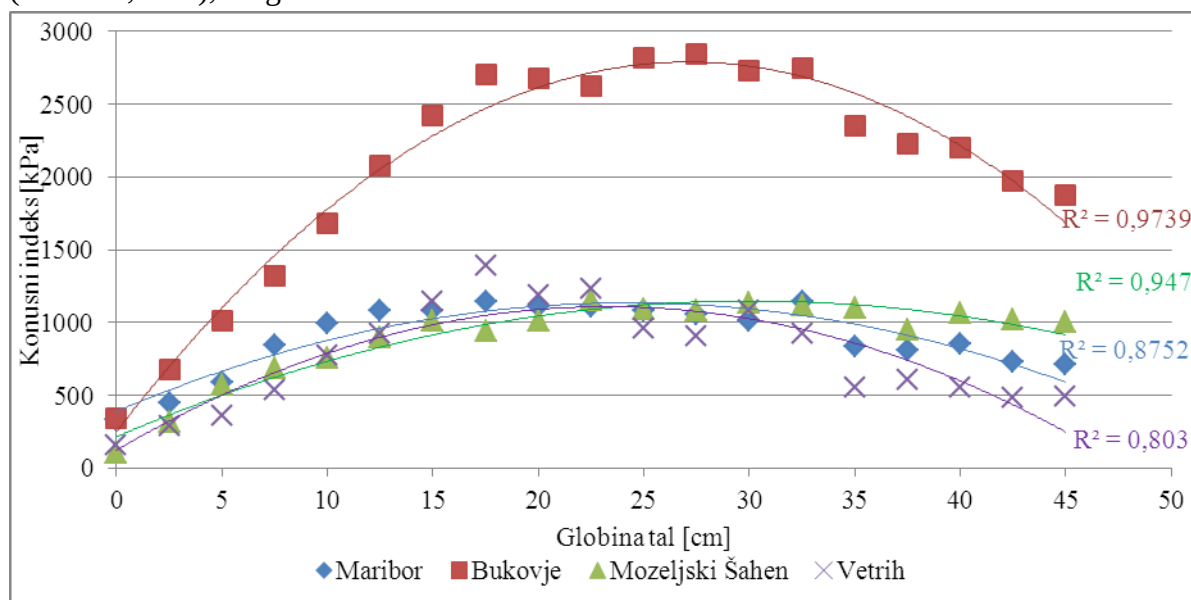
Razloge za opisane trende lahko iščemo v premerih dreves. Na Osankarici in v Bukovju so drevesa tanjša, zato imajo manjše premere, kot v Mozeljskem Šahnu in na Treh križih. Iz tega sledi, da je na manjšem drevesu težje narediti poškodbo večjo kot 200 cm². Zaradi tega je v tanjših sestojih več manjših poškodb, v debelejših pa je običajno več večjih poškodb.

4.3 REZULTATI UGOTAVLJANJA POŠKODB TAL

Deli tega poglavja so objavljeni v končnem poročilu projekta CRP V4-1126 Možnosti in omejitve pridobivanja biomase iz gozdov.

4.3.1 Konusni indeks in vlažnost tal

Konusni indeks smo merili na nemotenih tleh s penetrometrom. Le-ta sam odčitava in shrani vrednost sile, ki je potrebna, da konus potisnemo v tla. Postopek smo ponovili na vsakem profilu in izračunali povprečne vrednosti konusnega indeksa za vse globine. Tako smo dobili povprečno vrednost konusnega indeksa na posameznih objektih za vsako globino posebej (vsakih 2,5 cm), do globine 45 cm.



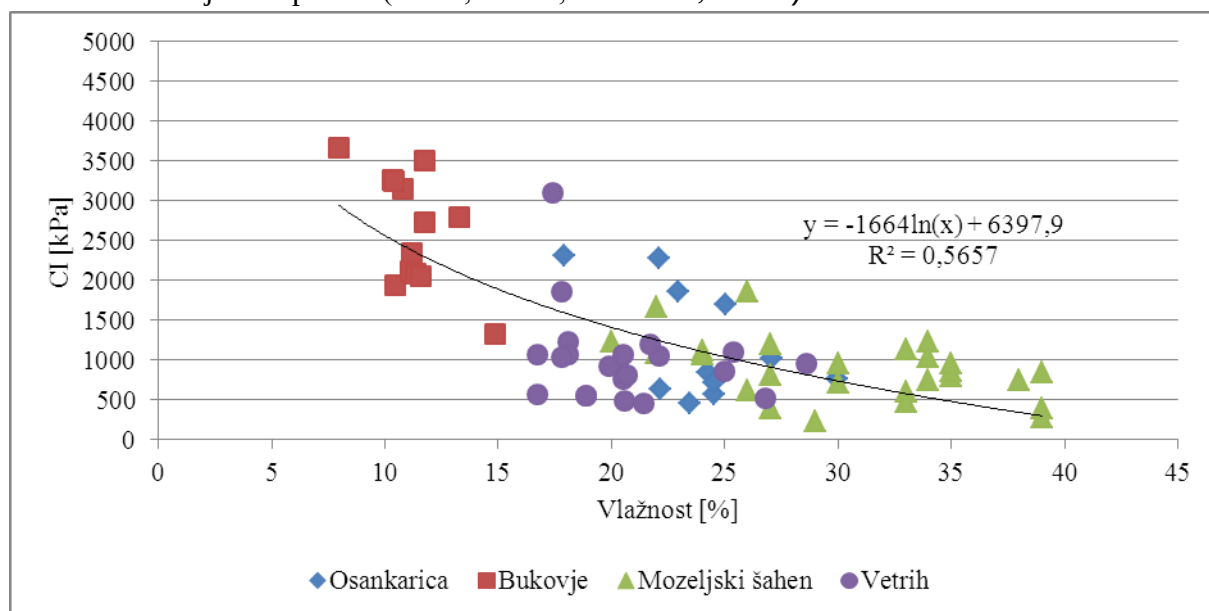
Slika 59: Trendi spreminjanja konusnega indeksa z globino tal

Slika prikazuje spreminjanje konusnega indeksa s povečevanjem globine tal po posameznih objektih. Konusni indeks je bil v povprečju največji v Bukovju, kjer smo na določenih globinah izmerili vrednosti, ki so presegale 2500 kPa. Povprečna trdnost tam presega 2000 kPa. Na ostalih objektih smo izmerili nižje vrednosti konusnega indeksa. V Mozelskem Šahnu je konusni indeks naraščal do globine 15 cm, nato pa se je ustalil in ni več izrazito upadal. Tam je bil povprečni konusni indeks 896,0 kPa. Na Osankarici je konusni indeks dosegel vrednost 1000 kPa že pri 10 cm. Vrednosti nato presegajo 1000 kPa do globine 33 cm, nato pa začnejo upadati od globine 45 cm. Tu so tla po trdnosti primerljiva s Šahnom (894,1 kPa). Na Vetrihu izmerjene vrednosti konusnega indeksa naraščajo do globine 15 cm. Vrednosti nato močno poskočijo pri globini 18 cm, skoraj do 1500 kPa, kar nakazuje na prisotnost plasti z večjo trdnostjo. Vrednosti konusnega indeksa nato počasi padajo do globine 45 cm, ko dosežejo vrednost 500 kPa. Najmehkejša tla smo izmerili v Vetrihu (767,0 kPa).

Pri vseh objektih z globino tal trdnost najprej narašča, nato pa začne upadati, kar prikazujemo na sliki 59. Trend naraščanja in upadanja konusnega indeksa je primerljiv z ugotovitvami tujih raziskav (Nugent in sod., 2003).

Poudarimo naj, da so bile meritve konusnega indeksa opravljene na raščenih tleh, kjer ni bilo vožnje. Slika 59 torej predstavlja naraščanje konusnega indeksa v odvisnosti od globine tal na naravnih, nemotenih tleh.

V tujih raziskavah ugotavljajo, da sta konusni indeks in vlažnost tal v precej tesni korelaciji (ASAE, 1994; Saarilahti, 2002a). To odvisnost smo preverili tudi s podatki iz naših objektov. Na posameznem profilu smo primerjali izmerjeno vlažnost tal in konusni indeks. Vrednost konusnega indeksa smo izračunali iz povprečne vrednosti konusnega indeksa na globini 10 in 20 cm, kot je to uveljavljeno v tuji in domači literaturi, ob upoštevanju tipa tal in lastnosti strojev v uporabi (Košir, 2010a; Saarilahti, 2002a).



Slika 60: Vrednosti konusnega indeksa glede na vlažnost tal po posameznih objektih

Tla v Bukovju so bila najmanj vlažna in najbolj trdna, sledijo tla v Mislinji in na Osankarici. Najbolj vlažna tla smo namerili v Mozelskem Šahnu, kjer so imela tla tudi najnižjo vrednost konusnega indeksa. V Mozelskem Šahnu je opazen tudi največji raztros vrednosti vlage v tleh pri razmeroma majhnih razlikah v trdnosti tal. Ugotovimo lahko, da se trdnost tal zmanjšuje z naraščanjem vlage v tleh.

4.3.2 Širina sečnih poti in svetlih profilov

Širina sečne poti je pomembna predvsem zaradi ugotavljanja odnosa med širino stroja in širino sečnih poti, za ugotavljanje potrebne tehnološke površine in količine motenih tal na objektu.

4.3.2.1 Širina sečne poti

Na vsakem profilu smo izračunali širino sečne poti iz razlike horizontalnih razdalj obeh robov.

Preglednica 53: Širine sečnih poti po posameznih fazah pridobivanja lesa in po objektih

Objekt	Proces	N	Aritmetična sredina [cm]	Standardni odklon [cm]
Osankarica	Sečnja	42	369	38
	Spravilo	42	370	33
Bukovje	Sečnja	59	415	87
	Spravilo	58	417	75
Mozeljski Šahen	Sečnja	31	376	81
	Spravilo	30	391	98
Trije križi	Sečnja	68	350	79
	Spravilo	75	353	57
Vetrih	Sečnja	82	295	34
	Spravilo	83	314	56

Širine sečnih poti nihajo kljub temu, da je uporabljena mehanizacija enaka. Najširše povprečne sečne poti so bile izmerjene v Bukovju (415 cm po sečnji in 417 cm po spravilu). Tla so bila tu najbolj trdna (konusni indeks je bil tu največji), a so vseeno globoka, kar lahko vodi k različnim plastičnim spremembam tal. Na objektu je bil teren sicer lahek in položen, vendar pa je pomembna prisotnost jarkov, ki so povzročili, da je stroj včasih vozil po grebenu jarka, drugič pa se je spustil v jarek. Vsi naštet razlogi zagotovo pripomorejo k povečanju širine sečne poti. Na Osankarici so širine sečnih poti precej manjše, kot v Bukovju, čeprav je na obeh objektih delal isti strojnik z istimi stroji. Zanimalo nas je, ali se širina sečne poti po spravilu spremeni in kako se spremeni.

Preglednica 54: Prikaz spremembe sečnih poti po spravilu

Objekt	Enaka kot po sečnji	Manjša kot po sečnji	Večja kot po sečnji
Osankarica	64 %	21 %	14 %
Bukovje	20 %	46 %	34 %
Mozeljski Šahen	6 %	52 %	42 %
Trije križi	1 %	59 %	40 %
Vetrih	1 %	62 %	37 %

Širine sečnih poti so na večini objektov večje po spravilu kot po sečnji. Na objektu Osankarica je sečna pot po spravilu v povprečju širša za 1 cm, v Bukovju za 2 cm, na Treh križih za 3 cm, v Mozeljskem Šahnu pa za 15 cm. V Vetrihu je razlika največja, sečna pot se je po spravilu v povprečju razširila za 19 cm. Razlike lahko razložimo z več dejstvi. Prvo dejstvo je, da so bile razmere na Osankarici in Bukovju zelo ugodne. Teren je bil položen in enakomeren, sečne poti pa ravne in brez zavojev. Situacija v Mozeljskem Šahnu, na Treh križih in v Vetrihu pa je bližje tipičnemu delovišču v praksi, saj je bil teren bolj razgiban. Na vseh primerih lahko tudi vidimo, da je zgibni polprikoličar, ki je manj okreten dodal pomemben delež k končni širini poti.

Primerjali smo širino sečne poti po sečnji s širino poti po spravilu lesa. Največ enakih profilov na objektih lahko zasledimo na Osankarici (64 %) in Bukovju (20 %), torej na objektih, na katerih so bile sečne poti ravne in enosmerne. Na Osankarici je največ profilov imelo enako širino, kot po sečnji tudi po spravilu lesa, deleži profilov, ki so različni, so majhni. Podobna situacija je tudi v Bukovju, le da je tu delež nespremenjenih profilov manjši. Razlog za takšne rezultate je najverjetneje poskusni značaj objektov ter odsotnost zavojev. Na objektih, ki so bolj podobni objektom v praksi (Mozeljski Šahen, Trije križi in Vetrih) pa je zelo malo profilov, ki so ostali nespremenjeni. Zanimivo je, da je na vseh treh objektih več profilov, ki so ožji po spravilu lesa. Delež takšnih profilov je najvišji v Vetrihu (62 %).

Na širino sečne poti v veliki meri vpliva velikost stroja, zato smo izračunane podatke o širinah sečnih poti primerjali s širinami strojev za sečnjo in spravilo, ki so na objektih delali. Izračunali smo koeficiente širine sečnih poti glede na širino stroja.

Preglednica 55: Koeficienti širine sečne poti glede na širino stroja

Objekt	Faza	Povprečje	Min	Max
Osankarica	sečnja	1,27	1,12	1,72
	spravilo	1,37	1,21	1,71
Bukovje	sečnja	1,43	1,04	2,65
	spravilo	1,54	1,24	2,79
Mozeljski Šahen	sečnja	1,25	1,01	2,29
	spravilo	1,36	1,12	2,61
Trije križi	sečnja	1,17	0,93	2,44
	spravilo	1,22	0,99	2,37
Vetrih	sečnja	1,16	0,94	1,70
	spravilo	1,23	0,98	2,26

Iz preglednice 55 lahko ugotovimo, da se koeficienti širine sečne poti v povprečju z vsako naslednjo fazo pridobivanja lesa povečujejo. Povprečni koeficient širine sečne poti po sečnji je najmanjši v Vetrihu in na Treh križih. Sledita Mozeljski Šahen in Osankarica, največji koeficienti pa so bili ugotovljeni v Bukovju. Povprečni koeficient širine sečne poti po spravilu je na vseh objektih večji kot po sečnji. V Vetrihu in na Treh križih se koeficient poveča za 0,07 oziroma za 0,05. Na Osankarici se indeks po spravilu poveča za 0,10, v Bukovju in v Mozeljskem Šahnu pa se poveča za 0,11.

Najmanjše širine sečnih poti po sečnji in spravilu so na vseh objektih večje po spravilu kot po sečnji. Iz maksimalnih koeficientov lahko ugotovimo, da so na nekaterih profilih sečne poti lahko zelo razširjene, čeprav povprečna sečna pot ni zelo široka glede na stroj.

Največje razlike med povprečnim in maksimalnim koeficientom smo opazili v Bukovju in Mozeljskem Šahnu, sledijo Trije križi z povečanjem koeficienta za 1,15 in Vetrih s povečanjem za 1,03. Najmanjše odstopanje od povprečja je bilo opaženo na Osankarici, kjer je najširši profil od povprečja koeficienta širine sečne poti večji za 0,34.

4.3.2.2 Širina svetlega profila

Širino svetlega profila na profilih smo izračunali iz horizontalnih razdalj. Svetli profil je predstavljala razlika horizontalne razdalje med raščenimi tlemi na desni in levi strani.

Preglednica 56: Širine svetlega profila po posameznih fazah pridobivanja lesa in po objektih

Objekt	Faza	N	Aritmetična sredina [cm]	Standardni odklon [cm]
Osankarica	Sečnja	42	764	144
	Spravilo	42	792	100
Bukovje	Sečnja	59	693	106
	Spravilo	58	720	103
Mozeljski Šahen	Sečnja	31	685	109
	Spravilo	30	673	115
Trije križi	Sečnja	80	432	211
	Spravilo	76	494	108
Vetrih	Sečnja	82	459	76
	Spravilo	83	483	107

Širina svetlega profila se po vsaki fazi delovnega procesa poveča. Na Osankarici se je svetli profil povečal za 28 cm, povečanje je primerljivo v Bukovju, zelo podobno tudi na Vetrihu – 24 cm. V Mozeljskem Šahnu se svetli profil zmanjša za 12 cm, medtem ko je povečanje največje na Treh križih in znaša kar 62 cm.

Preglednica 57: Prikaz spremembe svetlih profilov po spravi

Objekt	Enaka kot po sečnji	Manjša kot po sečnji	Večja kot po sečnji
Osankarica	93 %	7 %	0 %
Bukovje	49 %	36 %	15 %
Mozeljski Šahen	26 %	29 %	45 %
Trije križi	53 %	24 %	24 %
Vetrih	12 %	60 %	28 %

V nasprotju s širino sečne poti ostane širina svetlega profila enaka na večjem številu profilov. Objekt z najbolj homogenimi širinami svetlega profila je Osankarica, kjer ima 93 % profilov enako širino, manjših je bilo 7 %, profilov, ki bi bili po spravi širši kot po sečnji, pa ni bilo. V Bukovju se širina svetlega profila ni spremenila na 49 % profilov, manjša je bila na 36 % profilov, večja pa na 15 %. Bukovju je najbolj podoben objekt Trije križi, kjer ni bilo nobene spremembe na 53 % profilov, medtem ko sta povečanje in zmanjšanje svetlega profila prisotna na enakem odstotku profilov. Mozeljski Šahen in Vetrih imata najmanj širin svetlih profilov, ki so ostale enake po naslednji fazi dela. Povečanje svetle širine profilov je največje v Mozeljskem Šahnu (45 %), zmanjšanje svetlih profilov pa je največje na Vetrihu (60 %). Širino svetlega profila smo primerjali z širinami strojev, ki so bili uporabljeni v procesu. Na isti način, kot pri širini sečne poti smo izračunali koeficiente.

Preglednica 58: Koeficienti širine svetlega profila glede na širino sečne poti

Objekt	Faza	Povprečje	Min	Max
Osankarica	spravilo	2,15	1,58	2,72
Bukovje	spravilo	1,75	1,26	2,49
Mozeljski Šahen	spravilo	1,75	1,29	2,15
Trije križi	spravilo	1,43	1,12	2,11
Vetrih	spravilo	1,59	1,15	2,80

Izračunali smo še povprečne koeficiente širine svetlega profila glede na širino sečne poti. Ugotovimo lahko, da je največji koeficient razlike med tehnološkim prostorom in prostorom potrebnim za premikanje stroja na Osankarici, s koeficientom širine 2,15, sledita objekta Bukovje in Mozeljski Šahen s koeficientom 1,75, nato objekt Vetrih s koeficientom 1,59, najmanjši koeficient pa ima objekt Trije križi, kjer le-ta znaša le 1,43.

4.3.1 Motena površina na objektih

Kot smo že omenili, nas zanima tudi delež motene površine. Delež motene površine se spreminja v odvisnosti od načina gojenja gozdov (pri golosečnih sistemih je ponavadi motena površina večja), intenzitete posegov in uporabljene tehnologije. Načina dela, priprave dela in izkušnosti ter motivacije delavcev seveda ne gre zanemariti. V preglednici 59 prikazujemo delež motene površine po objektih in skupaj. Do motene površine smo prišli s pomočjo povprečne širine sečne poti na objektu, seštevka vseh prometnic na objektu (brez gozdnih cest) ter podatka o površini objekta. Izračunali smo tudi skupno površino motenih objektov.

Preglednica 59: Delitev kolesnic na tipe glede na njihovo globino

Objekt	Faza	Povp. širina sečne poti [m]	Dolžina prometnice [m]	Motena površina [m ²]	Motena površina v [m ² /ha]	Površina v [%/ha]
Osankarica	Sečnja	3,69	477	1760	1467	14,67
	Spravilo	3,70	477	1765	1471	14,71
Bukovje	Sečnja	4,15	583	2419	2050	20,50
	Spravilo	4,17	583	2431	2060	20,60
Mozeljski Šahen	Sečnja	3,76	1997	7509	1887	18,87
	Spravilo	3,91	1997	7808	1962	19,62
Trije križi	Sečnja	3,50	3287	11505	2083	20,83
	Spravilo	3,53	3287	11603	2100	21,00
Vetrih	Sečnja	2,95	879	2593	1621	16,21
	Spravilo	3,14	879	2760	1725	17,25
Skupaj	Sečnja	3,61			1822	18,22
	Spravilo	3,69			1898	18,98

Največ motene površine je bilo v Bukovju, kjer odstotek motene površine presega 20,5 % površine. Sledijo Trije križi, kjer je bilo motene površine po sečnji 20,8 %, po spravilu pa 21,0 %. Le za odstotek manjše vrednosti so bile izmerjene v Mozeljskem Šahnu, kjer je po sečnji bilo 18,9 % motene površine, po spravilu pa 19,6 %. Zanimiva je razlika med Osankarico in Vetrihom. Na Osankarici je motena površina manjša (14,67 in 14,71 %) od motene površine na Vetrihu (16,21 in 17,25 %), čeprav je na Vetrihu delal manjši stroj za sečnjo in spravilo. Splošen trend, ki ga lahko opazimo je, da odstotek motene površine po vsaki delovni fazi narašča.

4.3.2 Globina kolesnic glede na os profila

Globine kolesnice na posameznem profilu smo izračunali iz podatkov o vertikalnih razdaljah. Izračunali smo jih s pomočjo dveh premic. Prva premica poteka preko levega roba in osi profila, druga pa preko osi in desnega roba. Tema premicama smo določili enačbe, naklon k , prosti člen n pa smo izračunali iz podatkov.

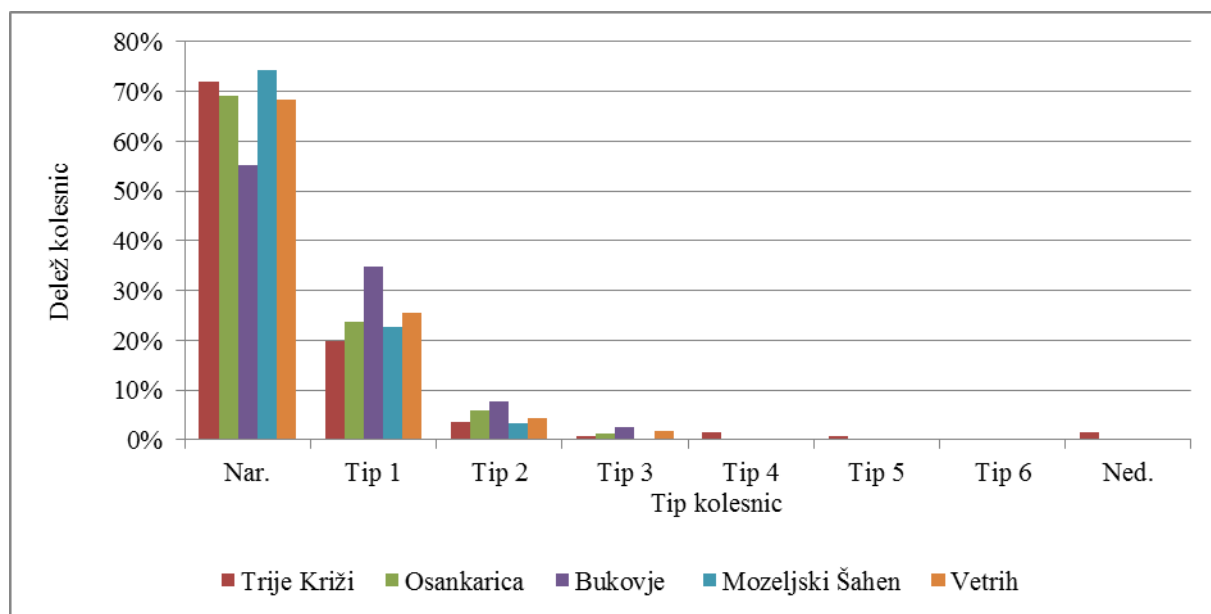
$$Y = k \cdot x + n$$

Ti dve premici sta na profilu predstavljali vertikalno višino tal pred sečnjo, ki v tej fazi ni bila izmerjena na terenu. Izmerjeno višino smo odšteli od izračunane višine ter dobili globino kolesnice po vsaki fazi posebej. Obravnavali smo vsako kolesnico posebej, saj so bile razlike med dvema kolesnicama na istem profilu lahko precej velike. Naredili smo tudi razdelitev globin kolesnic glede na njihovo globino. Razvrstili smo jih v osem različnih tipov. Za širino razreda smo vzeli 5 cm (preglednica 60). Prvi tip smo poimenovali »narinjeno«, kar pomeni, da je ta razred zajemal vse kolesnice z globino 0 in več. Zadnji tip smo označili kot »nedovoljeno«, sem so padle vse vrednosti, nad in vključno s 30 cm.

Preglednica 60: Delitev kolesnic na tipe glede na njihovo globino

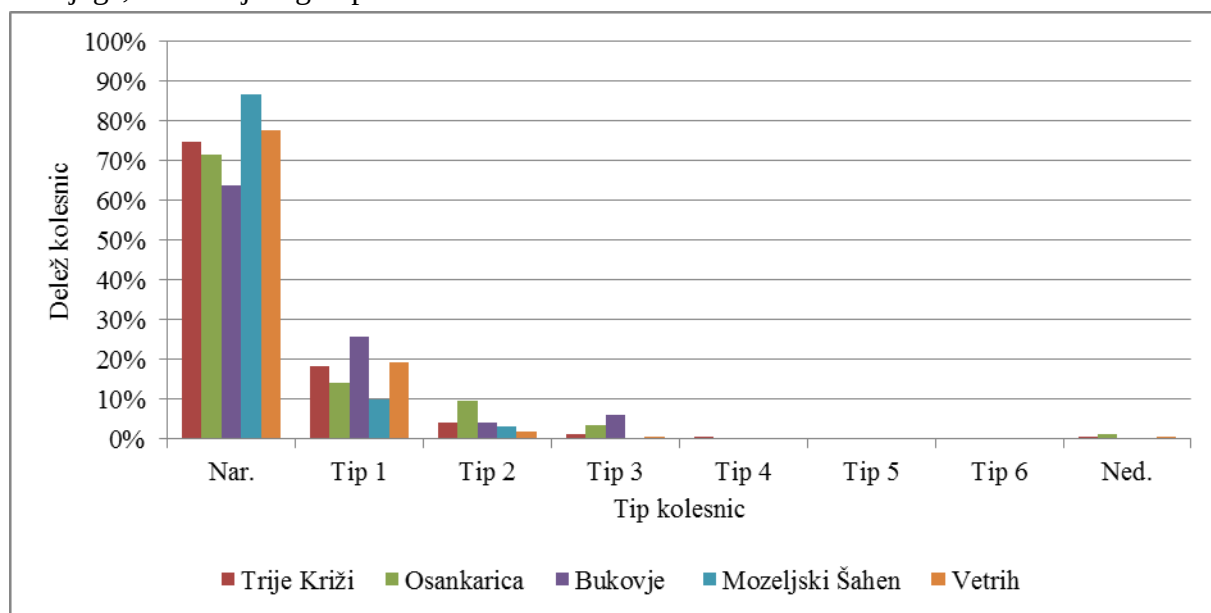
Tip	Globina [cm]
Narinjeno	Nad 0
Tip 1	Od vključno 0 do -5
Tip 2	Od vključno -5 do -10
Tip 3	Od vključno -10 do -15
Tip 4	Od vključno -15 do -20
Tip 5	Od vključno -20 do -25
Tip 6	Od vključno -25 do -30
Nedovoljeno	Manj in vključno -30

Na objektih izmerjene vrednosti smo nato razporedili po tipih iz preglednice 60. Primerjavo med objekti prikazujemo na slikah 61 in 62.



Slika 61: Primerjava globin kolesnic po objektih po sečnji

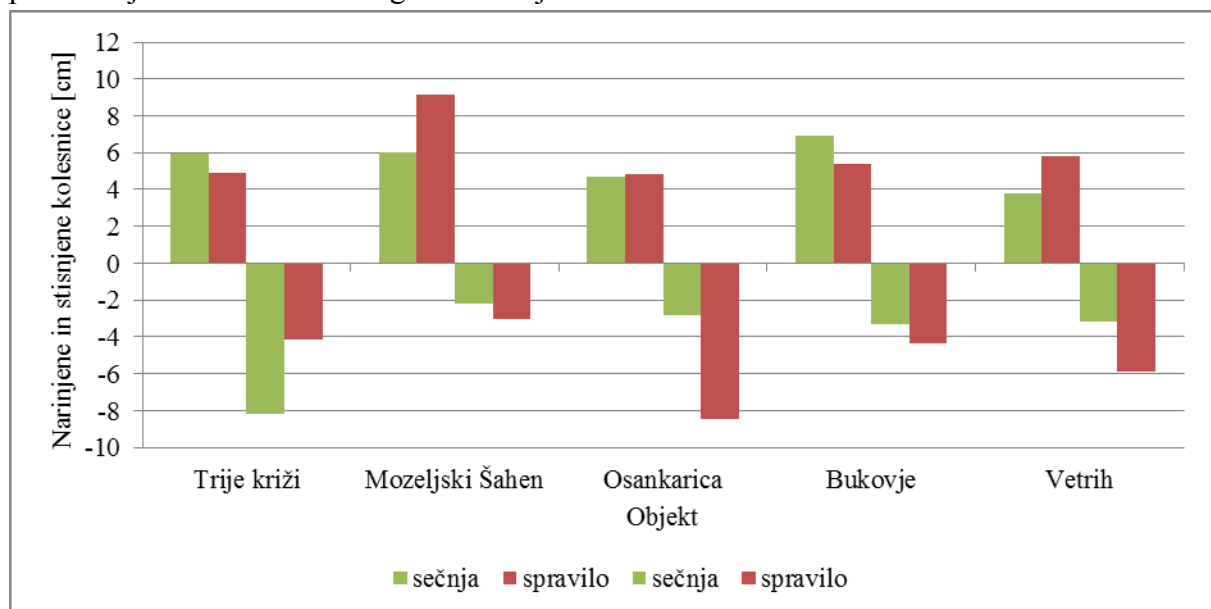
Razvidno je, da največji delež kolesnic pri večini objektov predstavljajo narinjene kolesnice. Tem sledita tipa kolesnice 1 in 2, delež globljih kolesnic pa je nato vse manjši in pada vse do zadnjega, nedovoljenega tipa.



Slika 62: Primerjava globin kolesnic po objektih po pravilu

Primerjava podatkov o globinah kolesnic po sečnji in po pravilu kaže, da se delež narinjenih kolesnic po pravilu poveča. Zanimivo je zmanjšanje deleža kolesnic vseh tipov. Močno se zmanjša delež kolesnic tipa 1 in tipa 2 (razen na Osankarici). Pri tipu 3 se na objektih Osankarica in Bukovje delež takšnih kolesnic po prehodu zgibnega polprikoličarja poveča, pri ostalih objektih pa upade. Delež kolesnic tipa 4 se po prehodu zgibnega

polprikoličarja zmanjša, tipa 5 in 6 pa po spravi ni več. Zelo zanimiva je tudi razporeditev kolesnic, saj je velika večina kolesnic narinjena in ne stisnjena, kot bi morda pričakovali. Iz slik 61 in 62 je razvidno, da je velik delež kolesnic na objektih narinjenih. Delež narinjenih kolesnic na nekaterih objektih presega 50 %. Zato smo se odločili narediti podrobnejšo analizo kolesnic glede na objekt.



Slika 63: Povprečna narinjena in stisnjena kolesnica na objektu glede na fazo pridobivanja lesa

Iz slike 63 je razvidno, da se povprečne velikosti narinjenih in stisnjenih kolesnic zelo različno spreminjajo.

Na Treh križih je bila po sečnji povprečna kolesnica bolj stisnjena kot narinjena, po spravi pa se je situacija obrnila. V Mozelskem Šahnu je bila po sečnji povprečna kolesnica bolj narinjena kot stisnjena, po spravi pa se je ta razlika še povečala – povprečna narinjena kolesnica na objektu je bila višja za 8 cm, povprečna stisnjena pa globoka 3 cm. Oba objekta sta imela trdo matično podlago – apnenec.

Osankarica je edini objekt, na katerem se povprečna globina stisnjenih kolesnic po spravi močno poveča. Na tem objektu je povprečna stisnjena kolesnica po spravi bistveno globlja od višine narinjene kolesnice. Po sečnji razlika ni tako izrazita, saj je bila višina povprečne narinjene kolesnice večja od povprečne stisnjene kolesnice.

V Bukovju je povprečna višina narinjene kolesnice po sečnji višja (7 cm), od stisnjene kolesnice (-3 cm). Razlika se zmanjša po spravi, ko je povprečna narinjena kolesnica visoka 5 cm, povprečna stisnjena kolesnica pa globoka 4 cm.

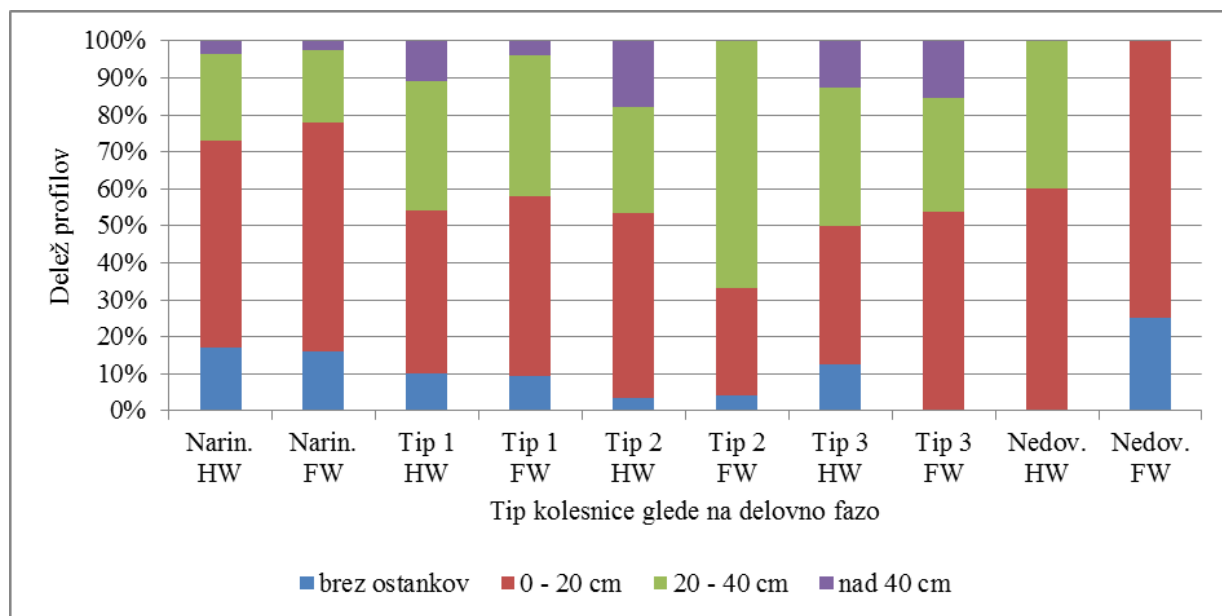
V Vetrihu sta kolesnici po sečnji približno enaki. Povprečna narinjena je visoka 4 cm, povprečna stisnjena pa je globoka 3 cm. Kolesnici sta po spravi enaki – narinjena je visoka 6 cm, medtem ko je stisnjena globoka 6 cm.

4.3.3 Sečni ostanki

V literaturi lahko zasledimo, da na globino kolesnic vpliva izdelava vejne preproge. Zato in zaradi ugotavljanja količine dostopnih sečnih ostankov v naših razmerah in pri naših jakostih sečenj, smo na vseh objektih poleg globine in širine profilov ugotavljali tudi debelino in pokritost s sečnimi ostanki na kolesnicah ter debelino in pokritost s sečnimi ostanki med kolesnicami.

4.3.3.1 Vpliv debeline vejne preproge na globino kolesnic

Da bi ugotovili vpliv vejne preproge na globino kolesnic, smo primerjali debelino sečnih ostankov in stisnjenost kolesnic. Debelino sečnih ostankov smo razdelili v štiri razrede in sicer: brez ostankov, od 0 do 10 cm, od 10 do 40 cm in nad 40 cm. Na sliki 64 prikazujemo tipe kolesnic po sečnji in po spravi z deleži različnih debelin sečnih ostankov. Na sliki HW označuje stroj za sečnjo, FW pa zgibni polprikoličar. Tipe kolesnic 4, 5, 6 smo izločili iz obdelave podatkov, saj je takšnih profilov premalo.



Slika 64: Porazdelitev globine kolesnic po tipih glede na debelino sečnih ostankov (skupaj)

Prevladujoča debelina sečnih ostankov na vseh objektih po sečnji je v razredu od 20 do 40 cm, sledi mu razred od 0 do 20 cm. Razreda nad 40 cm je malo, pojavlja se samo po sečnji. Po spravi se razmerje spremeni. Največ je sečnih ostankov v razredu od 0 do 20 cm. Pri

sečnji prevladujoči razred med 20 in 40 cm pri vseh tipih skoraj izgine. Ponekod je opaziti celo več razreda nad 40 cm, kar nakazuje na narinjanje sečnih ostankov.

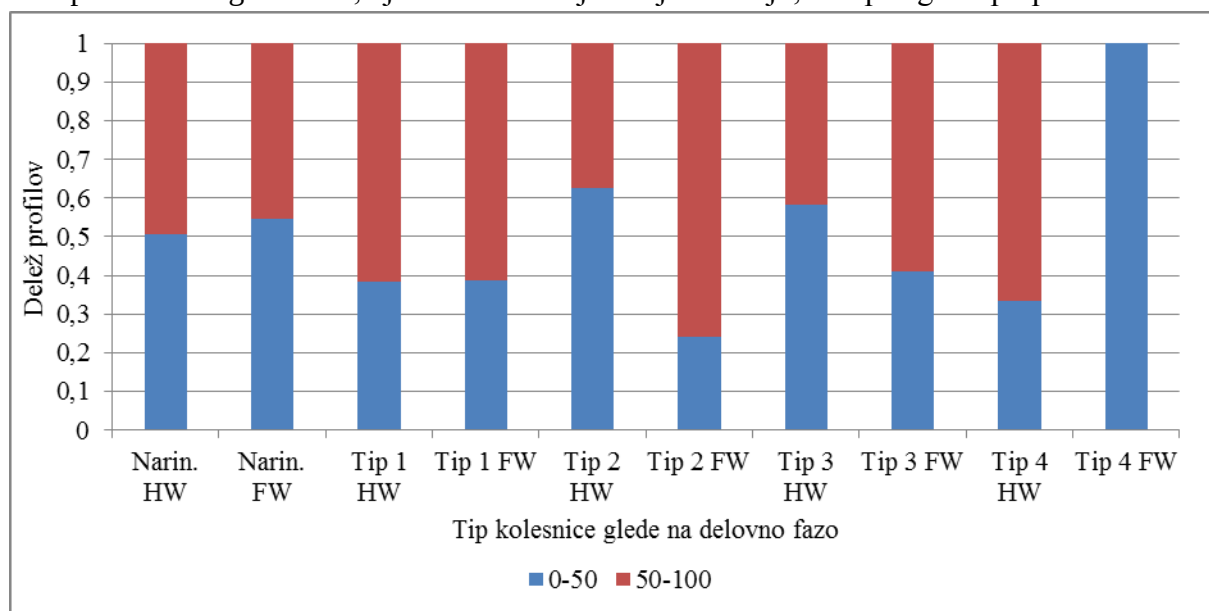
Iz prehodov med razredi lahko sklepamo, da se po prehodu pravilnega sredstva sečni ostanki zbijajo in zato padejo razred nižje, torej v razred med 0 in 20 cm. Debelina vejne preproge se torej z večanjem števila prehodov zmanjšuje.

Delež kolesnic brez sečnih ostankov ostaja med obema fazama približno enak, kot je pričakovano. Odkloni so najverjetneje posledica horizontalnih premikov po prometnici. Pri nedovoljenem tipu opazimo največ profilov brez sečnih ostankov in tudi relativno najmanjšo povprečno debelino preproge, kar je v skladu s pričakovanji.

4.3.3.2 Vpliv pokritosti kolesnic s sečnimi ostanki na globino kolesnic

Zanimala nas je tudi povezava parametrov pokritost sečnih ostankov in globina kolesnice. Pri merjenju pokritosti s sečnimi ostanki na profilih smo ocenjevali površino pokritosti, ki je segala 1 m na vsako stran profila. Tako smo dobili po en pravokotnik na vsaki kolesnici, katerega površino smo vzeli za mero. Deleže smo nato združili v razrede med 0 in 50 % in od 50 do 100 %.

Deleže profilov po pokritosti s sečnimi ostanki smo primerjali s tipom kolesnice, podatke smo prikazali na grafikonu, kjer HW označuje stroj za sečnjo, FW pa zgibni polprikoličar.



Slika 65: Porazdelitev globine kolesnic po tipih glede na pokritost s sečnimi ostanki (skupaj)

Iz slike 65 lahko ugotovimo predvsem to, da se po pravilu delež pokritosti kolesnic s sečnimi ostanki poveča. Izjema so tipi kolesnice 4, 5 in 6, kjer je pokritost kolesnice s sečnimi ostanki po pravilu manjša kot po sečnji. Povečanje površine pokritosti kolesnic

lahko pripišemo dejstvu, da se sečni ostanki po več prehodih razporedijo po večji površini. Po pravilu so manjše kolesnice tipa 1 in 2 bolj pokrite s sečnimi ostanki. Pri tipu 1 je več kot 50 % pokritih kolesnic pri 62 % profilov, pri tipu 2 pa je takšnih profilov kar 37 %. Pri tipu kolesnice 3 je več kot 50 % pokritih kolesnic 57 %. Pri ostalih tipih pa je po pravilu pokritost kolesnic manjša kot 50 %.

Preverili smo obstoj povezav med globino kolesnice, debelino sečnih ostankov in deležem pokritosti na profilih. Pearsonov korelacijski koeficient je pokazal povezavo med globino kolesnice in pokritostjo kolesnic s sečnimi ostanki pri nivoju 0,05. Rezultati kažejo, da večja kot je pokritost s sečnimi ostanki, večja je globina kolesnice, kar se na prvi pogled zdi nesmiselno, ampak če pogledamo podatke lahko vidimo, da so vrednosti stisnjenih kolesnic negativne, to pa pomeni, da višja kot je vrednost, manjša je poškodba tal.

Preglednica 61: Povezava med globino kolesnice ter debelino in pokritostjo le-te s sečnimi ostanki

Vpliv na globino kolesnice	N	Pearsonov r	Značilnost
Debelina sečnih ostankov na kolesnici	639	-0,019	0,632
Pokritost kolesnice s sečnimi ostanki	639	0,086*	0,029

To dejstvo velja pri stisnjenih kolesnicah, ne pa tudi pri narinjenih. Zato smo predznake podatkov za vse kolesnice za namene nadaljnje raziskave spremenili v absolutne in test ponovili.

Preglednica 62: Vpliv absolutnih vrednosti znakov na globino kolesnice

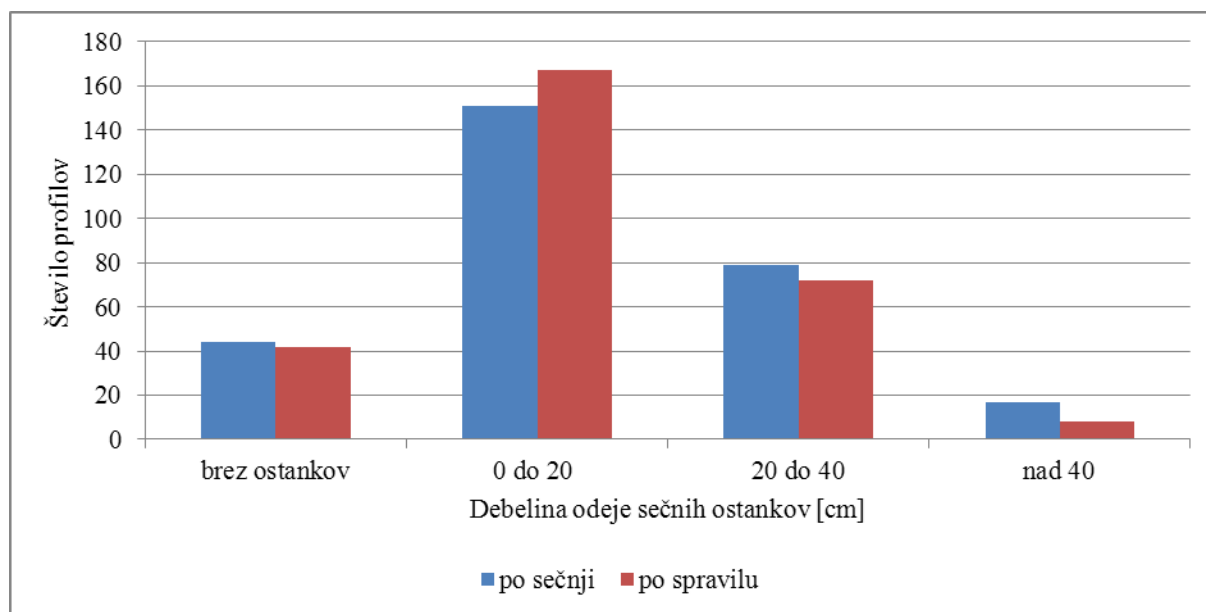
Vpliv na globino kolesnice – absolutne vrednosti	N	Pearsonov r	Značilnost
Debelina sečnih ostankov na kolesnici	639	-0,059	0,059
Pokritost kolesnice s sečnimi ostanki	639	-0,178**	0,000

Po tem popravku test ni več pokazal povezave med globino kolesnic ter sečnimi ostanki. Iz testa pa vseeno lahko razberemo, da je debelina sečnih ostankov negativno povezana z globino kolesnice, torej debelejša kot je odeja iz sečnih ostankov, manjša je kolesnica, kar je pričakovan rezultat. Delež pokritosti pred popravkom kaže ravno nasprotno od pričakovanega, torej manjša kot je pokritost kolesnice z ostanki manjša je poškodba tal. Po korekciji je tudi ta rezultat v skladu s pričakovanji, čeprav kaže manjšo povezanost.

4.3.3.3 Količina sečnih ostankov na osi sečne poti

Zaradi ugotavljanja količine dostopnih sečnih ostankov in njihove razporeditve na sečni poti smo bolj podrobno analizirali tudi količino sečnih ostankov na osi sečne poti.

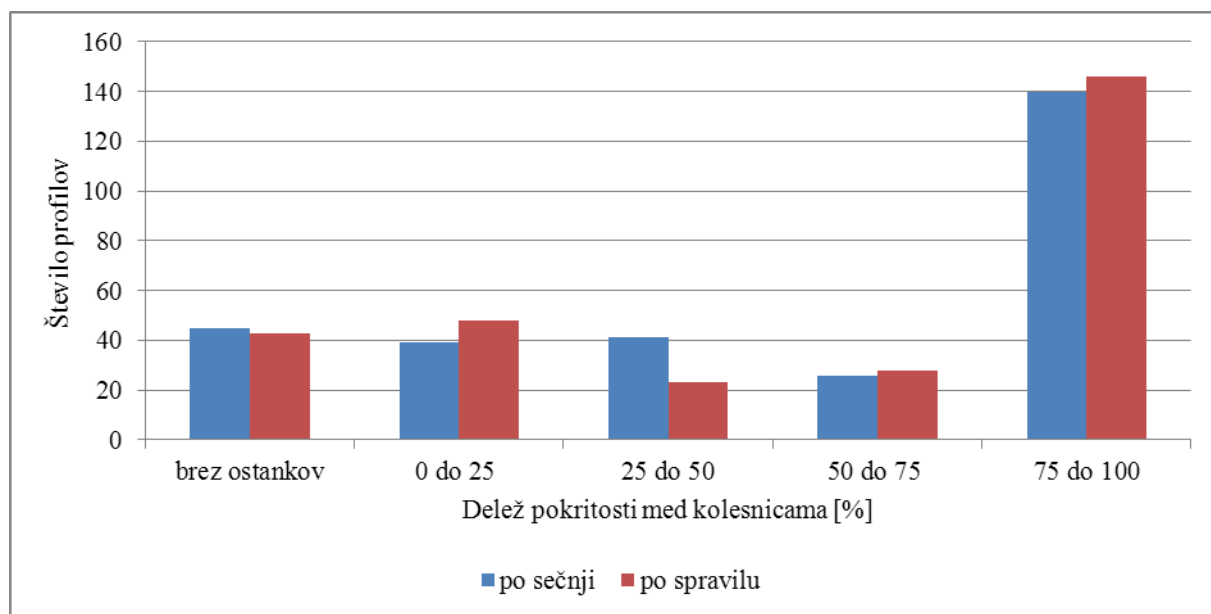
V ta namen smo prikazali debelino sečnih ostankov in njihov površinski delež med kolesnicama po posamezni fazi.



Slika 66: Debelina vejne preproge na osi sečne poti, po fazah pridobivanja lesa (skupaj)

Debelina sečnih ostankov po sečnji in po spravilu ostaja na osi približno enaka. To pomeni, da se na osi poti sečni ostanki ne zbijejo skupaj, kot smo to opazili na kolesnicah. Pri debelini sečnih ostankov na kolesnicah je opazen trend zmanjševanja debeline sečnih ostankov, med kolesnicami pa ta trend ni tako izrazit. Debelina preproge se zmanjša v razredih od 20 do 40 cm in nad 40 cm, manj pa je tudi profilov brez sečnih ostankov. Povečanje je opazno v razredu od 0 do 20 cm. Faze delovnega procesa imajo torej na debelino sečnih ostankov na osi zelo majhen vpliv.

Prikazujemo tudi delež pokritosti s sečnimi ostanki na osi. Pokritosti osi smo razvrstili v pet razredov, štirje razredi imajo širino 25 %, profili, ki so bili popolnoma brez sečnih ostankov, pa so padli v prvi razred – »brez ostankov«.



Slika 67: Delež pokritosti s sečnimi ostanki na osi sečne poti, po delovnih operacijah (skupaj)

Število profilov iz prvega razreda se ujema s številom profilov prvega razreda v prejšnji preglednici. To so tisti profili, na katerih sečnih ostankov ni bilo. Teh je relativno majhen delež. Približno enak delež je tudi profilov v naslednjih treh razredih, torej v razredih do 75 %. V zadnjem razredu (od 75 do 100 %) število profilov močno naraste, kar pomeni, da so bile osi sečnih poti zelo dobro pokrite s sečnimi ostanki.

Če primerjamo delež pokritosti osi in kolesnic, lahko ugotovimo, da je po spravi na osi v razredu pokritosti od 0 do 50 % 40 % profilov, v razredu od 50 do 100 % pa 60% profilov. Na kolesnicah je situacija nekoliko drugačna, v razredu od 0 do 50 % je bilo 51 % profilov, v razredu od 50 do 100 % pa 49 %. Ugotovimo lahko, da sta pokritosti osi in kolesnic sečne poti podobni, delež pokritosti osi pa je nekoliko večji, kot delež pokritosti kolesnic.

Zanimivo je, da sta debelina in pokritost osi sečne poti med delovnim fazama podobni. Iz slike 67 namreč lahko opazimo, da delež pokritosti z vejno preprogo med obema operacijama ostaja skoraj enak. Na osi sečne poti torej ne prihaja do zbivanja in premikov sečnih ostankov.

4.4 REZULTATI MODELA CELOSTNEGA VREDNOTENJA TEHNOLOGIJ

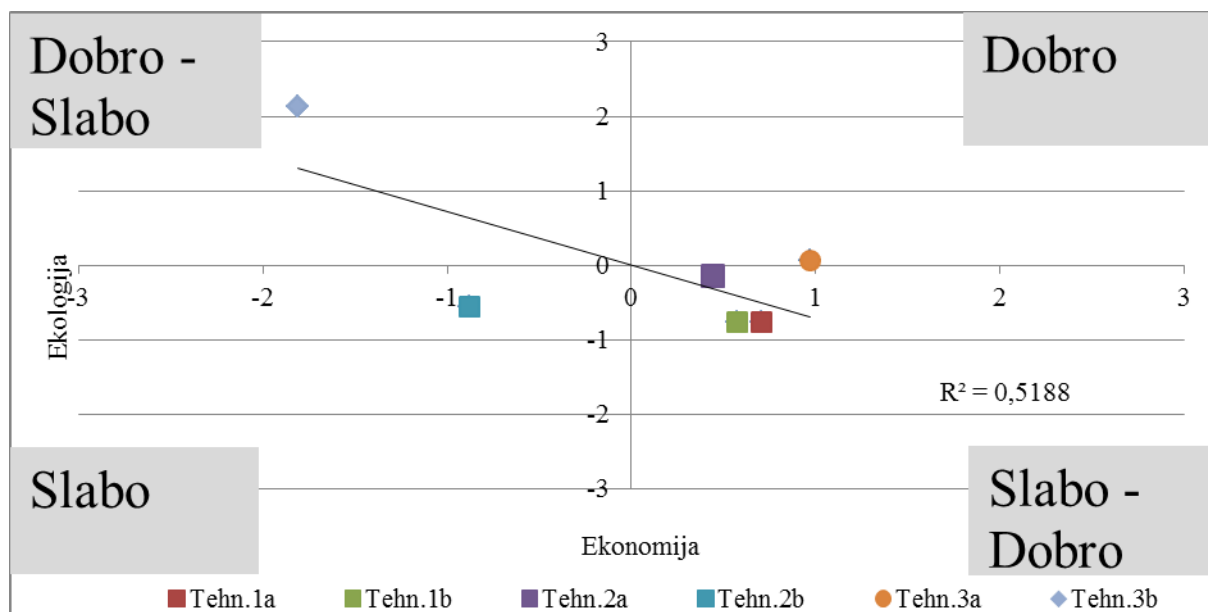
Glede na kriterije, opisane v metodah, smo sestavili preglednico 63, v kateri celostno vrednotimo v modelu BIOPERA prikazane tehnologije. Vhodni podatki za preglednico 63 so ekonomsko vrednotenje tehnologij iz modela BIOPERA ter okoljski vplivi, ugotovljeni iz lastnih podatkov in izkušenj.

Preglednica 63: V modelu upoštewane vrednosti za posamezen kriterij in tehnologijo

Tehnologije	1a	1b	2a	2b	3a	3b
Velikost poškodb	10	9	15	12	5	7
Lokacija poškodb	5	5	18	16	2	4
Odstotek odvzete rastne površine	15	15	5	5	20	10
Globina kolesnic	15	15	10	10	20	15
Površina motenih tal	15	15	10	10	20	10
Iznos hranil	15	15	15	10	10	10
Poraba goriva	17	15	4	3	14	10
Učinek dela	8	10	17	16	13	16
Transport	17	15	5	5	14	9
Priprava dela	4	6	17	16	13	19
Varnost pri delu	6	6	17	16	7	14
Ergonomija	10	10	5	7	5	8

V preglednici 63 prikazujemo standardizirane vrednosti točkovanja tehnologij, glede na kriterije iz preglednice 34 in preglednice 35. Točkovanje je potekalo tako, da smo glede na rezultate iz raziskav z ekspertno metodo (ocene so temeljile na ugotovitvah in izkušnjah iz poskusnih objektov) posamezni tehnologiji pripisali vrednost med 0 in 20. Najmanjša vrednost (ocena) za vsako skupino je 0, najvišja vrednost pa 20. V preglednici prikazujemo vrednosti od 0 do pod 5 s temno rdečo barvo, od 5 do pod 10 s svetlo rdečo, od 10 do pod 15 s svetlo zeleno in od 15 do 20 s temno zeleno barvo.

Na podlagi vrednosti iz preglednice 63 smo s standardizirano vrednostjo »z« predstavili razdaljo med aritmetično sredino vseh tehnologij in vrednostjo konkretne tehnologije, glede na ostale. Standardizirane vrednosti smo dobili tako, da smo vzeli odmik seštevka vrednosti točkovanja (posebej za ekonomski in ekološki del) od povprečja ter odmik delili s standardnim odklonom. Na sliki 68 predstavljamo lego posamezne tehnologije, glede na ekološke in ekonomske parametre. Na tej sliki predstavljamo ekološke parametre na osi x, na osi y pa ekonomske parametre.



Slika 68: Prikaz standardiziranih vrednosti kriterijev za tehnologije v modelu

V zgornjem desnem kvadrantu slike 68 so tehnologije, ki so ekonomsko in ekološko dobre. V spodnjem levem tehnologije, ki so slabe iz ekonomskega in ekološkega gledišča. V preostalih dveh kvadrantih najdemo tehnologije, ki dobro vplivajo na okolje, imajo pa slabe ekonomske značilnosti (zgoraj levo) in tehnologije, ki imajo dobre ekonomske značilnosti, imajo pa negativen vpliv na okolje (spodaj desno). Pike v grafikonu predstavljajo lego posameznih tehnologij, glede na povprečje vseh tehnologij. Povprečje vseh tehnologij (zaradi uporabe standardiziranih vrednosti) predstavlja koordinatno izhodišče grafikona.

Tehnologiji 1a in 1b sta si podobni. Obe ležita na desni spodnji strani izhodišča grafikona. Obe sta torej ekonomsko dobri, a ekološko nekoliko slabši, kot povprečna tehnologija. Tehnologija 2a je iz ekonomskega gledišča nekoliko slabša, kot prej omenjeni tehnologiji, je pa iz ekološkega gledišča celo malce boljša. Tehnologija, ki je edina v kvadrantu, ki je ekonomsko in ekološko ustrezna je tehnologija 3a. Ta tehnologija je ekonomsko najboljša, glede na povprečje vseh tehnologij in ekološko slabša le od tehnologije 3b. Tehnologija 3b zavzema pozicijo v zgornjem levem kvadrantu, kar pomeni, da je ekološko boljša, kot ostale tehnologije, a ekonomsko precej slabša. Tehnologija 2b je v nasprotnem kvadrantu, kot tehnologija 3a, kar pomeni, da je ekološko in ekonomsko slabša od povprečja vseh analiziranih tehnologij.

Najboljša tehnologija je tehnologija 3a, kjer sečnjo dreves opravljamo z motorno žago, spravilo pa z večbobskim žičnim žerjavom. Najslabša je po naši metodi tehnologija 2b, torej tehnologija, pri kateri za sečnjo dreves uporabljamo stroj za sečnjo, pravilno sredstvo pa je sedlasti traktor.

5 RAZPRAVA

5.1 MODEL BIOPERA

Že v uvodu trdimo, da tehnologije pridobivanja biomase porabnikom zagotavljajo pomemben dopolnilni energent. Navajamo tudi številne prednosti lesne biomase pred ostalimi viri energije (lokalnost, CO₂ nevtralnost). Za namene primerjave pa je dobro izvedeti, kako se lesni sekanci kot energent obnašajo glede na ostale energente, torej kako se med letom spreminjajo cene. Raziskovalci na primeru iz Nemčije (CARMEN, 2013) ugotavljajo, da so lesni sekanci zelo stabilen energent, čigar cena niha le v majhnem odstotku skozi celotno leto. Glede na nihanje je podoben zemeljskemu plinu. Ne pa tudi po ceni, saj trendi kažejo na zelo počasno povečevanje cene sekancev v primerjavi z vsemi ostalimi energenti (zemeljski plin, kurilno olje, peleti).

V modelu BIOPERA smo predvideli dve stopnji vlažnosti biomase – vsebnost vlage 60 % je predstavljala sveže posekan les, vsebnost vlage 30 % pa sušen les. Predvidevali smo, da lahko les sušimo več mesecev, torej do pol leta ob gozdni cesti (stroškov, ki nastajajo med tem nismo upoštevali). Spravilno sredstvo torej lesno biomaso ob cesti zloži v kupe, kjer se suši (po možnosti pokrita). Ko doseže ustrezno vlago biomaso homogeniziramo, nato pa sekance s tovornjaki odpeljemo do porabnika.

Na tem mestu bi radi opozorili na težave pri sušenju lesa v gozdu. Ta način sušenja močno ovirata dva pravilnika, namreč Pravilnik o izvajanju sečnje (Pravilnik, 2008). Ta določa, da moramo vsa delovišča zaključiti v dveh mesecih. Poleg tega je tukaj še Pravilnik o varstvu gozdov (Pravilnik, 2009b), ki v primeru letne sečnje iglavcev, zahteva ureditev sečišča že v enem mesecu. Če so takšna pravila v smislu zmanjševanja nevarnosti podlubnikov in drugih sekundarnih saproksilnih organizmov razumljiva, so bolj problematična, ko pride do sušenja listavcev. Že stoletja namreč obstajajo prakse letnih sečenj in sušenja na suš, ko olistana drevesa posekamo in pustimo v gozdu. Na ta način se namreč vsebnost vode iz drevesa zmanjšuje tudi s pomočjo transpiracije preko listja. Prej omenjena pravilnika namreč to prakso onemogočata. Seveda se ta praksa v privatnem sektorju izvaja, malo verjetno pa je, da bi si takšno prakso lahko omislila gospodarska družba v večjem obsegu.

5.1.1 Pregled parametrov, ki vplivajo na izbrane tehnologije

Primerjava med bukovimi in smrekovimi sestoji v modelu pokaže, da prihaja do večjih razlik v vrednosti med smrekovimi in bukovimi sestoji. Razlike sledijo tipu uporabljene tehnologije (okrogli les, biomasa) in vrednosti sestoj. Vrednost bukovih sestojev je manjša zaradi nižjih cen, ki jih na trgu dosegajo listavci, še večji pa je vpliv sortimentacije, torej količine sortimentov posameznega kakovostnega razreda v drevesu.

Primerjamo torej vrednost 1 t sortimentov bukve in smreke. Ugotovimo lahko, da je pri smreki maksimum vrednosti okroglega lesa pri 70 €/t, pri bukvi pa maksimum doseže vrednost 50 €/t. Poleg tega imata krivulji odvisnosti od debeline tudi različne oblike. Za smreko je značilno hitro doseganje maksimalne vrednosti (med 25 in 33 cm premera). Vrednost dreves nato počasi upada. Pri bukvi je krivulja drugačna, saj dosega maksimalne vrednosti proizvoda kasneje (med 39 in 43 cm premera). Zaradi večjega zahtevanega premera pri hlodih (v primerjavi s smreko), so bukovski sestoji tudi kasneje primerni za pridobivanje okroglega lesa. To pomeni, da v bukovih sestojih dalj časa uporabljamo tehnologije pridobivanja biomase. Kot vemo, je vrednost produkta v biomasnih sečnjah manjša. Temu primerno težko pa je tudi zagotavljati prag rentabilnosti pridobivanja lesa.

Razlike zaradi vrednosti biomase so posledica treh dejavnikov – vpliva tehnologije in sortimentacije ter rastišča. Vpliv kakovosti rastišča je močno razviden pri primerjavi, opravljeni na primeru tehnologije 1. Močan je namreč vpliv zvišanja cene sekancev (zaradi nižje vsebnosti vlage) na upravičenost pridobivanja lesa. Pri smreki se na primeru tehnologije 1a poveča iz premera 14 cm in za vse razdalje spravila na 18 cm za razdalje spravila do 800 m. Pri bukvi je povečanje bistveno večje in sicer iz 24 cm premera in spravilne razdalje do 900 m se nam ob zvišani ceni izplača delo že pri 14 cm in vseh razdaljah spravila. Očitno je torej, da je prag rentabilnosti pri bukvi nižji, saj zviševanje cene sekancev daje bistveno boljši ekonomski rezultat, kot pri smreki. Razlog zato je v različni boniteti rastišča in lastnostih listavcev. Rastišče bukve v našem modelu je namreč nekoliko bolj produktivno kot rastišče smreke. Posledica je večje bruto drevo in večje količine etata, kar pri tehnologijah pridobivanja lesne biomase pomeni boljši izkupiček.

Drugi vpliv je vsekakor vpliv tehnologije spravila lesa. Kot vidimo, je razlika v spremembi sekancev najmočnejše vplivala na tehnologijo 1a in 3a, skoraj nikakršnega vpliva pa dvig cene ni imel na tehnologijo 2. Razlog zato je v različnih odnosih med vrednostjo in stroški tehnologij. Najdražji tehnologiji v modelu sta tehnologiji 2a in 2b. Pri obeh tehnologijah povečanje prodajne cene sekancev na račun nižje vsebnosti vode ni imelo skoraj nobenega vpliva na spremembo premera pri katerem je prag rentabilnosti pridobivanja lesa. Nekoliko se je le zmanjšala izguba. V nasprotju s tema tehnologijama, pa se ostale na spremembo cene sekancev odzovejo. Najmočnejše se odzoveta ravno tehnologiji 1a in 3a, ki sta najcenejši. Žičnične tehnologije sicer niso med najcenejšimi, a zaradi upoštevanja vrednosti prometnic sta tehnologiji 1a in 3a cenovno precej primerljivi.

Vpliv okroglega lesa na pozitivni izid (kombinirane tehnologije) je precejšen, saj tudi iz grafikona vrednosti proizvodov (slike 42, 43, 48 in 49) vidimo, da okrogel les pri kombiniranih tehnologijah doda pomemben delež k končnemu rezultatu. Pri vseh tehnologijah so pri prsnih premerih, kjer prevlada okrogli les, vrednosti nad kritično mejo. Pomembna je tudi razlika med smreko in bukvijo. Smreka doseže mejo okroglega lesa prej kot bukev, kar se pokaže predvsem pri dražjih tehnologijah (2a in 2b) pri hitrejšem doseganju praga rentabilnosti.

5.1.2 Primerjave tehnologij

Primerjava stroškov tehnologij 1a in 1b pokaže, da je cenejša tehnologija s kmetijskim traktorjem. Le-ta ima več prednosti, predvsem nižjo nabavno ceno in nižje stroške amortizacije. Tehnologija 1b je stroškovno zahtevnejša, saj je nakup gozdarskega zgibnika večja investicija. Poleg tega je stroj namenski, kar pomeni, da ga ne moremo uporabljati za druge namene (razen pluzenja cest). Tehnologija 2b pride do izraza v zahtevnejših terenih, torej tam, kjer je nagib terena večji, kjer imamo vlake s protivzponi, daljše vlake ali pa spravilo navzgor.

Primerjava stroškov tehnologij 2a in 2b pokaže, da je tehnologija 2a cenejša, zaradi večje produktivnosti strojne sečnje. Na tem mestu opozorimo na pomanjkljivosti pridobljenih podatkov o učinkih in produktivnosti tehnologije 2a. Tehnologija temelji na podatkih o produktivnosti sečnje in spravila pridobljenih na enem samem objektu, medtem ko so ti podatki za strojno sečnjo bistveno boljši (6 objektov in več strojnikov). V Sloveniji ni tradicije izdelave dolgega lesa (razen pri žičnicah), tako da bi zagotovo lahko izvedli boljšo pripravo dela. Do boljših učinkov bi zagotovo prišli, če bi imeli izkušeno ekipo sekačev in strojnika, ki je dela s sedlastim traktorjem navajen. Vsekakor imata tehnologiji velik potencial, vendar je vsaka primernejša za drugačne razmere. Strojna sečnja s spravilom lesa se vsekakor izkaže pri redčenjih, z dobrimi učinki in majhnimi poškodbami dreves zaradi izdelave sortimentov pri panju. Spravilo s sedlastim traktorjem (s kombinirano strojno sečnjo ali ročno sečnjo) ima velik potencial v kasnejših razvojnih fazah (debeljaki in končni poseki), kjer je v sestoju dovolj prostora za tehnologijo dolgega lesa. Druga pomembna uporaba te tehnologije so ujme. Tam bi sečnja poškodovanega drevja lahko izvajali z ročno, ali kombinirano ročno-strojno sečnjo (vetrolomi). Ker so pri ujmah poškodovana večja območja, ni težav z prostorom za premikanje dreves. Dodatna pozitivna lastnost drevesne tehnologije v ujmah pa je spravilo sečnih ostankov na cesto, kjer lahko iz njih izdelamo sekance. Pozitivni učinki so dvojni. Na ta način omejimo možnost razvoja sekundarnih saproksilnih organizmov, poleg tega pa olajšamo sajenje in pripravo tal, saj na prizadetem območju ni kupov sečnih ostankov, ki osnivanje novega sestoja ovirajo. Tehnologija je omejena s smerjo spravila, saj za spravilo navzgor ni primerna.

Primerjava stroškov tehnologij 3a in 3b pokaže, da je tehnologija 3a cenejša, kar je logično, saj tukaj drevesa podira sekač z motorno žago. Tudi pri tej tehnologiji je potrebno opozoriti na pomanjkljivosti ugotavljanja učinkov sečnje s strojem. Takšne tehnologije pri nas nismo mogli opazovati, smo pa naše podatke prilagodili, glede na tuje raziskave dela strojev za sečnjo v strmini (Visser in Stampfer, 1998; Stampfer, 1999). Bistvena razlika med tehnologijama 3a in 3b je v izkoristku tehnologije. Ker sečnjo opravlja stroj, lahko delamo dvoizmensko, prav tako ni deževnih dni. Pri žičnici smo v delovišču predvideli samo enega delavca, ki opravlja vezanje lesa (seka stroj za sečnjo). Večje število delovnih dni in en delavec na žičnici le malo vplivajo na ceno stroja na delovno uro. Uporabnost tehnologije 3a ni omejena s terenskimi ali sestojnimi razmerami, saj lahko dela v vseh terenskih razmerah.

Omejitve tehnologije 3b so večje, saj zaradi uporabe stroja za sečnjo ne smemo delati v vseh razmerah. Stroj za sečnjo je občutljiv na bočni nagib, tako da delo na linijah, ki potekajo prečno na teren, ni mogoče. Vzdolžni nagib za ta stroj ne predstavlja večjih težav, saj lahko premaguje zelo velike naklone, posebno če ima vgrajen vitel, s katerim si lahko pomaga pri vožnji. Težave predstavljajo globoka tla, na katerih lahko z uporabo te tehnologije povzročimo večje poškodbe tal in močno erozijo, zato je uporaba te tehnologije bolj primerna na trdih matičnih podlagah. Poleg naštetega sta omejitveni dejavniki tudi skalovitost in kamnitost terena ter prisotnost skalnih skokov.

Primerjava stroškov med tehnologijami 1, 2 in 3 pokaže, da je najcenejša tehnologija 1, sledi tehnologija 3, najdražja je tehnologija strojne sečnje in spravila z zgibnim polprikoličarjem in sedlastim traktorjem. Takšno razmerje med tehnologijami, predvsem pri žičničnem spravilu, ki velja za drago, smo dosegli z upoštevanjem potrebe po dogradnji, popravilu in rekonstrukciji gozdnih prometnic v delovišču.

Pokazali smo, da je za tehnologije pridobivanja biomase iz stroškovnega vidika najbolj ugodna najcenejša tehnologija ročne sečnje in traktorskega spravila, ki ji sledi spravilo z žičnim žerjavom. Iz vidika varnosti pri delu in visokih učinkov sta pri tehnologiji pridobivanja biomase zagotovo zanimivi tudi tehnologiji 2a in 3a, ki omogočata varno in zelo učinkovito delo pri redčenjih, a s seboj prineseta tudi višje stroške.

5.1.3 Prevoz lesnih sekancev

Problem prevozov in logistike je zahtevna tema, ki jo bo v prihodnosti potrebno bolj podrobno raziskati. Problem predstavlja predvsem pomanjkanje podatkov o cenah in učinkih (prevoza, nakladanja in razkladanja) ter hitrostih prevozov. Proučevanja kamionskih prevozov v okviru disertacije se nismo lotili sami, tako da lastnih podatkov o tematiki nimamo.

V rezultatih smo se ukvarjali s prevozom sekancev na daljše razdalje. Poglejmo kakšne pa so najkrajše razdalje, ki nam še omogočajo povrnitev stroškov pridobivanja sekancev.

Pri tehnologiji 1a lahko mokre sekance vozimo na razdalji 40 km pri prsnem premeru sestoja 21 cm in vseh spravilnih razdaljah. Tehnologija omogoča rentabilen prevoz suhih sekancev smreke in bukve na enaki razdalji tudi iz dreves s premerom 10 cm, pri vseh spravilnih razdaljah. Mokre bukove sekance lahko prevažamo na isti razdalji šele s prsnim premerom sestoja 24 cm.

Pri tehnologiji 1b se pri sekancih z $w = 30\%$ in prevozni razdalji 40 km pojavi možnost pridobivanja lesa v sestojih s premerom 10 cm, a še to na spravilni razdalji manjši od 200 m, na isti razdalji pa omogoča ekonomski rezultat pri smreki in bukvi s suhimi sekanci že pri

premeru 14 cm. Mokri sekanci pri tej tehnologiji ne omogočajo prevoza na 40 km, pri dimenzijah sestoja manjših od 21 cm, pri bukvi pa šele pri premeru 24 cm.

Tehnologiji 2a in 2b ne omogočata prevoza lesnih sekancev niti na razdaljah krajših od 40 km. Tehnologija 2a omogoča rentabilen prevoz suhih sekancev smreke in bukve na razdalji 40 km, pri prsnem premeru 14 cm in spravljeni razdalji krajši od 500 m. Pri tehnologiji 1b se pri sekancih z $w = 30\%$ in prevoznici razdalji 40 km pojavi možnost pridobivanja lesa v sestojih s premerom 14 cm, na spravljeni razdalji krajši od 500 m za smreko in bukev.

Pri tehnologiji 3a lahko mokre sekance bukve in smreke vozimo na razdalji 40 km pri prsnem premeru sestoja 21 cm in vseh spravljenih razdaljah. Tehnologija omogoča rentabilen prevoz suhih sekancev smreke in bukve na enaki razdalji tudi iz dreves s premerom 10 cm, pri spravljenih razdaljah krajših od 500 m.

Pri tehnologiji 3b lahko mokre sekance smreke vozimo na razdalji 40 km pri prsnem premeru sestoja 21 cm in vseh spravljenih razdaljah, mokre bukove sekance pa šele pri premeru 24 cm. Tehnologija ne omogoča rentabilnega prevoza suhih sekancev smreke in bukve na tej razdalji iz dreves s premerom 10 cm, temveč omogoča prevoz na tej razdalji šele pri premeru sestoja 14 cm.

Iz zgoraj povedanega lahko zaključimo, da manj produktivne in cenejše tehnologije, omogočajo večje razdalje prevoza. Stroški prevoza so odvisni tudi od uporabljenega tipa tovornjaka. Prevoz je precej neučinkovit in draga faza.

Skandinavske študije (Ranta in Rinne, 2006) postrežejo tudi s podatki o prevozu nehomogeniziranega materiala, a njihovi predpisi dopuščajo večje osne obremenitve in druge dimenzije tovornjakov, kar pomeni drugačno ekonomiko prevoza, zato njihovih podatkov nismo uporabili.

5.1.4 Ocena modela

Model BIOPERA je šele začetek dela, a predstavlja dobro izhodišče, saj je prilagodljiv in enostaven.

Ena večjih hib modela je neupoštevanje terenskih pogojev v državi. Tukaj mislimo predvsem na napovedovanje odstotka površine, kjer bi določena tehnologija bila uporabna glede na terenske razmere (naklon, skalovitost, kamnitost). Vključevanje takšnih izračunov v model je relativno enostavno, zahteva pa razširitev modela v GIS okolje. Način ugotavljanja primernosti za posamezno tehnologijo je lahko enak, kot smo ga prikazali v članku (Mihelič in Krč, 2009). Metodologija temelji na izdelavi kriterijev primernosti za

posamezno tehnologijo (Krč, 2003). Na podlagi teh kriterijev se z večkriterialno analizo izvede izbor primernih terenov.

Poleg terenskih danosti je eden glavnih vplivnih dejavnikov na izbiro tehnologije tudi lastništvo. Z uporabo GIS orodij bi lahko v model dodali tudi sociološke kriterije. Med temi nas najbolj zanimajo velikost posesti (Krč, 2006) in povezanost lastnikov, saj je bilo dokazano (Pezdevšek Malovrh, 2010), da vpliva na pripravljenost za gospodarjenje z gozdovi in informiranost lastnikov.

V model je vsekakor potrebno dodati tudi izboljšane sortimentacijske krivulje, ki so ena večjih slabosti modela. Model v tem trenutku namreč deluje le z dvema krivuljama, ena velja za bukev, druga za smreko. Trdimo lahko, da model dobro predstavlja razmere v delih države, v katerih so bile izvedene študije sortimentacije. Z relativno majhnim vložkom bi se dalo državo razdeliti na več delov (na primer malodonosni gozdovi, visoki gozdovi dninarsko-kraškega sveta, gorski gozdovi). Na podlagi teh stratumov bi bilo potrebno ugotoviti sortimentacijo po drevesnih vrstah. Tako bi bistveno izboljšali točnost modelov, hkrati pa bi se lahko v modelu upoštevalo mešane sestoje iglavcev in listavcev, ki so v naši državi prevladujoči. Seveda smo pri tem vezani tudi na druge veje naše stroke (prirastoslovje) in dinamiko njihovih raziskav. V prihodnosti bi bilo model mogoče razširiti tudi na način, da bi upošteval podatke o sestojih in koncentraciji sečenj.

Tudi na področju normativov za delo v gozdu je potrebno še veliko narediti. Potrebno je dodati boljše podatke za velik del tehnologij in proučiti njihove učinke v bolj mejnih razmerah. Za več tehnologij v modelu nimamo dovolj podatkov, da bi lahko naredili normativ primeren za uporabo v praksi. Dodatne študije nas čakajo v prihodnosti.

Prevoz lesa s tovornjaki je pri nas v zadnjih desetletjih področje, kjer ni bilo nobenih raziskav, zato smo se skoraj v celoti morali opreti na raziskave iz sosesčine. Menimo, da je proučevanje prevoza lesa nujno in potrebovali bi poglobljeno temeljno raziskavo na tem področju.

Za nadaljnji razvoj modela se bo potrebno poglobiti v ekonomiko in organizacijo biomasnih logističnih centrov, saj uporaba terminalov omogoča zanimive razširitve modela. Na ta način bi lahko model razširili tudi na izdelavo bolj kakovostnih sekancev.

Sušenja lesa v modelu nismo podrobneje obravnavali zaradi zakonskih nejasnosti glede tega, ali je sušenje v gozdu dovoljeno ali ne. Nikjer namreč izrecno ne piše, da sušenje ni dovoljeno, je pa opredeljeno, da mora biti delovišče zaključeno v dveh mesecih. Prav tako ni jasno, kakšna so pravila za sušenje na negozdnih površinah. Če sušenje ni dovoljeno, potem ima ta dejavnik lahko velik vpliv na ekonomiko proizvodnje lesnih sekancev, saj se na to vežejo še stroški skladišča izven gozdnega prostora ter stroški prevoza biomase s kamionske ceste do takšnega skladišča.

5.2 POŠKODBE DREVES V SESTOJU

Zaradi preglednosti razprave in lažjih primerjav smo se odločili razdeliti razpravo na dva dela. V prvem delu primerjamo poškodbe dreves med različnimi tehnologijami. Osredotočili smo se na primerjave med tehnologijama sečnje z motorno žago in spravila lesa s traktorjem ter strojne sečnje in spravila lesa z zgibnim polprikoličarjem.

V nadaljevanju razprave imenujemo tehnologijo strojne sečnje in spravila lesa z zgibnim polprikoličarjem »nove tehnologije«, tehnologijo sečnje z motorno žago in spravila s traktorjem pa »klasična tehnologija«.

Zaradi velikega števila objav s področja poškodb dreves pri klasični tehnologiji pri nas se osredotočamo na slovensko literaturo. V drugem delu skušamo umestiti naše rezultate v širši slovenski in svetovni okvir. Osredotočamo se na primerjave novih tehnologij. Ker je literature iz tega področja pri nas malo, se naslanjamo na vire iz tujine.

5.2.1 Primerjava poškodb dreves med klasično tehnologijo in novimi tehnologijami

Omenili smo že, da je bilo pri raziskovanju poškodb dreves v sestoju uporabljenih več metod. Žal pa uporabljene metode ugotavljanja poškodb dreves pri novih ter klasičnih tehnologijah niso direktno primerljive. Raziskovalci so pri klasičnih tehnologijah uporabljali metodo pasov, pri strojni sečnji pa je boljša metoda krožnih ploskev. Kljub temu, da sta metodi različni, menimo, da sta obe statistično dovolj podkrepljeni in da so primerjave med metodama v omejenem obsegu mogoče.

Naše rezultate bomo primerjali le z raziskavami, ki ugotavljajo poškodbe po opravljenem delu. Izločamo torej raziskave, ki ugotavljajo poškodbe dreves med samim delom. Razlogov za to je več. Poudarimo naj predvsem razlike v metodah in razredih ugotavljanja poškodb. Poleg tega nas poškodbe dreves po sečnji in spravilu ne zanimajo ločeno po fazah temveč skupaj, deležev poškodovanosti pa ne moremo preprosto sešteti. Glavni razlog, zakaj ugotavljamo poškodbe dreves po opravljeni sečnji in spravilu lesa, so interakcije med obema delovnim fazama, ki potekajo v obe smeri. Razložimo na primeru klasične tehnologije. Sekač lahko pri podiranju drevja naredi zelo malo poškodb, saj na stoječa drevesa pazi in tako zasledimo majhno poškodovanost po sečnji. Težava pa se pojavi, ker pri izbiri smeri podiranja drevja ne upošteva spravila lesa. Tako se zaradi napačne smeri podiranja večina poškodb preseli k spravilu lesa, saj so drevesa posekana na način, da se je poškodbam pri zbiranju lesa nemogoče izogniti. Podobni primeri so prisotni tudi pri strojni sečnji. Ker je te interakcije nemogoče kontrolirati, se poškodbe dreves popisujejo po končanem delu na delovišču.

V Sloveniji lahko zasledimo več raziskav poškodb dreves v sestoju s klasično tehnologijo. Iz literature smo izbrali več primerov redčenj v drogovnjakih iglavcev.

Primerjava naših rezultatov z raziskavo, ki je bila opravljena v pretežno smrekovih drogovnjakih (Klančnik, 2001), pokažejo nekoliko višjo poškodovanost na naših objektih. V raziskavi je avtor ugotovil 24 % poškodovanost, medtem ko je v Mozeljskem Šahnu vseh novih poškodb 26,8 %, na Treh križih pa je vseh poškodb (»novih«, »novih in starih« ter »starih«) 28,6 %. Ta raziskava je ugotovila najnižje deleže poškodovanosti. Višje deleže poškodovanosti (27 %) ugotavljajo (Žun, 2002) v mešanih sestojih in razvojni fazi starejšega drogovnjaka. Še več poškodb so ugotovili (Papac, 1992) v starejšem drogovnjaku listavcev, kjer je ugotovljena poškodovanost sestoja 30 %. Primerjava s tema dvema raziskavama je sicer težavna, saj so pri vsaki od njih delali v drugačnih razmerah in drevesnih vrstah, nam pa ti viri omogočajo vpogled v povprečno poškodovanost pri normalnem delu. Iz raziskav lahko zaključimo, da delež poškodovanosti dreves v letvenjaku in drogovnjaku, po klasični sečnji in spravilu s traktorjem dosega 24 do 30 %.

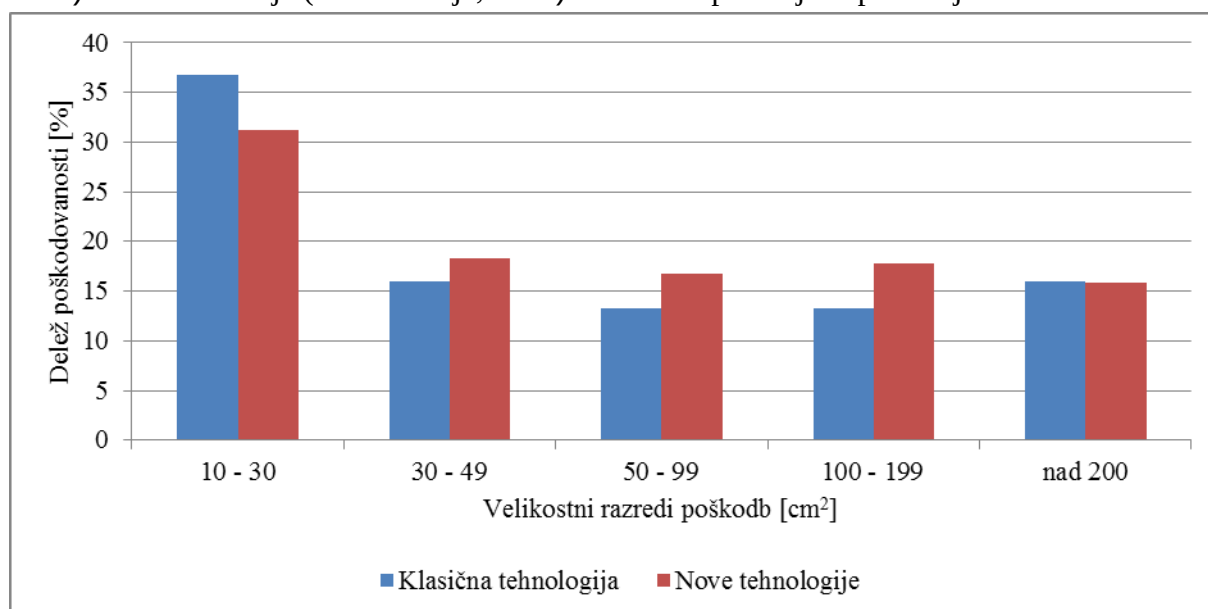
Za boljšo orientacijo si lahko pomagamo z modelom. Narejena je bila primerjava modela poškodovanosti z dejanskimi rezultati terenskih meritev (Košir, 2000). Avtorji navajajo 22 % povprečno poškodovanost dreves v sestoju. Spodnje meje poškodovanosti so med 13 in 18 %, zgornje meje pa med 20 in 41 %. Povprečne vrednosti poškodovanosti sestoja se gibljejo med 16 in 31 %. Če primerjamo rezultate naših raziskav z orientacijskimi vrednostmi iz te študije, lahko ugotovimo, da je poškodovanost naših objektov v intervalu povprečnih vrednosti poškodovanosti dreves v sestoju. Objekta Osankarica (11,6 %) in Bukovje (14,1 %) sta na spodnji meji poškodovanosti dreves v sestoju, objekta Mozeljski Šahen (26,7 %) in Trije križi (s skupno poškodovanostjo 28,6 %) pa padeta v interval povprečne poškodovanosti.

Ugotovimo lahko, da strojna sečnja in spravilo lesa, po naših raziskavah, povzročita nekoliko manj poškodb na drevesih kot klasična tehnologija. Lokacija poškodb na drevesu je pri strojni sečnji na vseh naših objektih skoncentrirana na deblu drevesa. Sledita korenovec in korenine. Poškodb krošnje in vej ob deblu skoraj ni.

Ugotovljene lokacije poškodovanosti pri delu s klasičnimi tehnologijami (Klančnik, 2001) v drogovnjaku smreke, so nekoliko netipične. V primerjavi z ostalimi slovenskimi raziskavami (Klun in Poje, 2000; Serec, 1997; Žun, 2002) ter nekaterimi tujimi (Bettinger in Kellogg, 1993; Fröding, 1982) je Klančnik (Klančnik, 2001) ugotovil več poškodb na korenovcu, kot na deblu. Večina drugih raziskav pa ugotavlja težišče poškodb na deblu, kateremu sledi korenovec. Zato trdimo, da pri klasični tehnologiji večina poškodb nastane na deblu, sledi pa korenovec. Poškodovanost korenin je pri strojni sečnji in spravilu lesa ter klasični tehnologiji močno odvisna od drevesne vrste. Iglavci, predvsem smreka, so močno nagnjeni k poškodbam korenin. To dokazuje primerjava med objektoma Bukovje in Osankarica ter več zgledov iz tuje literature (Butora in Schwager, 1986; Fröding, 1982).

Primerjava lokacij poškodb med strojno sečnjo in spravilom lesa s klasičnimi tehnologijami pokaže, da so pri klasičnih tehnologijah poškodbe bolj porazdeljene po vsem drevesu. Največ poškodb je sicer še zmeraj na deblu, le da delež poškodovanosti ne dosega 70 ali 80 %, temveč se povzpne le med 40 in 60 %. Sledijo poškodbe korenovca in korenin ter vej ob deblu in krošnje. Poškodb na krošnji in vejah ob deblu je pri strojni sečnji manj, saj stroj za sečnjo lažje kontrolira smer in padec drevesa, kot sekač z motorno žago. Pri novih tehnologijah so torej kritične poškodbe debla in korenovca.

Primerjava velikosti poškodb je precej kompleksna, zato smo v ta namen naredili manjšo simulacijo velikosti poškodb. Primerjali smo povprečje poškodovanosti vseh naših objektov in povprečje iz več dosedanjih slovenskih raziskav klasične tehnologije. V to povprečje smo vključili raziskave, ki so jih opravili Papac (Papac, 1992), Žun (Žun, 2002), Serec (Serec, 1997) ter Klun in Poje (Klun in Poje, 2000). Rezultate primerjave prikazujemo na sliki 69.



Slika 69: Poškodovanost glede na velikostni razred poškodbe za nove in stare tehnologije pridobivanja lesa

Ugotovimo lahko, da večjih razlik v velikosti poškodb med novimi tehnologijami in klasičnimi tehnologijami ni. Nekoliko več poškodb je pri klasičnih tehnologijah v razredu od 10 do 30 cm², vendar pa razlike niso velike.

Tuja literatura pri klasičnih tehnologijah poroča o večji poškodovanosti dreves, ki ležijo v bližini vlak (Hannelius in Lillandt, 1970; Ostrofsky in Dirkman, 1991; Vasiliauskas, 2001). Opisani trend je logičen, saj je mimo dreves ob vlakih potrebno privlačevati največje količine lesa. Na ta način je verjetnost poškodbe večja. Za primerjavo je zanimiva tudi študija večih tehnologij (Han in Kellogg, 2000b), v kateri avtorji ugotavljajo 64 % poškodovanost pri strojni sečnji in 80 % poškodovanost pri spravilu s traktorji. Ugotovitve raziskave se ujemajo z našimi opažanji, saj je očitno, da tehnologiji nista primerljivi, oziroma pri spravilu s traktorjem predstavlja problem faza privlačevanja hlodov na gozdno

prometnico, saj se tovor hitro nasloni ob drevo, ki stoji tik ob vlaki. Strojna sečnja je v tem pogledu bistveno boljša, saj stroj za sečnjo s hidravličnim dvigalom kontrolira breme in ga lahko v veliki meri nadzoruje. Tako je verjetnost poškodb ob gozdni prometnici manjša.

5.2.2 Primerjava naših ugotovitev z raziskavami strojne sečnje iz tujine

Hitra primerjava naših rezultatov z rezultati slovenskih avtorjev pokaže, da je poškodovanost, ki smo jo ugotovili na naših objektih, nad državnim povprečjem. Na Krasu so (Košir in Robek, 2000) pri drobnem drevju (neto drevo $0,11 \text{ m}^3$) borovega sestoja ugotovili 8 % poškodovanost. V drugi raziskavi so v smrekovem sestoju (Delavec, 2003), s povprečnim bruto drevesom $0,26 \text{ m}^3$, prišli do podobnih rezultatov in sicer 8,2 % poškodovanosti. Zanimiva je podrobnejša primerjava rezultatov omenjenih raziskav z našimi objekti. Poškodbe, ki jih je v svoji raziskavi ugotovil Delavec (Delavec, 2003), so zelo nizke, sploh če vemo, da je bila poškodovanost pri spravilu z goseničnim traktorjem le 13,3 %. Razloge za tako nizke deleže poškodovanosti lahko iščemo v sestojnih razmerah ali pa metodoloških razlikah. Raziskava v Žekancu z našimi objekti ni primerljiva zaradi bistveno drugačnih sestojnih razmer in drevesne vrste. Glede sestojnih razmer naj povemo, da je bil raziskovalni objekt lociran na Krasu, kjer so drevesne višine bistveno nižje in tako drevesa med podiranjem povzročijo manj poškodb na drugih drevesih. Drugi dejavnik, ki je najverjetneje celo pomembnejši, je drevesna vrsta. Na objektu Žekanc je prevladujoča drevesna vrsta črni bor, ki ima debelo skorjo in je po izkušnjah iz Evrope in Amerike zelo odporen na poškodbe (Vasiliauskas, 2001).

Pogojno primerljive raziskave so bile izvedene tudi v Skandinaviji. V sestojih rdečega bora (Jäghagen in Lageson, 1996), redčenih s tehnologijo strojne sečnje in pravilom lesa z zgibnim polprikoličarjem, so ugotavljali poškodovanost po metodi, ki je zelo podobna naši, saj prihaja ideja od istega avtorja. Razlika je le ta, da so vzorčili tudi znotraj ploskev. Popisali so le vsako četrto drevo na ploskvi. Nekoliko drugače so oblikovali tudi razrede poškodovanosti, saj se poškodba začne šele pri 20 cm^2 . Drugačna je tudi definicija poškodbe, saj za poškodbo šteje le, če je lubje odstranjeno in je les izpostavljen. Naša metoda je glede tega bolj stroga, saj kot poškodbo zabeležimo tudi manjše poškodbe kambija. Avtorji so na objektu ugotovili 12,7 do 17,0 % poškodovanost drevja v sestoju. Zaradi drugačne drevesne vrste in manjše gostote sestojev je objekt bolj primerljiv z Žekancem (Košir in Robek, 2000), kjer so bile ugotovljene manjše poškodbe – le 8 %.

Lokacija poškodb dreves v sestoju na objektu Žekanc je precej podobna našim ugotovitvam. Avtorji poročajo o 68 % poškodovanosti debla, 13 % poškodb na korenovcu, 8 % poškodb na vejah ob deblu in 6 % poškodovanost korenin. Večina poškodb je torej na deblu in korenovcu, kar smo ugotovili tudi na naših objektih.

Prva težava na katero smo naleteli pri pregledu tuje literature, je relativno kratek seznam literature, ki je z našimi objekti primerljiva glede na sestojne razmere. Pri sestojnih razmerah nas zanima predvsem gostota dreves, saj se v gostih sestojih drevo hitreje poškoduje, kot v zelo redkih sestojih. Zaradi večje preglednosti in za lažje razumevanje smo sestavili preglednico 64, kjer so izbrani najbolj podobni objekti iz tuje literature, s katerimi bomo primerjali naše objekte.

Težave s primerljivostjo smo imeli pri objektih Osankarica in Bukovje. V literaturi je malo primerov prvih redčenj s takšno gostoto sestojev, kot je to v naših primerih. Najbližje tem gostotam so prišli v ZDA (Camp, 2002).

Težave s primerljivostjo so manjše na objektih Mozelski Šahen in Trije križi. V literaturi smo našli več poskusov, ki so po razmerah precej podobni tema dvema objektoma.

Preglednica 64: Primerjava objektov iz tuje literature z našimi objekti

Avtor in leto	Stroj za sečnjo	Stroj za spravilo	Naklon [%]	Število dreves/ha pred posegom	Število dreves/ha po posegu	Temeljnica pred posegom [m ² /ha]	Temeljnica po posegu [m ² /ha]	Povprečni premer sestoja [cm]
Camp, 2002	Goseničar Kabelco 200, Kato 500	Valmet 982 FW, 14 ton	0	2525	1238	41,3		
	Goseničar Kabelco 200, Kato 500	Valmet 982 FW, 14 ton	40	1455	358	32,1		
Heitzman in Grell, 2002	Valmet 701 2 osi, valmet 945	Valmet 546, 3 osi	0-10	2275	1236	37,9	24,3	
	valmet 901, 2 osi, valmet 945	Valmet 546, 3 osi	0-10	1769	1097	43,1	32,3	
Osankarica	Eco Log 580C	John Deere 1110	0-6	2721	1951	59,1	38,7	Pred: 15,0 Po: 13,97
Bukovje	Eco Log 580C	John Deere 1110	0-3	2401	1875	35,9	20,9	Pred: 10,9 Po: 9,5
Fjeld in Granhus, 1998	88-155kW HW z 8,5-10 m dvigalom	80-100kW FW z 10-12 t nosilnosti		950		22-45		
Ferenčík in Stanovský, 2011	John Deere 1070D Eco3	John Deere 810E Eco3	15-25	995	725			23
	John Deere 1070D Eco3	John Deere 810E Eco3	15-25	936	614			20
Lageson, 1997	Osa 260/752	Brez zgibnega polprikoličarja	2-7	1465	800	27,7	19	14,8
	Osa 260/752	Brez zgibnega polprikoličarja	2-7	1344	913	27,9	18,7	15,7
	Osa 260/752	Brez zgibnega polprikoličarja	2-7	1301	833	27,5	18,5	16,1
Fröding, 1992b	Različni stroji za sečnjo	Različni zgibni polprikoličarji		1272 ± 394	738 ± 61			
Mozeljski Šahen	John Deere 1470D	John Deere 1410D	0-30	783	643		36,1	24,4
Trije križi	John Deere 1470D	John Deere 1410D	0-30		886			
Vetrih traktor	HSM 805F	HSM 805F	0-20	439	351	36,8	27,8	Pred: 29,8 Po: 30,8
Vetrih stroj za sečnjo	HSM 805F	HSM 805F	0-20	813	613	29,6	24,0	Pred: 24,7 Po: 26,6

Metode, ki jih v svojem delu uporablja Camp (Camp, 2002) so podobne našim. Gre torej za vzorčenje znotraj sestoja. Razlika je v pojmovanju dreves. V raziskavi se ukvarjajo samo z izbranci (ang. retention trees). Izbranci so bili vidno označeni z oranžno barvo. Prav tako je gostota sestoja po posegu samo gostota izbrancev. Druga drevesa avtorjev ne zanimajo. Gostota preostalega sestoja je bila precej višja, torej lahko trdimo, da so si objekti precej podobni. Težave pa nastanejo pri primerjavi rezultatov. Tudi ostali avtorji navajajo le deleže poškodovanosti izbrancev. Na vzorčnih ploskvah so ugotovili, da je bilo na strmih objektu nepoškodovanih 26 % izbrancev. Manjše poškodbe skorje je imelo 26 %, poškodbe na kambiju so ugotovili pri 27 %, globoke poškodbe pa so ugotovili na 21 % izbrancev. V sestoji na ravnini (0 % naklona) je bila poškodovanost še večja. Tu so ugotovili le 10 % izbrancev brez poškodb, poškodbe skorje so bile vidne na 44 % izbrancev, kambialne poškodbe so ugotovili na 34 %, velike poškodbe pa na 12 % izbrancev. Avtorji ne navajajo niti povprečne velikosti poškodb niti njihove lokacije. Navedeni deleži poškodovanosti so zelo veliki, kljub temu, da so ugotavljali poškodbe le na izbrancih. Čeprav ne govorijo o starosti poškodb je jasno, da gre pri raziskavi za nove poškodbe, res pa je tudi, da so sestoji precej mladi in da starih poškodb v takem obsegu ne more biti. Če povzamemo, so avtorji ugotovili 74 % poškodovanost izbrancev v sestoji na strmih terenu in 90 % poškodovanost izbrancev v sestoji na ravnini.

Tudi v drugi ameriški raziskavi (Heitzman in Grell, 2002) so kot metodo uporabljali vzorčne ploskve s premerom 8,01 m, na katerih so za ugotavljanje poškodovanosti popisali vsa živa drevesa nad prsnim premerom 5,1 cm. Na ploskvah so ločevali med drevesi ob vlaki in v sestoji. Drevo ob vlaki je bilo definirano, kot drevo rastoče do 0,6 m stran od roba vlake. Kot vidimo, je sama metoda dobro primerljiva z našo metodo. Razlike pa so pri definiciji poškodb. Kot poškodbo avtorji razumejo samo poškodbe debla, pri katerih je bila skorja odstranjena, les pa izpostavljen ali poškodovan. Poškodb na koreninah in krošnji niso proučevali. Prevladujoča drevesna vrsta je bila smreka (*Picea rubens* Sarg.). Drevesa v sestoji je za sečnjo izbiral strojnik sam. Zaradi podobnosti sestojev, glede na prsni premer z objektom Osankarica in Bukovje bomo poškodbe primerjali le z enim objektom, v raziskavi opisanem kot objekt »Allagash«. Na tem objektu je opravljal sečnjo 4-kolesni stroj Valmet 701 s procesorsko glavo Valmet 945, spravilo se je vršilo s 6-kolesnim zgibnim polprikoličarjem Valmet 546. Ta garnitura za strojno sečnjo je manjša kot garnitura, ki je bila uporabljena v naših poskusih. Namenjena je za zgodnja redčenja, stroji so ožji in imajo krajši doseg hidravličnega dvigala. Ugotovljena poškodovanost dreves v sestoji na objektu je bila med 34 in 46 %.

Primerjava naših objektov s tujimi raziskavami pokaže, da sta naša objekta na Osankarici in v Bukovju precej manj poškodovana, kot kažejo tuje raziskave. Kot smo že povedali, je poškodovanost na Osankarici dosegla 11 %, v Bukovju pa 14 %. Primerjava z obema ameriškima objektoma, kjer so ugotovili med 74 in 91 % poškodovanost izbrancev ter drugo raziskavo s povprečno poškodovanostjo vseh dreves na ploskvah med 34 in 46 %, pove, da smo na obeh objektih globoko pod povprečjem poškodovanosti. Res pa je, da sta bila

poskusna objekta dobro pripravljena in idealna, tako da lahko v praksi pričakujemo večje poškodbe.

Več primerjav z literaturo lahko naredimo z objektoma Mozelski Šahen in Trije križi. V zelo obširni raziskavi, v kateri so pregledali 403 pretežno smrekovih sestojev (Fröding, 1992b), so zajeta prva redčenja. Inventuro so večinoma izvajali zaposleni v podjetjih, ki se ukvarjajo s pridobivanjem lesa. Povprečna gostota obravnavanih sestojev pred redčenjem je znašala 1500 dreves/ha, po redčenju pa 850 dreves/ha.

Ugotovili so $7,2 \pm 0,6$ % poškodovanost dreves po strojni sečnji in spravi z zgibnim polprikolničarjem. Večina poškodb pri strojni sečnji je bila locirana na deblu (52 %), sledi korenovec s 34 % in korenine s 13 % poškodovanosti. Velikost poškodb po razredih je sledeča; v razredu od 0 do 15 cm^2 je bilo ugotovljenih 23,9 % poškodb, v razredu od 15 do 100 cm^2 je bilo ugotovljenih 53,6 % poškodb, v razredu nad 100 cm^2 pa 22,5 % poškodb.

Primerjava z našimi objekti pokaže, da so ugotovljeni deleži poškodovanosti zelo nizki, kar ugotavlja tudi vrsta drugih avtorjev. Razlogov za to je več. Omenimo naj nižje višine dreves in manjše premere (tarifa), svoje pa je zagotovo prispevalo tudi dejstvo, da poškodb najverjetneje niso vedno popisovali takoj po izvedbi del. Poškodbe dreves v sestoji s časom namreč obledijo, postanejo sive barve in jih je zelo težko opaziti.

Če naredimo primerjavo s slovenskimi raziskavami, je ugotavljanje poškodb z inventurnimi metodami s ploskev za popis poškodovanosti gozdov (Robek in Medved, 1997) pokazalo 12,3 % poškodovanost. Ugotovljeni delež je bistveno nižji od dejanskega, torej poškodovanosti, ki jo ugotavljamo z našimi metodami. Razloga sta metoda pridobivanja podatkov in način izvedbe raziskave.

Lokacija poškodb na drevesu je podobna trendu, ki smo ga ugotovili tudi v naši raziskavi, torej se večina poškodb nahaja na deblu, sledijo poškodbe korenovca ter poškodbe korenin. Z vidika velikosti poškodb so rezultati raziskav primerljivi navkljub različnim velikostnim razredom. Tudi v naši raziskavi je večina poškodb v razredu od 15 do 100 cm^2 , malo manj pa je poškodb nad 200 cm^2 . Primerjave za razred »od 0 do 15 cm^2 « ne moremo narediti, saj podatkov nismo zbirali na primerljiv način, oziroma je tudi naša definicija poškodbe malce drugačna, kar bi se v tem, najmanjšem razredu zagotovo odražalo drugače.

V drugi švedski raziskavi (Lageson, 1997) so ugotavljali poškodbe dreves v sestoji samo po strojni sečnji brez spravi lesa. Delali so z istimi stroji in strojniki, a po različnih gozdnogojitvenih predpisih. Sestoji imajo podobno gostoto kot naši sestoji, a so prsni premeri dreves precej manjši. Od poskusnih objektov je našim razmeram najbolj podoben objekt, ki ga v članku imenuje »STB«. Ugotovljena poškodovanost dreves v sestoji po strojni sečnji znaša 5,0 %.

Na Norveškem (Fjeld in Granhus, 1998) so poškodovanost dreves v sestojih ugotavljali z neopredeljenim vzorčenjem v smrekovih sestojih. Sečnja se je izvajala pozimi. Ugotovili so 13,7 % poškodovanost po strojni sečnji in spravi lesa.

Ugotovimo lahko, tako kot več drugih avtorjev (Hassler in sod., 1999; Heitzman in Grell, 2002; Košir in Robek, 2000), da skandinavski avtorji ugotavljajo nižje deleže poškodovanosti dreves kot ameriški ali srednjeevropski avtorji. Razlogi za to so najverjetneje v volumnu in višini dreves ter v metodoloških razlikah.

Dostopnih objav o poškodbah dreves v sestojih s sodobnimi tehnologijami strojne sečnje iz srednje Evrope, kjer so sestoji podobni našim razmeram, ni veliko. Na Slovaškem (Ferenčík in Stanovský, 2011), so izvedli poskus v podobnih razmerah kot na naših objektih – primerljivi so srednji prsni premeri in gostote dreves. Žal je primerljivost omejena zaradi drevesne vrste sestoja, saj proučujejo bukev, dela pa so opravljali manjši stroji. Uporabljali so stroj za sečnjo John Deere 1070D in zgibni polprikolničar John Deere 810E. Oba stroja sta manjša od strojev uporabljenih v naših raziskavah. Sestoj so popisovali na ploskvah v velikosti 20 × 20 m. Ugotovili so, da je povprečna poškodovanost na ploskvah 105 dreves/ha v prvem oddelku in 150 dreves/ha na drugem. Če izrazimo v deležih, je poškodovanost v prvem oddelku znašala 15,2 %, v drugem pa 32,0 %. Ugotovimo lahko, da so rezultati te raziskave bližje našim ugotovitvam kot ugotovitve skandinavskih raziskav. Ugotovljena poškodovanost v prvem oddelku je primerljiva z našimi ugotovitvami iz Osankarice in Bukovja, poškodovanost v drugem oddelku pa je primerljiva z objektoma Mozelski Šahen in Trije križi. Razlogov za takšna odstopanja poškodovanosti med oddelkoma avtor ne podaja, ugotavlja pa, da je poškodovanost bistveno večja kot v tuji literaturi. Očitno je, da v srednjeevropskih razmerah dosegamo drugačne poškodovanosti kot v Skandinaviji. Razlogi so najverjetneje v bistveno drugačnih sestojnih razmerah.

V slovaški raziskavi so ugotovili, da je večina poškodb (67 %) na deblu, sledi korenovec z 22 %, poškodb korenin pa je le 1 %. Porazdelitev poškodb na drevesu se ujema z ugotovitvami naše raziskave v listavcih, kjer smo na objektu Bukovje ugotovili 84 % poškodovanost debla, 16 % poškodovanost korenovca in nič poškodb na koreninah. Porazdelitev je značilna za strojno sečnjo v listavcih.

5.3 POŠKODBE TAL

Deli tega poglavja so objavljeni v končnem poročilu projekta CRP V4-1126 Možnosti in omejitve pridobivanja biomase iz gozdov.

Zaradi preglednosti razprave in lažjega komentiranja smo razpravo razdelili na enaka poglavja kot v rezultatih.

5.3.1 Konusni indeks in vlažnost tal

Na nobenem objektu ni bilo mokrih tal. Tla na Osankarici, v Bukovju in na Vetrihu so bila suha, v Mozelskem Šahnu pa sveža. Takšna razporeditev vlažnosti objektov je razumljiva, saj smo na vseh objektih delali v poletnem času. Ker gozdna proizvodnja poteka skozi celotno leto, lahko trdimo, da je pomanjkanje objektov, spremljanih v mokrem delu leta, največja pomanjkljivost naše baze podatkov. V podnebnem pasu, v katerem se nahajamo, so padavine razporejene skozi večji del leta, zato naša baza v tem trenutku ne predstavlja realne slike vlažnosti tal skozi večino leta na deloviščih v državi. Ker je vlažnost poleg tipa tal najpomembnejši dejavnik za nosilnost tal, iz naših ugotovitev ne moremo potegniti zaključkov, ki bi jih lahko posplošili na celotno državo. Takšne zaključke bomo lahko potegnili šele, ko bomo imeli večje število objektov pri večji vlažnosti.

5.3.2 Širina sečne poti in svetlega profila

Na terenu s trdo matično podlago (Mozelski Šahen in Trije križi) so poti široke med 391 in 353 cm po sečnji in spravilu. Razmere na obeh objektih so tipično kraške, teren je vrtačast, razvojna faza gozda je enaka, prav tako so na obeh objektih delali isti stroji. Ker sta objekta praktično identična, je zanimivo opazovati razliko med povprečno širino poti na Mozelskem Šahnu, kjer so sečne poti po spravilu za 15 cm širše kot po sečnji, v primerjavi s Tremi križi, kjer spremembe skoraj ni (povečanje za 3 cm). Vplivov na povečanje širine sečne poti je več, vsekakor močno vpliva priprava objekta (trasiranje sečnih poti in odkazilo) ter razlika v načinu dela strojnikov. V Mozelskem Šahnu sta delala dva delavca v stroju za sečnjo ter dva delavca v zgibnem polprikoličarju. Na Treh križih pa je vso sečnjo opravil en strojnik, vse spravilo pa drugi – na celotnem objektu sta torej delala le dva človeka. Naj še omenimo, da so strojniki v Mozelskem Šahnu bili manj motivirani za dobro delo kot na Treh križih. Sečne poti v Vetrihu so od vseh objektov najozkeje, saj je tu delal najmanjši stroj.

Primerjava širin sečnih poti z domačimi raziskavami pokaže, da so razlike majhne. Na Žekancu je povprečna širina sečnih poti znašala 353 cm. Širina je enaka kot na objektu Trije križi (353 cm) in primerljiva z objektom Osankarica (370 cm). Objekta Mozelski Šahen s 391 cm in Bukovje z 417 cm širine odstopata navzgor.

Na večini objektov smo ugotovili, da se na določenih profilih njihova širina zmanjša in ne poveča, kot bi pričakovali. Zmanjšanje širine profilov po pravilu je na prvi pogled nekoliko nenavadno, a ni nemogoče, saj stroj za sečnjo med delom velikokrat zavije iz kolesnic. Odtisi koles (v iglicah in listju) so dobro vidni takoj po sečnji, čez nekaj dni pa zaradi aktivnosti na delovišču hitro izginejo, medtem ko so kolesnice, ki jih pusti zgibni polprikoličar močno vidne in očitne. Izpostavimo naj predvsem dejstvo, da je bilo na objektih, ki so podobni realnosti, takšnih profilov manj, kot na objektih, ki so bili oblikovani zaradi poskusa. Zanimivo je tudi, da kljub temu, da smo imeli ponekod veliko število profilov, ki so bili enaki ali ožji od predhodne meritve (na Osankarici je takšnih kar 85 % vseh profilov), je v povprečju na vseh objektih širina sečne poti po naslednji delovni operaciji večja.

Zanimiva je tudi primerjava koeficientov širine povprečnega profila po pravilu z najširšim profilom v Bukovju. Ugotovimo lahko, da je širina sečne poti na najširšem profilu za 1,25 krat večja kot povprečna širina sečne poti na objektu. Enako razliko lahko opazimo tudi v Mozelskem Šahnu. Ti razliki sta hkrati največji od vseh objektov. Zanimivo je, da smo enake razpone širin sečnih poti na dveh zelo različnih objektih – v Mozelskem Šahnu, kjer je veliko križišč in zavojev, in v Bukovju, kjer smo imeli samo enosmerne sečne poti brez zavojev. V Bukovju smo najširši profil zabeležili na nekoliko neposrečno izbrani sečni poti, ki poteka v jarku, prav tako pa je bil tukaj naklon zelo velik. Na tem delu poti je imel zgibni polprikoličar večje težave z vožnjo in je večkrat poskusil premagati strmino.

Širina svetlega profila ustreza tehnološkemu prostoru. Je torej prostor, ki ga potrebuje tehnologija za svoje delovanje. V nasprotju s širino sečnih poti je na širini svetlega profila redčeni sestoj normalno prisoten. Glede na zbrane podatke lahko ugotovimo, da zgibni polprikoličar manj posega v svetli profil, oziroma ga vsaj manj močno povečuje, kot je to v primeru stroja za sečnjo. Na to dejstvo kažejo podatki iz vseh objektov, izjema je le Mozelski Šahen, kjer je delež profilov, na katerih je bilo zabeleženo povečanje širine svetlega profila, po pravilu lesa kar 45 %. Razumljivo je, da zgibni polprikoličar v svetli profil posega manj kot stroj za sečnjo, saj ima tudi bistveno krajše hidravlično dvigalo.

5.3.3 Motena površina

Izmerjena površina motenih tal na naših objektih je v intervalu od 14,6 do 21,0 % površine na ha. Povprečna površina motenih tal na vseh objektih znaša 18,7 % na ha. Ugotovimo lahko, da je površina motenih tal v naši raziskavi manjša, kot to navajajo tuji avtorji. Wronski (Wronski, 1984) ugotavlja, da je po tehnologiji sečnje z motorno žago in spravila z zgibnim polprikoličarjem na objektu bilo motenih 23 % površine. V drugi raziskavi (Wood in sod., 2003) tehnologije strojne sečnje in spravila lesa z stroji, ki so bili manjši od naših, navaja moteno površino na objektu v razponu od 33 do 55 %. O manjši moteni površini poroča le raziskava iz ZDA (Vidrine in sod., 1999), kjer poročajo o moteni površini med

10 in 12 %, a metodologija ugotavljanja poškodb ni primerljiva z našo, saj ameriški avtorji upoštevajo le velike poškodbe.

Če primerjamo naše ugotovitve s tujimi raziskavami o moteni površini pri sodobnih tehnologijah kratkega lesa, ugotovimo podobne odstotke motene površine. V ZDA (Bettinger in Kellogg, 1993) so po sečnji s strojem Timberjack 2518 in spravilu lesa s strojem FMG 910 ugotovili, da je bilo 22,5 % sestoj sečnih poti in cest. Opisani objekt ima podobne odstotke motene površine kot objekt Trije križi (21 %). V drugi raziskavi v umetnih sestojih duglazije s sodobno sortimentno metodo (McNeel in Ballard, 1992) poročajo o uporabi 19,7 % površine sestoj za sečne poti, kar je zelo primerljivo z objektom Mozelski Šahen. Iz srednje Evrope poročajo o uporabi majhnih strojev za sečnjo, kjer so ugotovili 14,9 % motene površine na objektu. Te meritve so na spodnji meji našega intervala, saj smo tako nizek odstotek motene površine dosegli le na objektu Osankarica.

Povzemimo še ugotovitve več skandinavskih in severnoameriških avtorjev (Eriksson, 1981; Fröding, 1982; Wästerlund, 1992; Wronski, 1984), ki ugotavljajo, da je površina motenega objekta pri strojni sečnji med 12 in 25 %. Če primerjamo te ugotovitve z ugotovitvami naše raziskave, kjer smo ugotovili moteno površino v intervalu od 14,6 do 21,0 %. Ugotovimo lahko, da so naša dognanja znotraj intervala, ki velja za sodobne tehnologije strojne sečnje v svetu.

Če primerjamo naše podatke o moteni površini objekta 18,7 % s podatki domače raziskave, kjer so ugotovili, da je bilo na delovišču spremenjenih 17,3 % površine tal (Košir in Robek, 2000) ugotovimo, da ugotovljena vrednost ni značilno nižja kot povprečje naših raziskav.

Ugotovimo lahko, da v slovenskih razmerah sodobna tehnologija popolne strojne sečnje in spravila lesa s srednje velikimi stroji za sečnjo in spravilo lesa za delo potrebuje med 12 in 25 % površine sestoj v naklonih do 20 %.

5.3.4 Globina kolesnic

Rezultati meritev globine kolesnic kažejo, da je na objektih večje število narinjenih kot stisnjenih kolesnic. Na večini objektov je večina kolesnic narinjenih. V Mozelskem Šahnu je bilo po spravilu kar 87 % kolesnic narinjenih. Najmanj narinjenih kolesnic je bilo v Bukovju, kjer je bilo takšnih 64 % kolesnic. Presenetila nas je velika količina narinjenih kolesnic na vseh objektih. Ker so bila tla na vseh objektih precej suha, se je dogajalo, da je stroj s svojimi gosenicami, verigami in rebri na pnevmatikah tla v zgornjem delu zrahljal. Zrahljana tla so seveda višja kot stisnjena. Pri naši metodi pa smo ugotavljali le globino najglobljega dela kolesnice (nismo kopali do stisnjenega dela tal). To pa ne pomeni, da v tleh do stiskanja tal ni prišlo. V tleh se je na večji globini ustvarila stisnjena plast (trdnost tal narašča z globino), ki je nosila težo stroja. Plasti tal nad njo so bile izpostavljene delovanju koles, ki so plast tal zrahljale. Na ta način lahko tudi razložimo pomanjkanje razlike med

objekti na globokih tleh (Vetrih, Osankarica, Bukovje) in objektih na trdni matični podlagi (Trije križi, Mozelski Šahen). V obeh primerih imamo torej plast, ki nosi težo stroja. Na Krasu je ta plast matična podlaga, na globokih tleh pa je ta plast sama prst. Tla nad to plastjo se zaradi vožnje po tleh zrahljajo in kolesnice narastejo.

Primerjava naše raziskave s tujimi raziskavami globine kolesnic pokaže, da je večina tujih raziskav bila narejena na močvirskih, glejnih in podzoljenih tleh, ob veliki vsebnosti vode. Vsebnost vode je pomembna, saj je ravno ta dejavnik (poleg vozila in tipa tal) najpomembnejši pri tvorbi kolesnic (Liu in sod., 2010).

Hrvaški poskusi ugotavljanja globin kolesnic (Poršinsky, 2005a) so potekali v psevdoglejih pri visokih vlažnostih tal. Najmanjša vlažnost na objektu je znašala 46,1 %, največja pa 70 %, pri popolni nasičenosti tal z vodo. Primerjava z našimi rezultati je težka, saj objektov, kjer bi zabeležili takšno vsebnost vlage, nimamo, največji zabeleženi odčitek vlažnosti v Mozelskem Šahnu je znašal 38,5 %, tla na objektu pa so bila plitva.

Iz tuje literature je znanih več primerov ugotavljanja globine kolesnic. Tudi tukaj so poskuse izvajali pri večjih vlažnostih tal (Bygdén in sod., 2004). Izvajali so meritve pri 47,9 do 61,8 % vlažnosti. Konusni indeks tal je bil manjši, v povprečju med 350 in 450 kPa.

Na Irskem (Nugent in sod., 2003) so poskuse izvajali na šotnih tleh, ki z našimi razmerami niso primerljiva. Vsebnost vlage je bila sicer nizka (10-20 %), a je bila merjena na kolesnicah. Konusni indeksi v raziskavi (pred prehodom strojev) so nižji, kot v naših primerih – med 450 in 650 kPa.

Iz ZDA poročajo o ugotavljanju kolesnic po tehnologiji strojne sečnje (Vidrine in sod., 1999). Prst na objektu je bila peščena ilovica. Raziskavi nista primerljivi, saj avtorji ugotavljajo, da se je stroj ugreznil do osi pri vlažnosti tal 41,6 %. Tla na teh objektih so torej precej drugačna kot tla na naših objektih. Avtorji poročajo o 33,1 cm globoki povprečni kolesnici v prvih in 23,6 cm globoki kolesnici v drugih redčenjih. Povprečna vlažnost na objektu je znašala 25,8 oziroma 27,0 %.

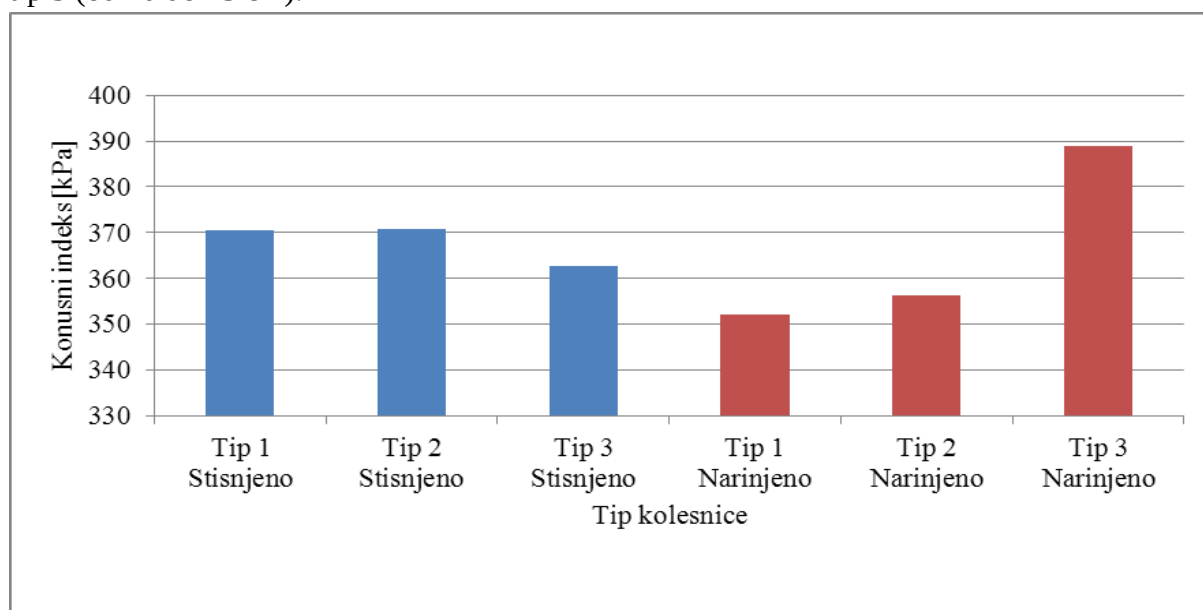
V Rusiji (Gerasimov in Katarov, 2010) so ugotavljali globino kolesnic v meljasto-ilovnatih tleh. Vlažnost tal je nihala med 80 in 93 %. Objekti med seboj niso primerljivi.

Povzamemo lahko, da so vse nam dostopne tuje raziskave narejene v tleh, ki so drugačna od naših objektov. Poleg tega so vsi poskusi iz tujine obravnavali poškodbe tal na zelo občutljivih tleh. Tla na naših objektih so sicer problematična, saj so globoka, niso pa tako mehka, kot je to v primerih iz tuje literature. Delo s strojno sečnjo na visokih barjih in psevdoglejih se pri nas dogaja le redko, saj so takšni objekti v velikem deležu zavarovani. Metode merjenja globine kolesnic uporabljene v naši in tujih raziskavah so primerljive. Prav tako so primerljivi tudi načini izračunavanja globin kolesnic.

Primerjajmo naše rezultate še z domačimi raziskavami poškodb tal. Na apnenčasti podlagi so (Košir in Robek, 2000) ugotovili povprečno globino kolesnice na sečni poti 3,7 cm in na sekundarni vlaki 4,8 cm. Primerjava z objektoma Mozelski Šahen in Trije križi pokaže, da so globine kolesnic na apnenčasti matični podlagi po pravilu povsem primerljive z objektom iz prej omenjene raziskave.

V naši raziskavi zbrani podatki torej kažejo na dejstvo, da vožnja po primernih tleh (suhih in dovolj trdnih) ne povzroča večjih poškodb. Na vseh objektih smo namreč zaznali največ kolesnic tipa 1 in 2, ki niso problematične. Narinjene kolesnice iz vidika poškodb tal niso tako problematične, kot stisnjene saj se tla, ki so vsaj delno zrahljana hitreje opomorejo, kot tla, ki so stisnjena, ali pa imajo porušeno strukturo in so zmešana (uničena).

Znano je, da konusni indeks vpliva na globino kolesnic in trdnost tal (Poršinsky, 2005a; Saarilahti, 2002a). Zato smo na sliki 70 prikazali povprečni konusni indeks glede na posamezen tip kolesnice. Na sliki 70 ne prikazujemo tipov kolesnic 4, 5, 6 in nedovoljenih kolesnic, saj za takšne primerjave nimamo dovolj podatkov. Na sliki smo bolj podrobno razdelili stisnjene in narinjene kolesnice na tip 1 (od 0 do 5 cm), tip 2 (od 5 do 10 cm) in tip 3 (od 10 do 15 cm).



Slika 70: Povprečni konusni indeks na posameznem tipu kolesnice za vse objekte

Pri stisnjenih kolesnicah je razvidno, da konusni indeks s povečevanjem globine kolesnice pada. Pri tipih kolesnice 1 in 2 znaša povprečni konusni indeks 370,5 oziroma 370,8 kPa. Razlika se poveča pri tipu kolesnice, kjer je povprečni konusni indeks 362,9 kPa. Podatki torej izkazujejo trend padanja konusnega indeksa z povečevanjem globine stisnjenih kolesnic.

Pri narinjenih kolesnicah je situacija obrnjena. Pri narinjenih kolesnicah, ki ustrezajo tipu 1 je povprečni konusni indeks znašal le 352,3 kPa, pri tipu 2 356,3 kPa, pri tipu 3 – torej

najbolj narinjenih kolesnicah, pa je bil povprečni konusni indeks največji in je znašal 389,0 kPa. Ugotovimo lahko, da se povprečni konusni indeks s povečevanjem narinjenosti tal povečuje. Ta rezultat podpira našo trditev o nastanku narinjenih kolesnic.

5.3.5 Vejna preproga

Ugotovili smo, da se debelina sečnih ostankov s številom prehodov zmanjšuje. To je v skladu z ugotovitvami drugih avtorjev, ki ugotavljajo, da je vejno preprogo potrebno redno popravljati, saj drugače popusti in neha opravljati svojo funkcijo (Murgatroyd in Saunders, 2005).

Delež površinske pokritosti tal v tujih raziskavah nismo zasledili, je pa površinska pokritost tal vsekakor povezana z debelino sečnih ostankov. Z našimi podatki smo dokazali, da se poleg globine spreminja tudi pokritost kolesnic s sečnimi ostanki. S številom prehodov se namreč pokritost s sečnimi ostanki povečuje v delih, kjer so poškodbe tal majhne in zmanjšuje tam, kjer so poškodbe tal večje. Ta podatek kaže, da vejna preproga ni statična, temveč se z vsakim prehodom stroja spreminja. Zmanjšuje se njena debelina, dogaja pa se tudi horizontalni transport sečnih ostankov. Površina, pokrita s sečnimi ostanki se s številom prehodov povečuje.

Precej pogosto se pojavlja očitok, da strojniki premalo sečnih ostankov zlagajo na kolesnice in preveč na os sečne poti. Kot lahko vidimo iz slike 70, je najpogostejša debelina vejne preproge na osi med 0 in 20 cm, kar velja za obe delovni fazi. Na kolesnicah se po sečnji najpogostejše pojavlja razred med 20 in 40 cm, po pravilu pa se zaradi pritiska sečni ostanki zbijejo skupaj in zato je na večini profilov odeja debela le še od 0 do 20 cm. Strojniki si torej delajo debelejšo vejno preprogo na kolesnicah. Vejna preproga je na osi sečne poti na prvi pogled resda zelo debela, a po naši metodi upoštevamo le stisnjeno debelino sečnih ostankov, ki je bistveno manjša.

5.4 MODEL CELOSTNEGA VREDNOTENJA TEHNOLOGIJ

S pomočjo modela celostnega vrednotenja tehnologij smo skušali ovrednotiti tehnologije iz več kot enega zornega kota. V modelu upoštevane parametre smo razdelili na kriterije ekološke in ekonomske ustreznosti. Glede na pridobljene izkušnje in podatke smo sestavili matriko kriterijev za posamezne tehnologije.

V modelu smo upoštevali samo vseh šest tehnologij iz modela BIOPERA. Za te tehnologije imamo izkušnje in podatke iz terenskih snemanj. Model bi bilo možno razširiti s podatki o ekonomskih parametrih iz tujih raziskav ter nekaterimi tujimi in domačimi raziskavami vplivov na okolje večjega števila tehnologij. S tem bi dobili večje število tehnologij, najverjetneje pa tudi boljšo oceno trenda. Besedo najverjetneje uporabljamo zato, ker je za resnično dobro oceno potrebno uporabljena metoda izboljšati, nepreverjeno prevzemanje ugotovitev tujih raziskav pa večinoma ne prinaša dobrih rezultatov. Potrebne so torej nadaljne raziskave v Sloveniji.

Izognili se bomo natančnejšemu komentiranju rezultatov modela. Razlogov zato je več, izpostavimo predvsem potrebo po dodatnih raziskavah posameznih tehnologij in dejstvo, da so kriteriji navedeni v preglednici 63, raziskavam navkljub mestoma subjektivni in podvrženi naši lastni presoji. Poleg tega same lokacije posameznih tehnologij za razumevanje ideje modela v tem trenutku niso pomembne.

Podrobneje se bomo dotaknili trenda narisane na sliki 68. Iz slike je razvidno, da trend ne poteka iz strani dobrih tehnologij proti slabim, temveč obratno. Poteka od tehnologij z dobro ekološko platjo in slabim ekonomskim izidom proti tehnologijam z dobrim ekonomskim izidom ter velikim negativnim vplivom na okolje. Trdimo lahko torej, da večina uporabljenih tehnologij ni takšna, kot bi si želeli.

Idealen trend bi bil obraten. Imeli bi torej tehnologije, ki so za okolje in ekonomiko slabe ter tehnologije, ki bi bile dobre iz ekonomskega in ekološkega gledišča. Odločanje pri takšnih tehnologijah bi bilo preprosto – prepovedali bi slabe in dovolili le uporabo dobrih tehnologij. Očitno pa temu ni tako in realnost je, da se tehnologije, ki so bolj prilagojene okolju slabše »odrežejo« iz ekonomskega gledišča in obratno. Očitno je torej, da moramo biti pri izbiri tehnologij zelo previdni in tehnologije izbirati glede na veliko število vplivnih dejavnikov. Naš cilj je namreč doseči tem manjše vplive na okolje ob tem boljšem ekonomskem rezultatu.

6 ZAKLJUČKI

V zaključkih odgovarjamo na raziskovalne hipoteze.

1. Lesna biomasa pridobiva na strateški in ekonomski vrednosti kot dopolnilni energent prihodnosti. To zahteva razvoj posebnih, učinkovitejših tehnologij pridobivanja lesne biomase za energijske namene.

Ob upoštevanju ugotovitev iz študija literature o trgu z lesno biomaso, tehnoloških možnosti izvedbe in ugotovitev iz poglavja 2.1.1 lahko ugotovimo, da je lesna biomasa pomemben strateški energent prihodnosti. Garancija za takšno trditev so vse našteje mednarodne zaveze in naši notranji akti, ki sledijo tem načelom. Ker velik delež države pokriva gozd, lahko trdimo, da ima prav gozdna lesna biomasa največji potencial izrabe. Največji še neizkoriščen potencial pridobivanja gozdne lesne biomase predstavljajo prav zeleni sekanci iz zgodnjih redčenj. V našem delu opisane tehnologije pridobivanja biomase so tehnologije, ki bodo (če bodo pogoji za njihovo rabo izpolnjeni) uporabljene pri pridobivanju lesne biomase za doseganje v aktih opredeljenih ciljev. Razlog za trditev, da bodo uporabljene te tehnologije je, da je potrebna mehanizacija že sedaj v našem prostoru.

Dobra novica za gospodarnost tehnologij pridobivanja biomase je vsekakor tudi postopno povečevanje cen lesnih sekancev. Tega sicer ne moremo z gotovostjo trditi za naš trg, a razvoj cen lesnih sekancev v Nemčiji, za katerega imajo dobre statistike, to potrjuje (CARMEN, 2013). Cene sekancev namreč počasi in vztrajno rastejo. Poleg tega so sekanci cenovno zelo stabilno gorivo. Nihanja cen med letno in zimsko sezono so majhna in znašajo le nekaj odstotkov. Tako so sekanci podobni zemeljskemu plinu, vsekakor pa so po dinamiki spreminjanja cen zelo drugačni kot nafta. Sekanci so torej na razvitem trgu zaradi svoje letne dinamike, predvidljivosti in ugodnega dolgoročnega trenda rasti cen zelo zanimiv energent.

2. Gospodarnost pridobivanja lesne biomase za energetske rabo je dolgoročno mogoča le ob ustreznem izboru sestojev, uvajanju sodobnih tehnologij ter dolgoročnimi povezavami z uporabniki surovine.

Iz rezultatov modela BIOPERA je razvidno, da so tehnologije pridobivanja biomase manj donosne kot tehnologije pridobivanja okroglega lesa. Razlog je vsekakor v sestojih tanjšega drevja, v katerih smo modelirali tehnologije pridobivanja biomase. Te tehnologije imajo v našem modelu mesto predvsem v mlajših razvojnih fazah, kjer je nezanemarljiv vpliv takšnih sečenj tudi povečevanje vrednosti bodočih sestojev. Zaradi tega in zaradi dejstva, da je vrednost takšne surovine nizka so tehnologije pridobivanja biomase zelo občutljive na nihanja v ceni proizvoda. Že majhna razlika v ceni proizvoda lahko namreč pomeni izgubo ali dobiček.

Ker je načrtovanje gozdne proizvodnje zapleten proces, takšne tehnologije ne morejo uspeti če je trg z zelenimi sekanci nestabilen. Rezultati modela BIOPERA potrjujejo, da tehnologije pridobivanja lesnih sekancev zaradi nizke cene proizvoda hitro dosežejo ekonomsko neugoden rezultat. Dolgoročne povezave med porabniki in proizvajalci so zato pomembne za večji razmah uporabe tehnologija pridobivanja biomase.

Ena glavnih ovir za uporabo tehnologij pridobivanja biomase pri nas je vsekakor trg. Pri nas namreč trga za zelene sekance ni, zato smo v naši nalogi predvideli izvoz sekancev v tujino. Rešitev je vsekakor slaba iz družbenega in ekonomskega vidika, vendar smo pokazali, da so tehnologije pridobivanja biomase, ob predpostavki sušenja lesa, lahko ekonomsko uspešne tudi na za naše razmere dolgih razdaljah prevoza lesnih sekancev, seveda ob predpostavkah ustreznih sestojnih razmer in sušenju lesa.

Model BIOPERA je pokazal tudi na veliko uspešnost in učinkovitost mehaniziranih načinov sečnje in spravila lesa, posebej pri tanjših prsnih premerih. Zaradi višjih stroškov, ki nastajajo v proizvodnji, so te tehnologije še bolj občutljive na dolge razdalje vožnje lesa in manj fleksibilne. Zato v državi nujno potrebujemo porabnike zelenih sekancev, saj lahko le na ta način skrajšamo razdalje prevoza lesa in omogočimo uporabo opisanih tehnologij.

Opozoriti hočemo še na negovalni vidik tehnologij pridobivanja biomase. V državi se je nega gozda zelo zmanjšala, kar je za prihodnji razvoj gozda slabo. Zanimiv je avstrijski model posrednega subvencioniranja nege gozda in izdelave zelenih sekancev. Država subvencionira proizvodnjo elektrike (kot v celotni Evropski uniji), a v Avstriji za uporabo zelenih sekancev proizvajalci elektrike dobijo še dodaten bonus. Razlika se prelije do proizvajalcev sekancev in na ta način je cena zelenih sekancev nekoliko višja. Seveda za uporabo takšnega modela najprej potrebujemo resnične porabnike zelenih sekancev in ne samo uporabo sekancev kot surovino za sosežig, kjer se uporabljajo sekanci z višjo kakovostjo.

3. Tehnologije pridobivanja lesne biomase za energetske namene morajo biti prilagojene delu v naravnem okolju s čim manjšimi negativnimi vplivi na okolje, kar sodobne tehnologije omogočajo. Sodobne tehnologije pridobivanja lesne biomase so prijaznejše do okolja kot tradicionalne tehnologije.

Tehnologije imajo svoje pogoje za učinkovito rabo. Naloga stroke je, da jih pravilno uporabi. Ob primerni rabi tehnologij, torej upoštevanju njihovih zahtev, lahko dosežemo dobre rezultate za gozd in ekonomiko poslovanja.

V poglavjih o poškodbah dreves v sestoji in poškodbah tal smo dokazali, da so sodobne tehnologije strojne sečnje in spravila lesa okolju prijazne in prilagojene ter omogočajo delo v gozdu z minimalnimi vplivi na sestoj in tla. Hipotezo, da so sodobne tehnologije dovolj prijazne do okolja, lahko potrdimo, če so izpolnjeni sledeči pogoji:

- primerno načrtovanje rabe tehnologij,
- tehnologiji prilagojena priprava dela in
- dober, motiviran, izobražen in izkušen strojnik.

Dokazali smo, da tehnologija strojne sečnje povzroča manjše poškodbe dreves v sestoji, celo v sestojih, kjer delamo v mlajših razvojnih fazah z velikim strojem za sečnjo, kar sicer ni idealno.

Dokazali smo, da stroj za sečnjo in zgibni polprikoličar v primernih razmerah, torej v suhem poletnem vremenu, lahko delata brez bojazni za večje poškodbe tal tudi na globokih tleh. Opozarjamo pa, da naša raziskava ni zajela razmer z razmočenimi tlemi. Posledice dela v mokrem pri nas torej niso raziskane in potrebno bo izvesti več novih raziskav, v katerih se bomo ukvarjali s takšnimi razmerami na različnih tipih tal.

Ob upoštevanju zgornjih pridržkov lahko trdimo, da je hipoteza sprejeta.

4. Pri izkoriščanju lesne biomase za energetske rabo se ob povečani rabi srečamo z ekološkimi vplivi, ki so na nekaterih rastiščih ter ob povečani intenziteti lahko omejujoči, kar pomeni, da je velika verjetnost zmanjšanja potencialov, ki so bili izračunani na osnovi inventurnih podatkov.

Naša naloga je bila opravljena v okviru projekta, v katerem smo skupaj s sodelavci iz Gozdarskega inštituta Slovenije skušali odgovoriti na vprašanje iznosa hranil. Rezultati kažejo, da lahko težave s hranili nastanejo pri intenzitetah sečenj, ki presegajo 70 % odvzema nadzemne biomase drevesa iz gozda. Jakosti sečnje v državi se vrtijo od 20 do 30 % odvzema biomase, zato trdimo, da se potenciali rastišča ob odvzemu celotne nadzemne mase drevesa, pri intenzitetah sečenj do 40 %, v gospodarskih gozdovih ne bodo zmanjšali (Simončič, 2013). Situacija je seveda lahko drugačna na rastiščih, kjer hranil primanjkuje, zato tam svetujemo previdnost.

Menimo, da je hipoteza zastavljena nekoliko preveč enostransko. Iznos hranil namreč ni edini kriterij za presojo tehnologij, zato smo z uporabo modela celostnega vrednotenja tehnologij skušali odgovoriti na bolj kompleksno vprašanje. Poskušali smo vrednotiti vplive tehnologij na okolje v odvisnosti od njihove ekonomske uspešnosti. Ugotovitve modela kažejo, da tehnologij, ki bi bile ekonomsko in ekološko dobre ni, in da je potrebno veliko previdnosti pri uporabi tehnologij. Glavni trend modela namreč kaže, da so ekološko dobre tehnologije ekonomsko manj uspešne, oziroma da so ekonomsko boljše tehnologije okolju manj prijazne. Seveda ne moremo trditi, da so ekonomsko boljše tehnologije boljše »na račun« okolja. Dejstvo pa je, da ima vsaka tehnologija svoje zahteve, ki morajo biti za ekološko primerno delo izpolnjene. Če temu namreč ni tako in tehnologijo uporabimo v neprimernih razmerah, bodo vplivi na okolje zagotovo veliki, ekonomičnost pa, uporabi

ekonomsko zelo uspešne tehnologije navkljub, nizka. Veliko pozornosti je torej potrebno posvetiti izbiri tehnologije, ki je primerna za delo na posameznem objektu, saj lahko le tako dosežemo dobre rezultate.

V okviru disertacije smo izvedli več poskusov na šestih različnih objektih. Na treh objektih je bila trda matična podlaga in plitva tla. Matična podlaga na teh objektih sta bila apnenec in dolomit, tla pa so po FAO klasifikaciji spadala v kromični kambisol. Na drugih treh objektih je bila mehka matična kamnina in globoka tla. Na dveh objektih je bila matična podlaga tonalit in blestniki, tla pa so bila distrični kambisol. Na enem objektu smo imeli sedimentno matično podlago in distrična psevdoglejena tla. Tla na vseh objektih so bila suha, saj smo delali v poletnem času.

Delo je bilo izvajano z velikimi kolesnimi stroji za sečnjo in zgibnimi polprikoličarji. Uporabljali smo metodo kratkega lesa. Povprečna širina sečne poti po delu stroja za sečnjo je znašala 302,0 cm, po opravljenem delu zgibnega polprikoličarja pa 306,2 cm. Povprečni indeks ugotovljen iz širine sečne poti in širine stroja je znašal 1,02 po delu stroja za sečnjo in 1,10 po spravi lesa z zgibnim polprikoličarjem. Povprečna širina svetlega profila po sečnji je znašala 514,8 cm, po spravi pa 535,8 cm. Povprečni koeficient med svetlim profilom in širino sečne poti je znašal 1,77 po opravljenem delu. Ugotovili smo, da tehnologija strojne sečnje v povprečju potrebuje 18,7 % površine sestoja za sečne poti.

Rezultati ugotavljanja globine kolesnic so zanimivi in kažejo, da so kolesnice po prehodu stroja za sečnjo višje (narinjene), kot pred delom na 64,7 % profilov, po prehodu zgibnega polprikoličarja pa se ta delež še poveča in znaša 73,9 %. Kolesnice so bile globlje (razred od 0 do -5 cm) na 18 % profilov in globlje od te vrednosti na 12 % profilov.

Dokazali smo tudi odvisnost med prisotnostjo vejne preproge in globino kolesnic. Pokazali smo tudi, da strojniki v strojih za sečnjo več ostankov polagajo na kolesnice, kot med kolesnice. Prehodi stroja čez vejno preprogo vplivajo na višino in stanje vejne preproge.

Na vseh objektih smo izvajali redčenje. Temeljica na objektih je bila v razponu med 20,9 in 38,7 m²/ha. Število dreves po redčenju na objektih je bilo med 1951 in 361 dreves/ha. Naklon terena na objektih je bil med 0 in 30 % naklona.

Ugotovili smo, da s tehnologijo strojne sečnje poškodujemo v povprečju 17,4 % dreves v sestoji. Večina poškodb na drevesih se pojavi v sestoji. Ugotovili smo, da se od 17,4 % poškodovanih dreves v sestoji nahaja 58 % dreves, ob sečnih poteh in vlakah pa 42 % dreves. Proučevali smo tudi lokacijo poškodbe posameznih dreves in ugotovili, da se večina poškodb pojavi na deblu. Povprečne poškodovanosti na vseh objektih je 66,2 % poškodb na deblu, 20,4 % na korenovcu. Poškodbe korenin smo opazili le pri smreki in znašajo 16 % vseh poškodb. V bukovih sestojih poškodb korenin nismo ugotovili. Poškodbe krošnje smo ugotovili samo na enem objektu.

Analiza velikosti poškodb dreves na vseh objektih brez upoštevanja drevesne vrste in starosti sestoja pokaže, da je največ majhnih poškodb in da je največjih poškodb najmanj. 31,3 % dreves je imelo poškodbe velike od 10 do 30 cm², 24,8 % pa je imelo poškodbe v razredu 30 do 50 cm². V razredu od 50 do 100 cm² smo ugotovili 23,8 % poškodb, v razredu od 100 do 200 cm² pa 17,6 %. Dreves s poškodbami večjimi od 200 cm² je bilo 16,8 %.

Z modelom BIOPERA smo pokazali, da je uporaba tehnologij pridobivanja biomase gospodarna ter da z njimi lahko proizvajamo sekance tudi v mlajših razvojnih fazah.

Pri tehnologiji 1a smo predvideli uporabo motorne žage in prilagojenega kmetijskega traktorja ter uporabo drevesne metode. Proizvodnja sekancev iz lesne biomase z vsebnostjo vlage 60 % je ekonomsko upravičena v sestojih s povprečnim prsnim premerom nad 18 cm pri smreki in od 24 cm pri bukvi. Tehnologija 1b je enaka kot 1a, le da je spravilno sredstvo gozdarski zgibnik. Pridobivanje gozdnih lesnih sekancev z vsebnostjo vlage 60 % je upravičeno v sestojih z enakim prsnim premerom kot pri tehnologiji 1a, le da je pravilna razdalja krajša.

Pri tehnologiji 2a smo predvideli uporabo tehnologije strojne sečnje. Proizvodnja sekancev iz lesne biomase z vsebnostjo vlage 60 % je ekonomsko upravičena v sestojih s povprečnim prsnim premerom od 21 cm pri smreki in od 27 cm pri bukvi. Tehnologija 2b je enaka, kot 2a, le da je spravilno sredstvo sedlasti traktor, delo pa se izvaja z uporabo drevesne metode. Pridobivanje gozdnih lesnih sekancev z vsebnostjo vlage 60 % je upravičeno v sestojih z enakim prsnim premerom kot pri tehnologiji 2a, le da je pravilna razdalja krajša.

Pri tehnologiji 3a smo predvideli uporabo sečnje z motorno žago in žičnega žerjava. Proizvodnja sekancev iz lesne biomase z vsebnostjo vlage 60 % je ekonomsko upravičena v sestojih s povprečnim prsnim premerom od 18 cm pri smreki in od 21 cm pri bukvi. Pri tehnologiji 3b je spravilno sredstvo žičnica, drevesa pa sekamo s strojem za sečnjo. Uporabljamo drevesno metodo. Pridobivanje gozdnih lesnih sekancev z vsebnostjo vlage 60 % je upravičeno v sestojih z enakim prsnim premerom, kot pri tehnologiji 3a, le da je pravilna razdalja krajša.

Če surovino za izdelavo lesnih sekancev pred sekanjem sušimo do vsebnosti vlage 30 %, povečamo ceno proizvoda. Zaradi tega se gospodarnost dela zelo izboljša. Pri tehnologijah 1a, 1b, 3a in 3b se nam stroški pridobivanja povrnejo že pri prsnem premeru sestoja 14 cm (tako v smrekovih, kot v bukovih sestojih). Tehnologiji 2a in 2b sta nekoliko dražji, zato se nam stroški povrnejo šele pri delu v sestojih s prsnim premerom 18 cm pri smreki in 27 cm pri bukvi.

Primerjava stroškov med tehnologijami kaže, da ima tehnologija 1 najnižje stroške. Sledi ji tehnologija 3, najdražja pa je tehnologija 2. Pri tehnologiji pridobivanja biomase je cena

končnega proizvoda nizka, zato se nam iz stroškovnega vidika najbolj izplača uporabljati tehnologije z najnižjimi stroški. Čeprav je tehnologija 2 najdražja, pa je ne smemo izločiti iz uporabe, saj je najbolj učinkovita, pomembni pa so tudi vidiki ergonomije in varnosti pri delu.

Prevoz sekancev do uporabnika je končna faza tehnološke verige. S tehnologijo 1 lahko sekance iz sestojev s prsnim premerom 21 cm pri smreki in 24 cm pri bukvi z vsebnostjo vlage 60 % ekonomsko upravičeno vozimo na razdalji do 40 km. Če so sekanci suhi ($w = 30\%$), pa lahko pridobivamo les iz sestojev premera 10 cm.

Tehnologija 2 ne omogoča prevoza sekancev z večjo vsebnostjo vlage niti na razdaljah do 40 km. Če pa sekance sušimo ($w = 30\%$), jih lahko vozimo na razdalji do 40 km pri prsnem premeru smrekovega in bukovega sestoja vsaj 14 cm.

S tehnologijo 3 lahko prevažamo mokre sekance ($w = 60\%$) na razdalji 40 km, če ima sesto prsni premer vsaj 21 cm. Če je vsebnost vlage manjša ($w = 30\%$), lahko na enaki razdalji prevažamo sekance iz sestojev premera 10 cm pri pravilnih razdaljah krajših od 500 m.

Manj učinkovite tehnologije pridobivanja biomase, ki imajo tudi nižje stroške nam omogočajo prevoz na večjih razdaljah. Stroški so odvisni tudi od vrste uporabljenega tovornjaka (tovornjak s prikolico, polpriklopnik, tovornjak s kontejnerjem). Prevoz sekancev je zelo draga in relativno neučinkovita faza tehnoloških verig pridobivanja biomase.

7 SUMMARY

We have been conducting the research on six different case study objects. Three objects have a hard bedrock and shallow soils. The bedrock on these objects is limestone and soils Cromical Cambisol, following FAO classification. On all other objects the bedrock is soft, and soils are deep. The bedrock on two objects is schist and tonalite, and soil is of Distric Cambisol type. On one object there is a sediment bedrock and distric pseudoglei soil. The soil was dry on all objects, and soil moisture did not exceed an average of 22,4 % water content on all case studies respectively.

Large, wheeled harvester and forwarder were used to cut and extract timber using a standard cut-to-length method. The average skid trail width after harvester passes was 302,0 cm and after forwarder 306,2 cm. The average index of the measured trail width and the machine width was found to be 1,02 after harvester and 1,10 after forwarder. The average workspace width after harvester passes was 514,8 cm and after forwarder 535,8 cm. The average coefficient between trail and workspace width on all case study objects was found to be 1,77 after work. After work we have observed 18,7 % of forest soil on the case study area to be used as skid trails.

The results of rut depth measurements are interesting. They show the level of ruts was found to be higher after machine passes on 60 % of profiles observed. The levels of higher ruts have risen after forwarder passes and amounted to an average of 70 %. The ruts were deeper (from 0 to -5 cm) in 18 % of the profiles and deeper than that on 12 % of the profiles.

We have also proved the existence of correlation between brush mats and depth/height of ruts. It has also been shown that harvester operators place more slash onto the rut than between ruts. The machine passes lower the height and worsen the quality of brush mats.

On all objects thinnings were conducted. The basal area of stands varied between 20,9 and 38,7 m²/ha, and number of trees after work was between 1951 and 361 trees per hectare. The slope of terrain varied between 0 and 30 %.

We have determined that on average we damage 17,4 % of standing trees using cut-to-length technology. Most damages to the stand occur in the stand where we have found on average 58,2 % of damaged trees, while by the skid trail only 42 % of the trees were damaged. A detailed survey of damage location on individual trees shows that most damages occur on tree trunks. We have observed 66,2 % damages on tree trunks and only 20,4 % on root collars. Damages to roots were observed in spruce stands and amounted to 16 % of damages, while in beech stands no root damages were observed. Crown damages have only been observed on one site.

The average size of damage on all researched objects, without regard to tree species and age was found to be 31,3 % of trees in damage category from 10 to 30 cm², 24,8 % in category from 30 to 50 cm², 23,8 % in category from 50 to 100 cm² and 17,6 % in the category from 100 to 200 cm². In class above 200 cm² we have found 16,8 % of damages.

Using BIOPERA model we have shown that it is feasible to use biomass harvesting technologies.

In technology 1a we have predicted the use of chain saw and adapted farm tractor, using tree method. Forest harvesting producing chips with water content of 60 % is feasible in stands from 18 DBH, and 24 DBH with spruce and beech forest respectively. In technology 1b we have predicted the use of chain saw and a purpose built skidder with winch. Forest harvesting producing chips with water content of 60 % is feasible in stands of same DBH as in spruce. The only difference is in shorter skidding distance.

In technology 2a we have predicted the use of normal cut to length method. Forest harvesting producing chips with water content of 60 % is feasible in stands from 21 DBH, and 27 DBH with spruce and beech forest respectively. In technology 2b we have predicted the use of harvester and clambunk skidder, using stem method. Forest harvesting producing chips with water content of 60 % is feasible in stands of same DBH as in spruce the only difference being shorter skidding distance.

In technology 3a we have predicted the use of a cable crane and chainsaw felling. Forest harvesting producing chips with water content of 60 % is feasible in stands from 18 DBH, and 21 DBH with spruce and beech forest respectively. In technology 1b we have predicted the use of a harvester and cable crane using tree method. Forest harvesting producing chips with water content of 60 % is feasible in stands of same DBH as in spruce. The difference was shorter skidding distance.

If we dry the material before chipping and produce chips with the moisture content of 30 %, thereby effectively heightening the chip value, there are large differences in feasibility of forest harvesting. For technologies 1a and 1b and 3a and 3b it is feasible to start working in spruce forests with DBH 14 cm, and in beech forests of DBH 14 cm. With technologies 2a and 2b we can start work at DBH 18 cm in spruce and 27 cm in beech.

The comparison of costs between technologies 1, 2 and 3 shows technology 1 has the lowest cost followed by technology 3. Technology 2 is the most expensive. For biomass technologies, where the price of the end product is low, technology 1 is (from the costing point of view) the cheapest. It is closely followed by technology 3. Although technology 2 is the most expensive, we must not exclude it from biomass operations because of its high effectiveness, safety at work and ergonomical aspects.

The transport of chips following forest harvesting is a very important part of the technological chain. With technology 1 it is feasible to transport chips with the moisture content of 60 % harvested from forest with DBH 21 cm (spruce) and 24 cm (beech) on the distance of 40 km. If the chips are dry (moisture content 30 %), it is possible to harvest spruce and beech forests of DBH 10 cm.

Technology 2 does not enable us to transport chips with the moisture content of 60 % even on distances as short as 40 km. It is possible however to transport chips with lower moisture content (30 %) on distances of 40 km, if stands of spruce and beech have DBH of at least 14 cm.

With technology 3 we can transport chips with the moisture content of 60 %, if the stand DBH is at least 21 cm. If the moisture content is lowered to 30 %, it is feasible to harvest beech and spruce forests of DBH 10 cm at skidding distances lower than 500 m.

Technologies, that are less productive and cheaper, enable to transport chips onto longer distances. The costs of transport are also dependent on the type of the truck used. Overall, the transport of chips is a very expensive and inefficient phase of all operations.

ZAHVALA

Zahvalil bi se rad svoji družini, Tini, Klari in Andražu za vso podporo, čas in razumevanje. Tina, hvala tudi za vse lekture tekstov, strokovne pogovore, reševanje statističnih zagat ter skrb za družino med mojimi številnimi odsotnostmi.

Svojim staršem dolgujem zahvalo za dobro osnovo in usmerjanje. Hvala, da sta verjela vame.

Mentorju Boštjanu Koširju se zahvaljujem za resnično mentorstvo, ki presega okvire tega dela in službenih dolžnosti.

Recenzenotma prof. dr. Janezu Krču in prof. dr. Marjanu Šušnjaru se zahvaljujem za pripombe in nasvete pri izdelavi disertacije.

Prof. dr. Marjanu Lipoglavšku, prof. dr. Primožu Simončiču in dr. Nike Krajnc se zahvaljujem za kritičen pregled disertacije, nasvete ter komentarje, ki sem jih s pridom upošteval pri svojem raziskovalnem delu.

Opravljen terenski del ne bi bilo možno brez dobrega sodelovanja z gospodarskimi družbami. Zahvaljujem se podjetjem Gozd Ljubljana d. d., Gozdarstvo Grča d. d., Gozdarstvo Gorenjske d. o. o., GLG Murska Sobota d. o. o., Gozdno gospodarstvo Maribor d. d., Gozdno gospodarstvo Novo Mesto d. d., Gozdno gospodarstvo Postojna d. d., Gozdno gospodarstvo Slovenj Gradec d. d., TE-TOL d. d. in GajLes d. o. o.

Zahvaljujem se tudi sodelavcem na katedri za gozdno tehniko in ekonomiko, za vse nasvete in pomoč pri reševanju ovir na katere sem naletel pri izdelavi disertacije.

Poskusi opisani v doktorski disertaciji so bili izvedeni v okviru ciljnih raziskovalnih programov V4-0520 in V4-1126. Vodjem projektov se zahvaljujem za materialno podporo mojim raziskovalnim prizadevanjem.

8 VIRI

- Abbas D., Current D., Ryans M., Taff S., Hoganson H., Brooks K. N. 2011. Harvesting forest biomass for energy – An alternative to conventional fuel treatments: Trials in the Superior National Forest, USA. *Biomass and Bioenergy*, 35, 4557-4564
- Abdallah R., Auchet S., Méausoone P. J. 2011. Experimental study about the effects of disc chipper settings on the distribution of wood chip size. *Biomass and Bioenergy*, 35, 2: 843-852
- Abebe A., Tanaka T., Yamazuki M. 1989. Soil compaction by multiple passes of a rigid wheel relevant for optimization of traffic. *Journal of Terramechanics*, 26, 2: 139-148
- Adebayo A. B., Han H. S., Johnson L. 2007. Productivity and cost of cut-to-length and whole-tree harvesting in a mixed-conifer stand. *Forest Products Journal*, 57, 6: 59-69
- Akay A. E., Yuksel A., Reis M., Tutus A. 2007. The impacts of ground-based logging equipment on forest soil. *Polish Journal of Environmental Studies*, 16, 3: 371-376
- ANOVE. 2010. ANOVE - Akcijski načrt za obnovljive vire energije za obdobje 2010-2020 (AN OVE) Slovenija. Ljubljana, Ministrstvo za infrastrukturo in prostor: 134 str.
- Anttila T. 1998. Metsämaan raiteistumisen ennustaminen WES-menetelmää käyttäen. Helsinki, University of Helsinki, Department of forest resource management, University of Helsinki: 53 str.
- Arıcak B., Gümüş S., Enez K. 2011. Technical specifications and operation facilities of AFM 75 used in Turkey. (Technology and Ergonomics in the Service of Modern Forestry, Krakow, Publishing house of the University of Agriculture in Krakow: 560 str.
- ASAE. 1994. ASAE Standards (ASAE S313.2 DEC94), Soil cone penetrometer. 820-821
- Atterberg A. 1911. Die plastizität der tone. *Internationale Mitteilungen für Bodenkulture*, 34 str.
- Aufsess H. 1984. Some examples of wood discolorations related to mechanisms of potential protection of living trees against fungal attack. *IAWA Bulletin*, 5: 133-138
- Azarnoush M. R., Gholamnia A. R., Feiznejad A. R. 2010. Effects of utilized trees' diameter on the residual stand in the Savadkooh forest in Northern Iran. *African Journal of Agricultural Research*, 13, 5: 1678-1683
- Bailey A. C., Burt E. C. 1981. Performance of Tandem, Dual, and Single Tires. *Transactions of the ASAE - American Society of Agricultural Engineers*, 24, 5: 1103-1107
- Baker S. A., Westbrook M. D., Greene W. D. 2010. Evaluation of integrated harvesting systems in pine stands of the southern United States. *Biomass and Bioenergy*, 34, 5: 720-727
- Beber M. 1998. Časovna primerjava dveh metod ocenjevanja poškodb drevja zaradi pridobivanja lesa: višješolska diplomska naloga. Ljubljana: 32 str.
- Becker G., Schnaible F., Uhlich U. 2012. Compression behavior of forest residues from spruce thinnings. A pre-study for the design of volume-optimized transport solutions for energy wood. V: FORMEC, Forest Engineering: Concern, Knowledge and Accountability in Today's Environment: Dubrovnik (Cavtat), Croatia, 8-12 October 2012. Forestry Faculty of Zagreb University: 1-7

- Becker P., Jensen J., Meinert D. 2006. Conventional and mechanized logging compared for Ozark hardwood forest thinning: productivity, economics, and environmental impact. *Northern journal of applied forestry*, 23, 4: 264-272
- Bekker M. G. 1960. Off-the-road locomotion; research and development in terramechanics. Ann Arbor, University of Michigan Press: 220 str.
- Berge N., Ramström E., Brodén H., Larfeldt J. 2004. Control of Combustion in Grate Fired Boilers. V: 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection: Rome, Italy. ECN Biomass: 1361-1363
- Bettinger P., Kellogg L. D. 1993. Residual stand damage from cut-to-length thinning of 2nd-growth timber in the cascade range of Western Oregon. *Forest Products Journal*, 43, 11-12: 59-64
- Bezovnik Š. 2007. Primerjava dveh sekalnikov za izdelavo lesnih sekancev, diplomsko delo, visokošolski študij: (visokošolski študij). (Biotehniška fakulteta). Ljubljana: 79 str.
- BFW. 2009. 700 Forstmaschinen mit Maschinenbeschreibung und Kostenkalkulation. 4.
- Biernath D. 2008. Energieholztechnik beid en WFW-Forsttagen. *Forstmaschinen- Profi*, 16, 11: 18-21
- Biernath J. 2007. Hier hilft man dem Kunden in die Klemme. *Forstmaschinen- Profi*, 15, 7: 35-36
- Biščak L. 2008. Tehnološke in ekonomske možnosti izrabe sečnih ostankov po strojni sečnji za energetske potrebe = Technological and economical possibilities of utilization wood-cutting residues after mechanized harvesting for energetic purposes: diplomsko delo = graduation thesis (univerzitetni študij = university studies). (Biotehniška fakulteta). Ljubljana: 71 str.
- Bizjak P. 2007. Razvoj motornih verižnih žag in njihove izboljšave: diplomsko delo (visokošolski študij). (Univerza v Ljubljani, Oddelek za gozdarstvo). Ljubljana: 106 str.
- Björheden R. 1998. Differentiated Processing in Motor Manual and Mechanized Logging. *International Journal of Forest Engineering*, 9, 2: 49-59
- Bodenschutz und Holzernte. 2008. Erfurt, Thüringer Ministerium für Landwirtschaft: 27 str.
- Bolding M. C., Kellogg L. D., Davis C. T. 2009. Productivity and costs of an integrated mechanical forest fuel reduction operation in southwest Oregon. *Forest Products Journal*, 59, 3: 35-46
- Brand M. A., Bolzon de Muñiz G. I., Quirino W. F., Brito J. O. 2011. Storage as a tool to improve wood fuel quality. *Biomass and Bioenergy*, 35, 7: 2581-2588
- Brunberg T., Arlinger J. 2001. Vad kostar det att sortera virket i skogen? = What does it cost to sort timber at the stump? SkogsForsk (Forestry Research Institute of Sweden), SkogsForsk: 4 str.
- Bulley B. 1999. Effect of tree size and stand density on harvester and forwarder productivity in commercial thinning. Pointe Clare Quebec, Forest Engineering Research Institute of Canada (FERIC), FERIC: 8 str.
- Burger J. A., Perumpral J. V., Kreh R. E., Torbert J. L., Minaei S. 1985. Impact of tracked and rubber-tired tractors on a forest soil. *Transactions of the ASAE - American Society of Agricultural Engineers*, 28, 2: 369-373

- Bustos O., Egan A., Hedstrom W. 2010. A Comparison of Residual Stand Damage along Yarding Trails in a Group Selection Harvest Using Four Different Yarding Methods. *Northern journal of applied forestry*, 27, 2: 56-61
- Butora A., Schwager G. 1986. Holzerntenschäden in Durchforstungsbeständen. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forestry Research: 51 str.
- Bygdén G., Eliasson L., Wästerlund I. 2004. Rut depth, soil compaction and rolling resistance when using bogie tracks. *Journal of Terramechanics*, 40, 3: 179-190
- Bygden G., Wästerlund I. 2007. Rutting and soil disturbance minimized by planning and using bogie tracks. *Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused*, 46, 5: 5-12
- Cameron J. B., Kumar A., Flynn P. C. 2004. Power From Biomass: The Economics of Gasification vs. Direct Combustion. V: 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection: Rome, Italy. ECN Biomass: 867-870
- Camp A. E. 2002. Damage to Residual Trees from a Commercial Thinning of Small-Diameter Mixed-Conifer Stands in Northeastern Washington. V: Beyond 2001: A Silvicultural Odyssey to Sustaining Terrestrial and Aquatic Ecosystems: Proceedings of the 2001 National Silviculture Workshop, May 6-10, Hood River, Oregon. Pacific Northwest Research Station, USDA Forest Service: 38-46
- CARMEN. 2013. C.A.R.M.E.N.- Preisentwicklung bei Holzhackschnitzeln, Holzpellets, Heizöl und Erdgas.
<http://www.carmen-ev.de> (21. 7. 2013)
- Cavalli R., Zuccoli B. L. 2006. Funzionalità di un harvester in ambiente alpino Italiano. *L'Italia Forestale e Montana*, 3, 181-191
- Cerjak B. 2011. Poškodbe tal po strojni sečnji in spravi lesa v redčenjih: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška Fakulteta). Ljubljana: 86 str.
- Cheyney E. G. 1929. A study of roots in a square yard of jack pine forest. *Journal of Forestry*, 27, 546-549
- Cline M. L., Hoffman B. F., Cyr M., Bragg W. 1991. Stand damage following whole-tree partial cutting in northern forests. *Northern journal of applied forestry*, 8, 2: 72-76
- Communication from the Commission - Energy efficiency: delivering the 20% target. 2008. Brussels, European Commission: 19
- Cuchet E. 2004. Performance of a logging residue bundler in the temperate forests of France. *Biomass and Bioenergy*, 27, 1: 31-39
- Čebul T., Krajnc N., Piškur M. 2012. Cene lesnih goriv v izbranih državah Evrope = Wood Fuel Prices in Selected European Countries. *Gozdarski vestnik*, 70, 7-8: 307-312
- Dehlen R. 1977. Long and short distances between strip roads- how much do they cost. *Skogen*, 10: 437-442
- Delavec J. 2003. Primerjava strojne in klasične tehnologije sečnje in spravila lesa : diplomsko delo - visokošolski strokovni študij = The comparison of the mechanical and classical felling and skidding the wood : graduation thesis - higher professional studies. Ljubljana: 67 str.

- Diaci J., Greccs Z., Roženberger D., Rugani T. 2012. Spodbujanje nege gozdov v razdrobljeni gozdni posesti. V: XXIX. Gozdarski študijski dnevi. Ljubljana. Oddelek za gozdarstvo: 57-60
- Diaci J., Magajna B. 2002. Nekatere predhodne gozdnogojitvene usmeritve pri uvajanju strojne sečnje v Sloveniji. V: Strojna sečnja v Sloveniji – zbornik ob posvetovanju. Krajčič D. (ur.). Ljubljana, Gospodarska zbornica Slovenije- Združenje za gozdarstvo: 33-47.
- Dickerson B. P. 1968. Logging disturbance on erosive sites in north Mississippi. Southern Forest Experiment Station, Forest Service, US Department of Agriculture: 4 str.
- Diehl M., Seidenschner W. 1990. Possibilities of wound closure are high on beech, damaged by bark stripping at the thicket stage. Allgemeine Forstzeitung, 19: 452-454
- Dietz P. 1981. Avoiding and treatment of extraction wounds. Allgemeine Forstzeitung, 36: 263-265
- Dobre A. 1985. Obremenitev Slovenskih gozdov z infrastrukturnimi objekti. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 28, 114-121
- Dobre A. 1986. Naravne danosti za načrtovanje in gradnjo gozdnih cest v Sloveniji. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 28, 81-149
- Dodson E. M. 2006. Production, Cost, and Soil Compaction Estimates for Two Western Juniper Extraction Systems. Western journal of applied forestry, 21, 4: 185-194
- Doležal B. 1984. Štete u šumi izazvane primenom mehanizacije. (Dokumentacija za tehniku i tehnologiju u šumarstvu, 81). Beograd, Jugoslavensko poljoprivredno šumarski center, Služba šumske proizvodnje: 47 str.
- Douda V. 1988a. Beschädigung von Waldbeständen durch Nutzung und Transporttechnik. Lesnietvi, 56-58
- Douda V. 1988b. Poškodovani lesnich poristu težebni a dorpavni technikou. Lesnietvi, 34: 29-50
- Drescher A., Hambleton J. P. 2010. Geotechnics and Terramechanics. V: Proceedings of the UMN 58th Annual Geotechnical Engineering Conference. St. Paul, USA, Department of Civil Engineering, University of Minnesota: 23-31
- Drigo R., Veselič Ž. 2006. Woodfuel integrated supply: demand overview mapping (WISDOM). FAO: 85 str.
- Dwyer J. P., Dey D. C., Walter W. D., Jensen R. G. 2004. Harvest impacts in uneven-aged and even-aged Missouri ozark forests. Northern journal of applied forestry, 21, 4: 187-193
- Dyrness C. T. 1965. The effect of burning on understory vegetation. Portland, Experimental Forest Pacific Northwest Forest & Ranger Experiment Station USDA Forest service.: 13 str.
- Egger C., Öhlinger C., Auinger B., Brandstätter B., Richler N., Dell G. 2010. Biomass heating in Upper Austria; Green energy, green jobs. Land Oberösterreich: 40 str.
- Eisemann M. 2009. Starkholzschatz in Murgtal. Forstmaschinen- Profi, 17, 2: 68-71
- El Atta H. A., Hayes A. J. 1987. Decay in Norway spruce caused by *Stereum sanguinolentum* Alb.&Schw. ex Fr. developing from extraction wounds. Forestry (Oxford), 60: 101-111
- Eliasson L. 1998. Analysis of Single-Grip Harvester Productivity: doctoral dissertation (doctoral studies). (Swedish university of agricultural sciences). Umea: 30 str.

- Eliasson L., Bengtsson J., Cedergren J., Lageson H. 1999. Comparison of Single-Grip Harvester Productivity in Clear- and Shelterwood Cutting. *International Journal of Forest Engineering*, 10, 1: 43-48
- Eliasson L., Wästerlund I. 2007. Effects of slash reinforcement of strip roads on rutting and soil compaction on a moist fine-grained soil. *Forest ecology and management*, 252, 2007: 118–123
- Eriksson H. 1981. Strip Roads and Transport Damages. Results from Inventory of State Forests 1978-1979. Garpenberg, Sweden, Department of operational efficiency, Swedish University of Agricultural Sciences
- Erler J. 2013. Wood Biomass from Residuals – limits and processes. Ljubljana, Dresden, Technische Universität Dresden, Gozdarski inštitut Slovenije: 25 str.
- Evanson T., McConchie M. 1996. Productivity measurements of two Waratah 234 hydraulic tree harvesters in Radiata Pine in New Zealand. *International Journal of Forest Engineering*, 7, 3: 41-52
- Ewing R. H., Lirette J. 1995. Commercial thinning in red pine using a Valmet 544H harvester. Canada, Forest Engineering Research Institute of Canada (FERIC), FERIC: 2 str.
- Fabjan D. 1998. Poškodbe v sestoji pri sečnji in spravilu lesa z večbobskim žičnim žerjavom s stolpom-Syncrofalke: diplomsko delo - univerzitetni studij višješolska diplomska naloga. Ljubljana, [D. Fabjan]: 39 str.
- Facello A., Cavallo E., Spinelli R. 2012. Chipping vs Grinding, Net Energy Requirements. V: FORMEC, Forest Engineering: Concern, Knowledge and Accountability in Today's Environment: Dubrovnik (Cavtat), Croatia, 8-12 October 2012. Forestry Faculty of Zagreb University: 1-7
- Fairweather S. E. 1991. Damage to residual trees after cable logging in northern hardwoods. *Northern journal of applied forestry*, 8, 1: 15-17
- Fajvan M. A., Knipling K. E., Tift B. D. 2002. Damage to Appalachian hardwoods from diameter-limit harvesting and shelterwood establishment cutting. *Northern journal of applied forestry*, 19, 2: 80-87
- FAO, UNESCO. 2003. Digital Soil Map of the World and Derived Soil Properties. Rome, FAO, Information Division, FAO
- Ferenčík M., Stanovský M. 2011. Impact of the cut-to-length technology on beech stand after savage felling (Technology and Ergonomics in the Service of Modern Forestry). Krakow, Publishing house of the University of Agriculture in Krakow: 560 str.
- Filbakk T., Høibø O., Nurmi J. 2011. Modelling natural drying efficiency in covered and uncovered piles of whole broadleaf trees for energy use. *Biomass and Bioenergy*, 35, 1: 454-463
- Fjeld D., Granhus A. 1998. Injuries After Selection Harvesting in Multi-Stored Spruce Stands– The Influence of Operating Systems and Harvest Intensity. *International Journal of Forest Engineering*, 9, 2: 33-40
- Flehsig B., Winkler B., Brezina T. 2006. Richtlinie zur Anwendung im Staatswald des Freistaates Sachsen. Pirna, Staatsbetrieb Sachsenforst, Büro der Geschäftsführung: 47 str.

- Freitag D. R. 1965. A dimensional analysis of the performance of pneumatic tyres on soft soils Vicksburg, Mississippi, US army Waterways experimental station. US army: 668 str.
- Freitag D. R. 1968. Penetration Tests for Soil Measurements. Transactions of the ASAE - American Society of Agricultural Engineers, 11, 6: 750-753
- Fröding A. 1982. Hur ser våra nygallrade bestånd ut? En studie av 101 slumpmässigt valda gallringsbestånd = The condition of newly thinned stands: a study of 101 randomly selected thinnings. Garpenberg, The Swedish university of agricultural sciences, Department of operational efficiency: 47 str.
- Fröding A. 1992a. Bestandsskador vid gallring = Thinning damage to coniferous stands in Sweden. Garpenberg, The Swedish university of agricultural sciences, Department of operational efficiency: 66 str.
- Fröding A. 1992b. Gallringsskador- En studie av 403 bestånd i Sverige 1988 = Thinning damage - a study of 403 stands in Sweden in 1988. Garpenberg, The Swedish university of agricultural sciences, Department of operational efficiency: 46 str.
- Froehlich H. A. 1978. Soil compaction from low ground-pressure, torsion-suspension logging vehicles on three forest soils. Corvallis, Oregon, Oregon State University, Forest Research Laboratory: 19 str.
- Froelich H. A., McNabb D. H. 1984. Minimizing Soil Compaction in Pacific Northwest Forests. V: Sixth North American Forest Soils Conference on Forest Soils and Treatment Impacts: 158-192
- Garstang J., Weekes A., Poulter R., Bartlett D. 2002. Identification and characterization of factors affecting losses in the large-scale, non-ventilated bulk storage of wood chips and development of best storage practices. First Renewables: 116 str.
- Genet A., Nicholas M. 2008. The suitable exploitation of forest logging residues for energy purposes in France. V: IUFRO 4.05.00: Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 61-68
- Georgievsky N. P. 1957. Thinning of forest stands. Moscow-Leningrad, Goslesbumizdat,
- Gerasimov 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: 35-45
- Gerasimov Y., Senkin V., Väätäinen K. 2011. Productivity of single-grip harvesters in clear-cutting operations in the northern European part of Russia. European Journal of Forest Research, 131, 3: 647-654
- Ghaffariyan M. R., Brown M., Acuna M. 2012. Cut-to-length Harvesting System Evaluation in Southern Tasmania, Australia. V: FORMEC, Forest Engineering: Concern, Knowledge and Accountability in Today's Environment: Dubrovnik (Cavtat), Croatia, 8-12 October 2012. Forestry Faculty of Zagreb University: 1-7
- Ghaffariyan M. R., Sobhani H., Mohajer M. R. M. 2005. A study of site damages (soil and seedlings) by traditional logging method. Iranian Journal of Natural Resources, 58, 4: 805-812
- Gigler J. K., van Loon W. K. P., van den Berg J. V., Sonneveld C., Meerdink G. 2000. Natural wind drying of willow stems. Biomass and Bioenergy, 19, 3: 153-163

- Gingras J. F. 1994. A comparison of full-tree versus cut-to-length systems in the Manitoba model forest. Forest Engineering Research Institute of Canada (FERIC), FERIC: 15 str.
- Gingras J. F. 1995. Harvesting small trees and forest residues. Biomass and Bioenergy, 9, 1-5: 153-160
- Gingras J. F. 2004. Early Studies of Multi-Tree Handling in Eastern Canada. International Journal of Forest Engineering, 15, 2: 18-22
- Gingras J. F., Godin A. 1997. Sorting for quality with a cut-to-length system. FERIC: 6 str.
- Godnov A. 2013. "Zapisnik sestanka na temo cen zelenih sekancev v Avstriji, cen prevoza sekancev in standardov za ugotavljanje kakovosti sekancev". Ljubljana, Gajles d. o. o. (osebni vir)
- Gozdnogospodarski načrt gozdnogospodarske enote Goričko obrobje za leto 2003-2012. 2003. Murska Sobota, Zavod za gozdove Slovenije, Območna enota Murska Sobota: 120 str.
- Gozdnogospodarski načrt gozdnogospodarske enote Osankarica za leto 2004-2013. 2005. Maribor, Zavod za gozdove Slovenije, Območna enota Maribor: 123 str.
- Gradišar D., Žvab J. 2013. "Zapisnik sestanka o porabi goriva in prevozu lesa s tovornjaki". Ljubljana, GOZD Ljubljana, (osebni vir)
- Gray D. H., Ohashi H. 1983. Mechanics of fiberreinforcement in sand. Journal of Geotechnical Engineering, 109, 3: 335-359
- Grbec S. 2009. Kompleksna presoja odvzema lesne biomase iz ekosistema v tehnološke namene : diplomsko delo - univerzitetni študij. Ljubljana: 64 str.
- Green Paper on Energy Efficiency, or Doing More With Less- Zelena knjiga o energetske učinkovitosti ali narediti več iz manj. 2005. Urad za uradne publikacije Evropskih skupnost, 50
- Gullberg T., Johansson J. 1996a. Farm tractor as base machine for single grip harvesters - some examples of cost estimate. Uppsatser och Resultat - Institutionen for Skogsteknik, Sveriges Lantbruksuniversitet, 17
- Gullberg T., Johansson J. 1996b. Farm tractor based single grip harvesters. Small Scale Forestry, 9-14
- Guy D. C. 1983. Too many red deer? Forestry and British Timber, 12: 19-21
- Hager H. 2013. Slash Solutions. Canadian Biomass, 45, 3: 2
- Hakkila P. 2004. Developing technology for large scale production of forest chips. Helsinki, TEKES, VVT Processes, TEKES: 102 str.
- Hakkila P. 2005. Fuel from Early Thinnings. International Journal of Forest Engineering, 16, 1: 11-14
- Halaj J., Grék J., Pánek F., Petráš R., Řehák J., Rosmány K. 1987. Rastové tabulky hlavných dřevin ČSSR.
- Hallonborg U., Bucht S., Olaison S. 1999. A new approach to thinning integrated off-ground handling reduces damage and increases productivity. Results - SkogForsk, 4
- Han H. S., Kellogg L. D. 2000a. A comparison of sampling methods for measuring residual stand damage from commercial thinning. Journal of Forest Engineering, 11, 1: 63-71

- Han H. S., Kellogg L. D. 2000b. Damage Characteristics in Young Douglas-fir Stands from Commercial Thinning with Four Timber Harvesting Systems. *Western Journal of Applied Forestry*, 15, 9 str.
- Hannellius S., Lillandt M. 1970. Damaging of Stand in Mechanized Thinnings. Helsinki, Department of Logging and utilization of Forest Products, University of Helsinki: 25 str.
- Hartsough B. 2003. Economics of harvesting to maintain high structural diversity and resulting damage to residual trees. *Western Journal of Applied Forestry*, 18, 2: 133-142
- Hassler C. C., Grushecky S. T., Fajvan M. A. 1999. An Assessment of Stand Damage Following Timber Harvests in West Virginia. *Northern journal of applied forestry*, 16, 4: 191-196
- Hayes J. C., Ligon J. T. 1981. Traction prediction using soil physical properties. *Transactions of the ASAE - American Society of Agricultural Engineers*, 24, 6: 1420-1425
- Heikkilä J., Sirén M., Äijälä O. 2007. Management alternatives of energy wood thinning stands. *Biomass and Bioenergy*, 31, 5: 255-266
- Heitzman E., Grell A. G. 2002. Residual tree damage along forwarder trails from cut-to-length thinning in Maine spruce stands. *Northern journal of applied forestry*, 19, 4: 161-167
- Hildebrand E. E. 1991. The chemical analysis of undisturbed forest soil cores; methods and results. *KfK-PEF*: 209 str.
- Hildebrand E. E., Schack Kirchner H. 1993. Zu: Regeneration befahrener Waldboeden. *AFZ. Allgemeine Forst Zeitschrift fuer Waldwirtschaft und Umweltvorsorge*, 48, 12: 620-621
- Holdrich A., Hartmann H., Decker T., Reisinger K., Sommer W., Schardt M., Wittkopf S., Ohrner G. 2006. Rationelle Scheitholzbereitstellungsverfahren. Straubing, Nemčija, Technologie und Forderzentrum im Kompetenzzentrum fur Nachwachsende Rohstoffe, TFZ: 274 str.
- Holzleitner F., Kanzian C., Höller N. 2013. Monitoring the chipping and transportation of wood fuels with a fleet management system. *Silva Fennica*, 47, 1:
- Holzleitner F., Kanzian C., Stampfer K. 2011. Analyzing time and fuel consumption in road transport of round wood with an onboard fleet manager. *European Journal of Forest Research*, 130, 2: 293-301
- Howard A. F. 1996. Damage to residual trees from cable yarding when partial cutting second-growth stands in coastal British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research- Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, 26, 8: 1392-1396
- Hudson J. B. 1995. Integrated harvesting systems. *Biomass and Bioenergy*, 9, 1-5: 141-151
- Hudson J. B., Mitchell C. P. 1992. Integrated harvesting systems. *Biomass and Bioenergy*, 2, 1-6: 121-130
- Humar M. 2010. Vsebnost klora v lesnih ostankih slovenske pohištvene industrije. *Les*, 62, 2: 55-57
- Huyler N. K., LeDoux C. B. 1999a. Performance of a cut-to-length harvester in a single-tree and group-selection cut. *US Forestry Service*: 1-10 str.
- Huyler N. K., LeDoux C. B. 1999b. Performance of a cut-to-length harvester in a single-tree and group-selection cut. *Randor, US Forestry Service*: 10 str.

- Isomäki A., Kallio T. 1974. Consequences of injury caused by timber harvesting machines on the decay of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). Acta Forestalia Fennica, 36, 1-25
- Ivanek F. 1976. Vrednotenje poškodb pri spravilu lesa v gozdovih na Pohorju. (Strokovna in znanstvena dela, 51). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo: 195 str.
- Ivanek F., Krivec A. 1974. Poškodbe v gozdu pri sečnji in spravilu lesa. Gozdarski vestnik, 32, 10: 387-395
- Iwaoka M., Aruga K., Sakurai R., Cho K. H., Sakai H., Kobayashi H. 2007. Performance of small harvester head in a thinning operation. Journal of Forest Research, 4, 3: 195-200
- Jäghagen K., Lageson H. 1996. Timber quality after thinning from above and below in stands of *Pinus sylvestris*. Scandinavian Journal of Forest Research, 11, 4: 336-342
- Jakobsen B. F., Greacen E. L. 1985. Compaction of sandy forest soils by forwarder operations. Soil & tillage research, 5, 1: 55-70
- Jensen P. D., Mattsson J. E., Kofman P. D., Klausner A. 2004. Tendency of wood fuels from whole trees, logging residues and roundwood to bridge over openings. Biomass and Bioenergy, 26, 2: 107-113
- Jirjis R. 1995. Storage and drying of wood fuel. Biomass and Bioenergy, 9, 1-5: 181-190
- Johansson J. 1994. Farm tractor as base machine: Ford 276 Versatile with a single-grip harvester head and grapple loader and wagon Lantbrukstraktor som basmaskin: Ford 276 Versatile med engreppsskordaraggregat samt griplastare och vagn. Garpenberg, SLU: 39 str.
- Johansson J. 1996. Case studies on farm tractors as base machines for single-grip thinnings harvester heads. Forestry, 69, 3: 229-244
- Johansson J. 1997. Small Tree Harvesting with a Farm Tractor and Crane Attached to the Front. Journal of Forest Engineering, 8, 1: 21-33
- Johansson J., Liss J. E., Gullberg T., Björheden R. 2006. Transport and handling of forest energy bundles—advantages and problems. Biomass and Bioenergy, 30, 4: 334-341
- Jones D., Kunze M. 2004. Guide to Sampling Soil Compaction Using Hand-Held Soil Penetrometers. Center for Environmental Management of Military Lands, Colorado State University: 10 str.
- Jørgensen K., Hansen J. 2004. Renewable Energy Boilers. V: 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Rome, Italy. ECN Biomass: 1788-1791
- Jungmeier G., Schwaiger H., Panoutsou C., Richard K., Hillring B., Flyktman M., Gerard M. M., Krajnc N., Mihailov N., Akgun F. in sod. 2004. Survey Of Existing Chp Plants With Solid Biomass In Europe. V: 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Rome, Italy. ECN Biomass: 1741-1744
- Južnič B. 1984. Poškodbe pri sečnji in spravilu lesa v bukovih gozdovih: diplomsko delo. Ljubljana: 75 str.
- Jylhä P., Laitila J. 2007. Energy Wood and Pulpwood Harvesting from Young Stands Using a Prototype Whole-tree Bundler. Silva Fennica, 41, 4: 763-779
- Kadunc A. 2011. Kakovostna zgradba in proizvodne dobe v smrekovih sestojih. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 30 str.

- Kallio M., Leinonen A. 2005. Production of forest chips in Finland. Jyväskylä, VTT: 103 str.
- Kärhä K. 2006. Whole-tree harvesting in young stands in Finland. *Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused*, 45, 118:
- Kärhä K. 2011. Integrated harvesting of energy wood and pulpwood in first thinnings using the two-pile cutting method. *Biomass and Bioenergy*, 35, 8: 3397-3403
- Kärhä K., Rönkkö E., Gumse S. I. 2004. Productivity and Cutting Costs of Thinning Harvesters. *International Journal of Forest Engineering*, 15, 2: 43-56
- Kärhä K., Vartiamäki T. 2006. Productivity and costs of slash bundling in Nordic conditions. *Biomass and Bioenergy*, 30, 12: 1043-1052
- Kato F. 1969. Stem decay damage to spruce. *Forstarchiv*, 40: 81-92
- Kavčič S., Pogačnik J., Dobre A., Rebula E., Đukić T., Otrin Z. 1989. Merjenje gospodarske zmogljivosti gozdnogospodarskih območij v SR Sloveniji (Strokovna in znanstvena dela, 103). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za gozdarstvo; Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo: 218 str.
- Kavčič S., Vidic D. 2010. Izračun (kalkulacija) dneine delavca sekača v koncesijskih gozdovih v Sloveniji. Ljubljana, GIZ gozdarstva: 56 str.
- Kees G. 2005. Hand-Held Electronic Cone Penetrometers for Measuring Soil Strength. United States Department of Agriculture- Forest Service, USDA Forest Service Technology and Development Program: 16 str.
- Kelley R. S., Bradley D., Stevens D. 1983. Stand damage from whole-tree harvesting in Vermont hardwoods. *Journal of Forestry*, 81, 2: 95-96
- Kellogg L. D., Olsen E. D., Hargrave M. A. 1986. Skyline thinning a western hemlock-Sitka spruce stand: harvesting costs and stand damage. *Research Bulletin (Forest Research Laboratory, Oregon State University, Oregon State University)*: 26 str.
- Kjotski protokol o spremembi podnebja. 2002. Svet evropske unije, 2002/358/ES: 2
- Klančnik A. 2001. Poškodbe drevja zaradi pridobivanja lesa v zasebnih gozdovih revirja Sela pri Kamniku. Ljubljana: 41 str.
- Klemenc A. 2013. "Poraba goriva na stroju za sečnjo in zgibnem polprikoličarju od leta 2009-2013". Kočevje, Grča Kočevje d.d. (osebni vir)
- Klun J., Poje A. 2000. Spravilo lesa z zgibnim traktorjem iwafuji t- 41 in poškodbe sestoja pri sečnji in spravilu = Mechanical stand injuries and skid-trails damage in high Karst region due to wood extraction with IWAFUJI T-41 skidder: diplomsko delo (univerzitetni študij). Ljubljana: 127 str.
- Klun J., Poje A. 2001. Spravilo lesa z zgibnim traktorjem iwafuji t- 41 in poškodbe sestoja pri sečnji in spravilu = Mechanical stand injuries and skid-trails damage in high Karst region due to wood extraction with IWAFUJI T-41 skidder. *Gozdarski vestnik*, 59, 3: 115-127
- Klute A. (ur.). 1986. Methods of soil analysis, Part 1: Physical and mineralogical methods. Madison, Wisconsin, USA, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America: 1173 str.
- Kofman P. D., Spinelli R. 1997. Storage and handling of willow from short rotation coppice. Hoersholm, Denmark, Forskiningscentret for Skovog Landskab: 4 str.

- Košir B. 1987. Še enkrat o izkušnjah iz 9. KWF dni v Ruhpoldingu. *Gozdarski vestnik*, 167-168
- Košir B. 1996a. Biomasa kot element razvoja energetike = Biomass as an Element of Power Supply Development. *Gozdarski vestnik*, 54, 147-153
- Košir B. 1996b. Pridobivanje lesa- študijsko gradivo za univerzitetni študij. Ljubljana, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 250 str.
- Košir B. 1998a. Poškodbe gorskih smrekovih sestojev zaradi pridobivanja lesa. V: *Gorski gozd: XIX. Gozdarski študijski dnevi. Logarska dolina, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 95-107*
- Košir B. 1998b. Presoja koncepta zgodnjih redčenj z vidika porabe energije in poškodb sestojev. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 56, 1: 55-71
- Košir B. 2000. Primerjava rezultatov modela poškodb drevja v sestoji zaradi pridobivanja lesa in rezultatov terenskih opazovanj. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 61, 1: 53-86
- Košir B. 2002. Vpliv strojne sečnje na sestoj in gozdna tla. V: *Strojna sečnja v Sloveniji. Ljubljana: 66-82*
- Košir B. 2004. Priprava dela za strojno sečnjo. *Gozdarski vestnik*, 62, 1: 25-31
- Košir B. 2008a. Damage to young forest due to harvesting in shelterwood systems. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 29, 2: 141-153
- Košir B. 2008b. Modelling stand damages and comparison of two harvesting methods. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 29, 1: 5-14
- Košir B. 2010a. Gozdna tla kot usmerjevalce tehnologij pridobivanja lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 80 str.
- Košir B. 2010b. Gozdna tla, kot usmerjevalec tehnologij pridobivanja lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 80 str.
- Košir B. 2012a. »Predavanja pri predmetu Raba biomase«. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Katedra za gozdno tehniko in ekonomiko: 39 str. (osebni vir)
- Košir B. 2012b. "Širine velikostnih razredov poškodovanosti sestoja". Ljubljana, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 17. 2. 2012, (osebni vir)
- Košir B., Cedilnik A. 1996. Model naraščanja števila poškodb drevja pri redčenjih. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 48: 135-151
- Košir B., Krajnc N., Piškur M. 2009. Uvajanje tehnologij strojne sečnje in izkoriščanja sečnih ostankov. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 177 str.
- Košir B., Krč J. 1994. Razmerja med funkcijami gozdov z vidika omejitev pri opravljanju gozdnih del. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 45, 115-189
- Košir B., Mihelič M. 2011. Primerjava poškodb drevja v pretežno iglastih sestojih po strojni sortimentni metodi s poškodbami drevja po klasičnih oblikah sečnje in spravila lesa= Stand damage in conifer stands after established and fully mechanised methods of cutting and skidding. *Gozdarski vestnik*, 69, 10: 447-458
- Košir B., Robek R. 2000. Značilnosti poškodb drevja in tal pri redčenju sestojev s tehnologijo strojne sečnje na primeru delovišča Žekanc. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 62: 87-115

- Kotar M. 2003. Gozdarski priročnik. Ljubljana, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 414 str.
- Krajnc N. 2003. Lesna biomasa in politika Evropske unije na področju izrabe obnovljivih virov energije. *Gospodarjenje z odpadki*, 46, 12: 19-22
- Krajnc N. 2010. Lesna biomasa in akcijski načrt za obnovljive vire energije. *Energetika*, 4, 24-26
- Krajnc N. 2012. Different aspects of green wood chips production-case study from Slovenia. V: FORMEC 2012: Forest Engineering - Concern, Knowledge and Accountability in Today's Environment, October 8 – 12, 2012, Dubrovnik (Cavtat) – Croatia. 12
- Krajnc N., Čebul T. 2012. Katalog proizvajalcev polen in sekancev v Sloveniji: 2012. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, Založba Silva Slovenica: 59 str.
- Krajnc N., Piškur M. 2006. Tokovi okroglega lesa in lesnih ostankov v Sloveniji. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 80, 31-54
- Krajnc N., Piškur M. 2009a. Lesni sekanci : stanje mehaniziranosti, proizvodnja in raba. *Gozd in obnovljivi viri*, 1: str. 11-14
- Krajnc N., Piškur M. 2009b. Proizvodnja in raba lesa uporabnega v energetske namene v Sloveniji. *Energetika, gospodarstvo in ekologija skupaj, EGES*, 13, 1: 73-75
- Krajnc N., Piškur M., Klun J., Premrl T., Piškur B., Robek R., Mihelič M., Sinjur I. 2009. Lesna goriva : drva in lesni sekanci : proizvodnja, standardi kakovosti in trgovanje. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, Založba Silva Slovenica: 83 str.
- Krajnc N., Simončič P., Robek R. 2002. Vloga gozdov pri izpolnjevanju Kyotskih zahtev v Sloveniji. V: 11. mednarodno posvetovanje komunalna energetika: Maribor, Slovenija. Univerza v Mariboru: 8
- Krajnc R., Pogačnik N. 2000. Samodejno kurjenje z lesnimi sekanci in peleti. *Gozdarski vestnik*, 58, 4: 207-209
- Krč J. 2003. Sestojne in terenske možnosti za strojno sečnjo v Sloveniji. *Gozdarski vestnik*, 61, 1: 30-45
- Krč J. 2006. Vpliv velikosti posesti na strojno sečnjo v zasebnih gozdovih = The influence of fragmented private forest property on mechanized cutting. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 79: 93-102
- Krč J. 2010. Računalniški program "Kalk". Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire (neobjavljeno).
- Kremer J., Matthies D., Wolf B., Ohrner B. 2003. Impact on soil and roots - wheeled versus tracked forest harvesting machines. V: Fortechenvi Brno: Brno, May 2003. Mendel University of Brno: 197-207
- Kremer J., Wolf B., Matthies D., Borchert H. 2007. Bodenschutz beim Forstmaschineneinsatz. Freising, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF): 4
- Kristensen E. F., Kofman P. D., Jensen P. D. 2003. Counter pressure on ventilation of different types of wood chip and chunkwood. *Biomass and Bioenergy*, 25, 4: 399-408
- Krivec A. 1967. Preučevanje mehanizacije transporta lesa. (Strokovna in znanstvena dela, 21). Ljubljana, Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo Slovenije: 203 str.

- Krivec A. 1975. Racionalizacija delovnih procesov v sečnji in izdelavi ter spravilu lesa glede na delovne razmere in poškodbe. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 13, 2: 145-193
- Krojenje in klasiranje smrekovih, jelovih in bukovih hlodov. 1979. 9 str.
- Krpan A. P. B., Petres S., Ivanovic Z. 1993. Neke fizicke stete u sastojini, posljedice i zastita = Forest stand damage, effects and protection. Glasnik za šumske poskuse, 4, 271- 279
- Krpan A. P. B., Poršinsky T. 2002. Proizvodnost harvesterja Timberjack 1070 pri proredi kulture običnoga bora. Šumarski list, 11-12, 126: 551-562
- Kucler P. 2010. Učinki in stroški izdelave lesnih sekancev s sekalnikom Eschlböck biber 70-RM: diplomsko delo - visokošolski strokovni študij. Ljubljana: 52 str.
- KWB ogrevanje na sekance in pelete. 2012. Žalec, Slovenija, KWB, moč in toplota iz biomase d.o.o.
- <http://www.kwb.si/si/> (12. 12. 2012)
- Lageson H. 1997. Effects of thinning type on the harvester productivity and on the residual stand. Journal of Forest Engineering, 8, 2: 7-14
- Laitila J., Väättäinen K. 2012. Truck transportation and chipping productivity of whole trees and delimbed energy wood in Finland. Croatian Journal of Forest Engineering, 33, 2: 199-210
- Lamson N. I., Smith H. C., Miller G. W. 1985. Logging damage using an individual-tree selection practice in Appalachian hardwood stands. Northern journal of applied forestry, 2, 4: 117-120
- Lanford B. L., Stokes B. J. 1996. Comparison of two thinning systems: part 2: productivity and costs. Forest Products Journal, 46, 11-12: 47-53
- Lapajna R. 2000. Poškodbe v sestoji pri sečnji in spravilu lesa z večbobenskim žičnim žerjavom - syncrofalke : višješolsko diplomsko delo. Ljubljana, Lapajna R.: 45 str.
- Lapanja R. 2000. Poškodbe v sestoji pri sečnji in spravilu lesa z večbobenskim žičnim žerjavom - syncrofalke: višješolsko diplomsko delo. Ljubljana: 45 str.
- Lasak O. 1990. Assessment of the Lokomo Makeri 34 T Harvester as to damage caused to the forest environment. Lesnictvi, 36, 11: 911-920
- Lazdāns V., Lazdins A., Zimelis A. 2009. Biokurinama sagatavosanas tehnologija no mezizstrades atliekam kailcirtes izstradasana egļu mezaudzes = Technology of biofuel production from slash in clear-cuts un spruce stands. Mežzinātne, 52, 19: 109-121
- LeDoux C. B., Huyler N. K. 2001. Comparison of Two Cut-to-Length Harvesting Systems Operating in Eastern Hardwoods. Journal of Forest Engineering, 12, 1: 53-59
- Leinonen A. 2004. Harvesting technology of forest residues for fuel in the USA and Finland. 2229). Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus: 146 str.
- Levstek J. 1991. Ukrepi za zmanjšanje negativnih posledic pri gradnji spodnjega ustroja gozdnih cest: diplomatska naloga. . Ljubljana: 67 str.
- Ligné D., Nordfjell T., Karlsson A. 2005. New Techniques For Pre-Commercial Thinning - Time Consumption and Tree Damage Parameters. International Journal of Forest Engineering, 16, 2: 89-99
- Lipeč J. 2013. "Stanje trga in cene sekancev v Sloveniji, zapisnik sestanka z dne 1.7.2013 v podjetju TE-TOL d.o.o.". Ljubljana, TE-TOL (osebni vir)

- Lipoglavšek M. 1976. Vpliv časovnega spreminjanja vlažnosti drobnega bukovega lesa na merjenje po teži: doktorska disertacija. Ljubljana: 262 str.
- Lipoglavšek M. 1980. Gozdni proizvodi. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za gozdarstvo: 211 str.
- Liu K., Ayers P., Howard H., Anderson A. 2010. Influence of soil and vehicle parameters on soil rut formation. *Journal of Terramechanics*, 47, 3: 143-150
- Ljubec M. 1993. Sanacija poškodb gozdnega drevja z zaščitnimi premazi: diplomska naloga. Ljubljana: 88 str.
- Lüscher P., Frutig F., Sciacca S., Spjevak S., Thees O. 2009. Physikalischer Bodenschutz im Wald; Bodenschutz beim Einsatz von Forstmaschinen. CH-8903 Birmensdorf, Bundesamt für Umwelt BAFU: 12 str.
- Maclaurin E. B. 1997. The use of mobility numbers to predict the tractive performance of wheeled and tracked vehicles in soft cohesive soils. V: *Proceedings of the 7th European ISTVS Conference: Ferrara, Italy, 8-10 October 1997*: 391-398
- Mali B., Košir B. 2007. Poškodbe tal po strojni sečnji in spravi lesa z zgibnim polprikoličarjem. *Gozdarski vestnik*, 65, 3: 131-142
- Malovrh Š., Winkler I. 2006. Stroški gozdnega dela = Forest work costs. *Gozdarski vestnik*, 64, 2: 105-114
- Marinček L., Čarni A., Seliškar A., Zupančič M. 2002. Komentar k vegetacijski karti gozdnih združb Slovenije v merilu 1:400.000 = Commentary to the vegetation map of forest communities of Slovenia in a scale of 1:400.000 Ljubljana, ZRC SAZU, Biološki inštitut Jovana Hadžija: 79 str.
- Marion L. 2007. Sezonska aktivnost kambija in njegov odziv na mehanske poškodbe pri mestnem drevju: doktorska disertacija. Ljubljana: 182 str.
- Martinić I. 1992. Interakcije metoda rada, radnih uvjeta i proizvodnosti rada pri sjeci i izradi drva u proredama sastojina = Interactions of work methods, working conditions and work productivity in felling and processing of thinnings. *Glasnik za šumske poskuse*, 28, 133:
- Marušič J. 1998. Študij časa sečnje s strojem za sečnjo Timberjack FMG 1270 v gospodarski enoti Ravnik = Cutting time study of Timberjack harvester FMG 1270 in forest management unit Ravnik diplomsko delo (visokošolski študij). (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo). Ljubljana: 33 str.
- McDonald T. P., Aust W. M. 1995. Soil Physical Property Changes After Skidder Traffic With Varying Tyre Widths. *Journal of Forest Engineering*, 6, 2: 41-51
- 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
- Mellgren P. G. 1980. Terrain Classification for Canadian Forestry. Canadian Pulp and Paper Association: 13 str.
- Mihelič M., Košir B. 2009. Metodologija ugotavljanja poškodb sestoja in tal Ljubljana, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Katedra GTE: (neobjavljeno)

- Mihelič M., Košir B. 2011. Tehnološki vidik pridobivanja lesa v varovalnih gozdovih pod Ljubeljem. Varovalni gozdovi: presoja naravnih nevarnosti, načrtovanje in gospodarjenje: 47-49
- Mihelič M., Krč J. 2009. Analysis of Inclusion of Wood Forwarding into a Skidding Model. Croatian Journal of Forest Engineering, 30, 2: 113-125
- Miles J., Burk J. 1984. Evaluation of relationships between cable logging system parameters and damage to residual mixed conifer stands. Paper, American Society of Agricultural Engineers, 26-1608
- Miller R. E., Hazard J., Howes S. 2001. Precision, accuracy, and efficiency of four tools for measuring soil bulk density or strength. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Forest Service: 16 str.
- Miyata E. 1980. Determining fixed and operating costs of logging equipment. Minnesota, North central forest experiment station, Forest service U.S., USDA: 20 str.
- Modry M., Hubeny D. 2003. Impact of skidder and high-lead system logging on forest soils and advanced regeneration. Journal of Forest Science, 49, 6: 273-280
- Moffat A. J., Jones M. B., Mason B. 2006. Managing Brash on Conifer Clearfell Sites. Edinburgh, Forestry commission: 4 str.
- Motavalli P. P., Anderson S. H., Pengthamkeerati P., Gantzer C. J. 2003. Use of soil cone penetrometers to detect the effects of compaction and organic amendments in claypan soils. Soil & tillage research, 74, 103-114
- Možina I. 1952. Sečna doba in kakovost lesa. Gozdarski vestnik, 10, 1: 9-22
- Mulqueen J., Stafford J. V., Tanner D. W. 1977. Evaluation of penetrometers for measuring soil strength. Journal of Terramechanics, 14, 3: 137-151
- Murgatroyd I., Saunders C. 2005. Protecting the environment during mechanised harvesting operations. Edinburgh, Technical Development Branch, Forestry Commission: 12 str.
- Akcijski načrt za povečanje konkurenčnosti gozdno-lesne verige v Sloveniji do leta 2020. 2012. Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, Ministrstvo za gospodarski razvoj in tehnologijo: 38 str.
- Nadezhdina N., Cermak J. 2000. Changes in sap flow rate in tree trunks and roots after mechanical damage. V: EFI Proceedings: European Forest Institute (EFI). European Forest Institute (EFI): 167-175
- Naghdi R., Lotfalian M., Bagheri I., Jalali A. M. 2009. Damages of Skidder and Animal Logging to Forest Soils and Natural Regeneration. Croatian Journal of Forest Engineering, 30, 2: 141-149
- Nati C., Spinelli R., Fabbri P. 2010. Wood chips size distribution in relation to blade wear and screen use. Biomass and Bioenergy, 34, 5: 583-587
- NEP - Nacionalni energetski program. 2003. Ljubljana, Ministrstvo za okolje, prostor in energijo: 39 str.
- NEP - Dolgoročne energetske bilance RS za obdobje 2010 do 2030. 2011. Ljubljana, Institut "Jožef Stefan": 151 str.

- Nichols M. T., Lemin R. C., Ostrofsky W. D. 1994. The impact of 2 harvesting systems on residual stems in a partially cut stand of Northern hardwoods. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, 24, 2: 350-357
- Nilsson P. O., Hyppel A. 1968. Studies on decay in scars of Norway spruce. *Swenska Skogsvårforen Tidskr*, 66: 675-713
- Nordenkamp B. M., Jörg K., Baaske W., Schmoll J., Herdin G., Hofbauer H. 2004. Extension Of A Biomass District Heating Plant With A Twin-Fire Fixed Bed Gasifier. V: 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Rome, Italy, ECN Biomass: 1679-1683
- Nordfjell T., Björheden R., Thor M., Wästerlund I. 2010. Changes in technical performance, mechanical availability and prices of machines used in forest operations in Sweden from 1985 to 2010. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 25, 4: 382-389
- Novak B. 2013. "Cene prekucnikov za prevoz sekancev in žagovine". Ljutomer, ARKO d.o.o. (osebni vir)
- 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, 1-3: 85-98
- Nurmi J. 1991. Longterm storage of fuelchips in large piles. *Tyotehoseuran Metsätiedote*, 11, 4 str.
- Nurmi J. 1995. The effect of whole-tree storage on the fuelwood properties of short-rotation *Salix* crops. *Biomass and Bioenergy*, 8, 4: 245-249
- Nurmi J. 1999. The storage of logging residue for fuel. *Biomass and Bioenergy*, 17, 1: 41-47
- Nurmi J. 2007. Recovery of logging residues for energy from spruce (*Picea abies*) dominated stands. *Biomass and Bioenergy*, 31, 6: 375-380
- Nurmi J., Hillebrand K. 2007. The characteristics of whole-tree fuel stocks from silvicultural cleanings and thinnings. *Biomass and Bioenergy*, 31, 6: 381-392
- Nurmi J., Lehtimäki J. 2011. Debarking and drying of downy birch (*Betula pubescens*) and Scots pine (*Pinus sylvestris*) fuelwood in conjunction with multi-tree harvesting. *Biomass and Bioenergy*, 35, 8: 3376-3382
- Obernberger I., Thek G., Reiter D. 2008. Economic evaluation of decentralised CHP applications based on biomass combustion and biomass gasification. V: Central european biomass conference Graz, Austria. 19
- Obranovič A. 2013. Obremenitev delavca z dejavniki delovnega okolja pri spravilu lesa z zgibnim traktorjem Ecotrac 120V : magistrski študij - 2. stopnja = Exposure of operator to working environment factors during work with skidder Ecotrac 120V. Ljubljana: 123 str.
- Odkazilni manual objekta Vetrih. 2012. Vetrih, Zavod za gozdove Slovenije: 4 str.
- Odseki- Podatkovna baza in grafični sloj odsekov Slovenije. 2007. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije
- Opeka M. 2008. Struktura časov in učinki pri spravilu lesa z večbobskim žičnim žerjavom Syncrofalka 3 t s procesorsko glavo Woody 60: diplomsko delo = The structure of times and effects in skidding wood with cable crane Syncrofalka 3 t with Woody 60 processor head: diplomsko delo = graduation thesis. Ljubljana: 58 str.

- Ostrofsky W. D., Dirkman J. A. 1991. A Survey Of Logging Damage To Residual Timber Stands Harvested For Wood Biomass In Southern Maine. CFRU: 9 str.
- Owende P. M. O., Lyons J., Ward S. M. (ur.). 2002. Operations Protocol For Eco-Efficient Wood Harvesting On Sensitive Sites. ECOWOOD Partnership: 74 str.
- Paisley M. A., Overend R. P., Welch M. J., Igoe B. M. 2004. Ferco's Silvagas® Biomass Gasification Process Commercialization Opportunities For Power, Fuels, And Chemicals. V: 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Rome, Italy, ECN Biomass: 1675-1679
- Palviainen M., Finér L. 2012. Estimation of nutrient removals in stem-only and whole-tree harvesting of Scots pine, Norway spruce, and birch stands with generalized nutrient equations. *European Journal of Forest Research*, 131, 4: 945-964
- Palviainen M., Finér L., Kurka A. M., Mannerkoski H., Piirainen S., Starr M. 2004. Release of potassium, calcium, iron and aluminium from Norway spruce, Scots pine and silver birch logging residues. *Plant and Soil*, 259, 1-2: 123-136
- Pan F., Han H. S., Johnson L. R., Elliot W. J. 2008. Production and cost of harvesting, processing, and transporting small-diameter (≤ 5 inches) trees for energy. 5). Madison, WI, ETATS-UNIS, Forest Products Society: 7 str.
- Papac B. 1992. Prostorska in časovna predstavitev nastanka poškodb pri sečnji in spravilu lesa s traktorji: diplomska naloga. Ljubljana: 79 str.
- Partington M., Ryans M. 2010. Understanding the nominal ground pressure of forestry equipment. *Advantage - Forest Engineering Research Institute of Canada (FERIC)*, 12, 5: 8 str.
- Patel J., Salo K. 2004. Demonstration Of New Gasification Technology. V: 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Rome, Italy, ECN Biomass: 44-47
- Pavlin P. 2013. "Cene tovarnjakov, nadgrajenij in poraba goriva". MAN.eu. (osebni vir)
- Pedološka karta Slovenije. 2007. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, Sektor za sonaravno kmetijstvo
- Petreš S. 2004. Privlačenje oblovine zglobnim traktorima LKT 81 T i Timberjack 225 A iz dovršne sječine hrasta lužnjaka s osvrtno na oštečivanje mladog naraštaja : magistrski rad. Zagreb: 222 str.
- Pettersson M., Nordfjell T. 2007. Fuel quality changes during seasonal storage of compacted logging residues and young trees. *Biomass and Bioenergy*, 31, 11-12: 782-792
- Pezdevšek Malovrh Š. 2010. Vpliv institucij in oblik povezovanja lasntikov gozdov na gospodarjenje z zasebnimi gozdovi : doktorska disertacija = Influence of institutions and forms of cooperation of private forest owners on private forest management : doctoral dissertation. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta). Ljubljana: 224 str.
- Phillips E. J. 2000. Cut to length partial cutting in the Okanagan. V: From science to management and back: a science forum for southern interior ecosystems of British Columbia: Kamloops. Southern Interior Forest Extension and Research Partnership: 93-95
- Piškur M., Krajnc N. 2007. Pomen gozdov in rabe lesa za bilanco CO₂ v Sloveniji = The importance of forests and wood use for CO₂ balance in Slovenia. V: Podnebne spremembe:

- vpliv na gozd in gozdarstvo. Ljubljana. Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 237-250
- Plamondon J. A. 1995. Productivity and cost of a shortwood system in partial cutting of black spruce. Field Note: Partial Cutting - Forest Engineering Research Institute of Canada, 2
- Plavčak G. 2011. Energetska bilanca Republike Slovenije za leto 2011. Ministrstvo za gospodarstvo, Direktorat za energijo, Sektor za analize in zakonodajo, gospodarstvo: 82 str.
- Pogačnik N., Krajnc R. 2000a. Les kot kurivo. Gozdarski vestnik, 58, 5-6: 281-283
- Pogačnik N., Krajnc R. 2000b. Potenciali lesne biomase, uporabne v energetske namene. Gozdarski vestnik, 58, 7-8: 330-332
- Pogačnik N., Krajnc R. 2000c. Sodobne kurilne naprave in sistemi na lesno biomaso. Gozdarski vestnik, 58, 3: 157-158
- Poje A. 2011. Vplivi delovnega okolja na obremenitev in težavnost dela sekača pri različnih organizacijskih oblikah dela: doktorska disertacija = Influence of working conditons factors on exposure and wood cutters work load by diffrent organizational work forms: doctoral dissertation. Ljubljana, [A. Poje]: 242 str.
- Poršinsky T. 2005a. Djelotvornost i ekološka pogodnost forvardera Timberjack 1710 pri izvoženju oblovine iz nizinskih šuma Hrvatske: doktorska disertacija (doktorski študij). (Sveučilište u Zagrebu). Zagreb: 170 str.
- Poršinsky T. 2005b. Troški kamionskog prijevoza drva. Zagreb: 17 str.
- Poršinsky T., Horvat D. 2005. Indeks kotača kao parametar procjene okolišne prihvatljivosti vozila za privlačenje drva. Croatian Journal of Forest Engineering, 26, 1: 25-38
- Poršinsky T., Sraka M., Stankić I. 2006. Comparison of two approaches to soil strength classifications. Croatian Journal of Forest Engineering, 27, 1: 17-27
- Poršinsky T., Stankić I., Bosner A. 2011. Ecoefficient Timber Forwarding Based on Nominal Ground Pressure Analysis. Croatian Journal of Forest Engineering, 32, 1: 345-356
- Pravilnik o merah in masah vozil v cestnem prometu. 2006. Ur. l. RS, št.138/2006: 5
- Pravilnik o izvajanju sečnje, ravnanju s sečnimi ostanki, spravi in zlaganju gozdnih lesnih sortimentov. 2008. Ur. l. RS, št.95/2004, št.110/2008.: 4
- Pravilnik o gozdnih prometnicah. 2009a. Ur. l. RS, št.4/2009: 8
- Pravilnik o varstvu gozdov. 2009b. Ur. l. RS, št.56/2006, št.114/2009.: 1
- Pravilnik o merjenju in razvrščanju gozdnih lesnih sortimentov. 2011. Ur. l. RS, št.17/2011-ZTZPUS-1, št.79/2011.: 11
- Premrl T., Krajnc N. 2011. Računalniški program- primeri kalkulacij za lesno biomaso. Ljubljana, gozdarski inštitut Slovenije (neobjavljeno)
- Pristop Češke republike, Estonije, Cipra, Latvije, Litve, Madžarske, Malte, Poljske, Slovenije in Slovaške. 2003. Uradni list EU 236, 913
- Prka M. 2010. Bukove šume i bukovina bjelovarskog područja. Bjelovar, Hrvatsko šumarsko društvo: 252 str.
- Procedures for Using and Reporting Data Obtained with the Soil Cone Penetrometer. 1999. (ASAE EP572 FEB 99). 986-989

- Ranta T., Rinne S. 2006. The profitability of transporting uncomminuted raw materials in Finland. *Biomass and Bioenergy*, 30, 3: 231-237
- Rawlings C., Rummer B., Seeley C., Thomas C., Morrison D., Han H., Cheff L., Atkins D., Graham D., Windell K. 2004. A study of how to decrease the costs of collecting, processing and transporting slash. Missoula (MT), Montana Community Development Corporation: 21 str.
- Rebula E. 1985. Gorivo in mazivo pri sečnji in izdelavi gozdnih sortimentov. Ljubljana, VTOZD za gozdarstvo: 45 str.
- Rebula E. 1991. Erozija na vlaki. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 23, 292-306
- Reisinger T. W., Simmons G. L., Pope P. E. 1988. The impact of timber harvesting on soil properties and seedling growth in the South. *Southern Journal of Applied Forestry*, 12, 1: 58-67
- ReNEP - Resolucija o Nacionalnem energetskem programu. 2004. Ur. l. RS, št. 57/2004: 63
- Rieppo K., Örn J. 2003. Metsäkoneiden polttoaineen kulutuksen mittaaminen. *Esitutkimus. Metsäteho Metsäteho*: 15 str.
- Robek R. 1994. Vplivi transporta lesa na tla gozdnega predela planina Vetrh: magistrsko delo = Wood transport impacts on soil in mountainous forest district: master of science thesis. Ljubljana: 132 str.
- Robek R., Košir B. 1996. Razvoj metode vzorčnega ocenjevanja motenj gozdov pri pridobivanju lesa. V: *Izzivi gozdne tehnike: mednarodni posvet*. Ljubljana: 73-81
- Robek R., Medved M. 1997. Poškodbe drevja zaradi gozdarskih del po podatkih popisov propadanja gozdov v Sloveniji = Tree damage due to forest operations in Slovenian forest decline inventories. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 52: 119-136
- Robek R., Medved M., Žgajnar L., Krajnc N., B. B. 1998. Analysis of wood biomass potential in Slovenia. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 40 str.
- Rollerson T. P. 1990. Influence of wide-tire skidder operations on soils. *Journal of Forest Engineering*, 2, 1: 23-30
- Rosc J. 2012. Vpliv načina shranjevanja gozdnih sekancev na njihovo vlažnost: diplomsko delo - visokošolski strokovni študij. Ljubljana: 45 str.
- Roser D., Asikainen A., Raulund-Rasmussen K., Stupak I. 2008. Sustainable use of forest biomass energy : a synthesis with focus on the Baltic and Nordic Region. (Managing Forest Ecosystems, 12). Springer: 259 str.
- Rowland D. 1972. Tracked vehicle ground pressure and its effect on soft ground performance. V: *Proceedings of the 4th international conference of International Society of Terrain Vehicle Systems*. Stockholm, Sweden. 8
- Saarilahti M. 2002a. Soil interaction model: Development of a protocol for ecoefficient wood; rvesting on sensitive sites (ECOWOOD):Quality of Life and Management of Living Resources Contract. Helsinki, University of Helsinki, Department of Forest Resource Management: 87 str.
- Saarilahti M. 2002b. Soil interaction model; Dynamic terrain classification; Modelling of the Seasonal Variation of the Trafficability on Forest Sites. Helsinki, University of Helsinki, Department of Forest Resource Management: 22 str.

- Saari-Lahti M. 2002c. Soil interaction model; Evaluation of the WES-method in assessing the trafficability of terrain and the mobility of forest tractors. Helsinki, University of Helsinki, Department of Forest Resource Management, 28 str.
- Sabo A. 1999. Privlačenje obloga drva z globnim traktorom LKT81 u gorskokotarskim prebornim sastojinama različitog stupnja otvorenosti: magistarski rad. Zagreb: 131 str.
- Sabourin M., Puttock G. D., Richardson J. 1992. Forest management strategies for producing wood for energy from conventional forestry systems. *Biomass and Bioenergy*, 2, 1-6: 105-119
- Sakai H., Nordfjell T., Suadican K., Talbot B., Bøllehuus E. 2008. Soil Compaction on Forest Soils from Different Kinds of Tires and tracks and Possibility of Accurate Estimate. *Croatian journal of forest engineering*, 1: 15-27
- Schäfer J., Hillebrand E. E., Mahler G. 1991. Bodensauerstoffgehalt unter Fahrspuren, Einsatz eines Simulationsmodelles. *Allgemeine Forstzeitung*, 46, 550-554
- Schäfer V. T., Sohns D. 1993. Minderung der Bodenverdichtung durch eine Reisigaufgabe. *Allgemeine Forstzeitung*, 9: 452-455
- Schjonning P., Lamandé M., Tøgersen F. A., Arvidsson J., Keller T. 2006. Distribution of Vertical Stress at the Soil-Tyre Interface: Effects of Tyre inflation Pressure and the Impact on Stress Propagation in the Soil Profile. V: *Soil management for sustainability*. Horn R. in sod. (ur.). (Soil management for sustainability). Catena Verlag: 10.
- Serec T. 1997. Poškodbe v sestoji pri zimski sečnji in spravilu lesa z zgibnim traktorjem GT 70-Woody : višješolska diplomska naloga. Ljubljana: 39 str.
- Sestoji - podatkovna baza in grafični sloj sestojev Slovenije. 2008. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije
- Shrestha S. P. 2005. Animal logging applications in urban forestry. V: *Emerging issues along urban/rural interfaces: linking science and society*. Auburn University. 16 str.
- Simončič P. 2013. Preliminarni rezultati projekta CRP V4-1126: Možnosti in omejitve pridobivanja biomase iz gozdov. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, 2 str.
- Simončič P., Krajnc N., Mihelič M. 2013. Možnosti in omejitve pridobivanja biomase iz gozdov. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije
- Siren M. 1981. Puuston vaurioituminen havennuspuun korjuussa = Stand damage in thinning operations. *Folia Forestalia*, 474, 1: 23-80
- Siren M. 1982. Puuston vaurioituminen harvennuspuun korjuussa kuormainproessorilla = Stand damage in thinning operations with a grapple loader processor Fenniae I. F.: 16 str.
- Siren M., Hannu A. 2003. Productivity and Costs of Thinning Harvesters and Harvester-Forwarders. *Journal of Forest Engineering*, 14, 1: 1-10
- SISTEN14588. 2010. Trdna biogoriva - Terminologija, definicije in opisi = Solid biofuels - Terminology, definitions and descriptions.
- SISTEN14774-1. 2010. Trdna biogoriva - Metode določevanja vlage- Metoda sušenja v peči- 1.del: Celotna vlaga- Referenčna metoda.
- SISTEN14774-2. 2010. Trdna biogoriva - Metode določevanja vlage - Metoda sušenja v peči - 2. del: Celotna vlaga - Poenostavljena metoda = Solid biofuels - Methods for the

determination of moisture content - Oven dry method - Part 2: Total moisture- Simplified method.

SISTEN14775. 2010. Trdna biogoriva - Metode določevanja pepela = Solid biofuels - Method for the determination of ash content.

SISTEN14918. 2010. Trdna biogoriva- Metoda z ugotavljanje kalorične vrednosti = Solid Biofuels - Method for the determination of calorific value.

SISTEN14961-1. 2010. Trdna biogoriva- Specifikacije goriv in razredi- 1. del: Splošne zahteve = Solid biofuels- Fuel specifications and classes - Part 1 : General requirements.

SISTEN15149-1. 2011. Trdna biogoriva- Določevanje porazdelitve velikosti delcev - 1. del: Nihalna zaslonka metoda z uporabo sita z odprtini 1 mm in več= Solid biofuels - Determination of particle size distribution - Part 1: Oscillating screen method using sieve apertures of 1 mm and above. SIST:

SISTEN15149-2. 2011. Trdna biogoriva- Določanje porazdelitve velikosti delcev- 2.del: Vibracijska zaslonka metoda z uporabo sita z odprtini 3,5mm in manj= Solid biofuels - Determination of particle size distribution - Part 2: Vibrating screen method using sieve apertures of 3,15 mm and below.

SISTEN15289. 2011. Trdna biogoriva - Določevanje celotnega žvepla in klora = Solid biofuels - Determination of total content of sulfur and chlorine.

SKZG - Cenik gozdno lesnih sortimentov na kamionski cesti. 2013a. Ljubljana, Sklad kmetijskih zemljišč in gozdov: 5 str.

SKZG - Cenik izgradnje, rekonstrukcije in popravila gozdnih vlak. 2013b. Ljubljana, Sklad kmetijskih zemljišč in gozdov: 1 str.

Soklič I. 2013. "Analiza obstoječega sistema nagrajevanja delavcev v gozdni proizvodnji GG Bled". Bled, Soklič, I. (osebni vir)

Spinelli R., Cuchet E., Roux P. 2007a. A new feller-buncher for harvesting energy wood: Results from a European test programme. Biomass and Bioenergy, 31, 4: 205-210

Spinelli R., Hartsough B. R. 2001. Extracting whole short rotation trees with a skidder and a front-end loader. Biomass and Bioenergy, 21, 6: 425-431

Spinelli R., Hartsough B. R., Owende P. M. O., Ward S. M. 2002. Productivity and Cost of Mechanized Whole-Tree Harvesting of Fast-Growing Eucalypt Stands. International Journal of Forest Engineering, 13, 2: 49-59

Spinelli R., Magagnotti N. 2010. A tool for productivity and cost forecasting of decentralised wood chipping. Forest Policy and Economics, 12, 194-198

Spinelli R., Magagnotti N., Nati C. 2010. Benchmarking the impact of traditional small-scale logging systems used in Mediterranean forestry. Forest ecology and management, 260, 11: 1997-2001

Spinelli R., Nati C., Magagnotti N. 2006. Biomass harvesting from buffer strips in Italy: three options compared. Agroforestry Systems, 68, 2: 113-121

Spinelli R., Nati C., Magagnotti N. 2007b. Recovering logging residue: experiences from the Italian Eastern Alps. Croatian Journal of Forest Engineering, 28, 1: 1-9

Spruk J. 2006. Pridobivanje in sušenje polen: diplomsko delo (visokošolski študij). (Biotehniška fakulteta). Ljubljana: 69 str.

- Staines B. W., Welch D. 1984. Habitat selection and impact of Red (*Cervus elaphus* L.) and roe (*Capreolus capreolus* L.) deer in sitka and spruce plantation. Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, 82, 303-319
- Stampfer K. 1999. Influence of terrain conditions and thinning regimes on productivity of a track-based steep slope harvester. V: International Mountain Logging and 10th Pacific Northwest Skyline Symposium: March 28- April 1, 1999, Corvallis, Oregon. 78-87
- Standish J. T., Commandeur P. R., Smith R. B. 1988. Impacts of forest harvesting on physical properties of soils with reference to increased biomass recovery: a review. Canadian Forestry Service: 24 str.
- Stehman S. V., Davis C. J. 1997. A practical sampling strategy for estimating residual stand damage. Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere, 27, 10: 1635-1644
- Sterle J. 1991. Nekatero ugotovitve o vplivih traktorskih vlak na priraščanje gozdnih sestojev = The influence of tractor skid trails on forest stand increments. Gozdarski vestnik, 49, 4: 193-198
- Strehler A. 1987. Storage and drying of wood chips, technical systems and costs. V: Biomass for Energy and Industry: Orleans, France. 3
- Strehler A. 2000. Technologies of wood combustion. Ecological Engineering, 16, Supplement 1 : 25-40
- Stupak I., Asikainen A., Röser D., Pasanen K. 2008. Review of recommendations for forest energy harvesting and wood ash recycling. Managing Forest Ecosystems, 12, 42
- Suadicani K. 2003. Production of fuel chips in a 50-year old Norway spruce stand. Biomass and Bioenergy, 25, 1: 35-43
- Suadicani K., Nordfjell T. 2003. Operational Aspects of Row and Selective Thinning in the Establishing of a Shelterwood in a 50-Year-Old Norway Spruce Stand. International Journal of Forest Engineering, 14, 1: 25-38
- Sučić Ž. 2013. "Cene lesne biomase in cenovna politika podjetja Šumska Biomasa d.o.o.". Zagreb, Šumska biomasa d. d. (osebni vir)
- Suhartana S. 1997. Penyaradan yang direncanakan untuk minimasi kerusakan tegakan tinggal: kasus di dua perusahaan hutan di Kalimantan timur = Planned skidding for minimizing residual stand damages: a case study at two forest companies in East Kalimantan. Buletin penelitian hasil hutan, 15, 1: 60-67
- Sundberg U., Silversides C. R. 1988. Operational efficiency in forestry: (volume 1: analysis), Dordrecht, Kluwer academic publishers: 219 str.
- SURS, 2012 - Statistični letopis 2012. 2012. Ljubljana, Statistični urad Republike Slovenije. Ljubljana.
- <http://www.stat.si/letopis/> (12. 6. 2013)
- Suzuki Y., Kanzaki K., Kawakami Y. 1993. Damage and growth of a residual stand after a logging operation with a non-clearcutting system. Journal of the Japanese Forestry Society, 75, 6: 528-537
- Škvarč J. 2010. Morfologija sekalnikov za izdelavo gozdnih lesnih sekancev: diplomsko delo (univerzitetni študij - 1. stopnja). Ljubljana: 19 str.

- Šolar S. 1994. Nastanek poškodb v sestoji po miniranju ter sečnji in spravilu lesa: diplomska naloga. Ljubljana, 75 str.
- Štupica U. 2013. Poraba goriva in maziva pri delu z motorno žago: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana: 65 str.
- Šubic I. 1991. Varstvo okolja pri planiranju cest, povzetek referata na cestarskih dnevih V: Cestarski dnevi: Bled, 6-7 November 1991: 4 str.
- Šušnjar M., Horvat D., Šešelj J. 2006. Soil compaction in timber skidding in winter conditions. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 27, 1: 3-15
- Tarifna priloga h Kolektivni pogodbi za gozdarstvo Slovenije. 2010. Ur. l. RS, št.46/2010: 2
- Thörnqvist T. 1985. Drying and storage of forest residues for energy production. *Biomass*, 7, 2: 125-134
- Thorud D. B., Frissell S. S. 1976. Time changes in soil density following compaction under an oak forest. *School of Forestry, University of Minnesota*: 4 str.
- Tiernan D., Zeleke G., Owende P. M. O., Kanali C. L., Lyons J., Ward S. 2003. Effect of Working Conditions on Forwarder Productivity in Cut-to-length Timber Harvesting on Sensitive Forest Sites in Ireland. *Biosystems Engineering*, 87, 2: 167-177
- Tla. 1980-1987. V: Šumarska enciklopedija. 2. izdaja. 1980-1987. Zagreb, Jugoslavenski leksikografski zavod: 3 zv.
- Trafela E. 1986. Vpliv izgradnje gozdnih prometnic na proizvodnjo v gozdu: magistrsko delo. Ljubljana: 87 str.
- Tufts R. A. 1997. Productivity and cost of the Ponsse 15-series, cut-to-length harvesting system in southern pine plantations. *Forest Products Journal*, 47, 10: 39-46
- Tufts R. A., Brinker R. W. 1993a. Productivity of a Scandinavian cut-to-length system while second thinning pine plantations. *Forest products journal.*, 43, 11/12: 24-32
- Tufts R. A., Brinker R. W. 1993b. Valmet's Woodstar series harvesting system: a case study. *Southern Journal of Applied Forestry*, 17, 2: 69-74
- Turk Z. 1965. O uporabnosti nekaterih motornih žag. Ljubljana, IGLG: 25 str.
- Ude J. 1966. Testiranje šumskih motornih pila. *Jugoslovanski poljoprivredni šumski center*: 16 str.
- Uredba o koncesiji za izkoriščanje gozdov v lasti Republike Slovenije. 2010. Ur. l. RS, št. 98/2010: 15247
- Vaatainen K., Ala-Fossi A., Nuutinen Y., Roser D. 2006. The effect of single grip harvester's log bunching on forwarder efficiency. *Baltic Forestry*, 12, 1: 64-69
- Valmet Combi Bioenergy hakee uutta tuottavuutta harvennuksille. 2005. *Metsä trans*, 30, 2: 74-78
- Vanderheyden J. 1981. Chronological variation in soil density and vegetative cover of compacted skidtrails in clearcuts in the Western Oregon Cascades: Master of Science Thesis. (Oregon state university). Corvallis: 142 str.
- Vasiliauskas R. 2001. Damage to trees due to forestry operations and its pathological significance in temperate forests: a literature review. *Forestry (Oxford)*, 74, 4: 319-336
- Vaz C. M. P. 2003. Use of a Combined Penetrometer-TDR Moisture Probe for Soil Compaction Studies. *College on Soil Physics Trieste*: 451-457 str.

- Verrier P. 1978. A look at timber harvesting in New Hampshire. *Northern Logger and Timber Processor*, 26, 11: 10-12
- Vesel A. 2001. Ugotavljanje mehanskih poškodb drevja zaradi pridobivanja lesa v GE Čemšenik-Kolovrat, GE Mokerc in GE Ravnik: diplomsko delo - visokošolski strokovni študij. Ljubljana: 40 str.
- Veselič Ž. 2010. Izbira drevja za posek v mlajših enomernih sestojih (pretežno) ene drevesne vrste neposredno ob sečnji s strojem. V: *Pogledi na rabo sodobnih tehnologij strojne sečnje*. Moravske toplice: 26
- Vidmar J., Šmajdek J., Prosenc P. 2013. »Potreba po rekonstrukcijah vlak in novogradnjah vlak v deloviščih«. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije, (osebni vir)
- Vidrine C. G., DeHoop C., Landford B. L. 1999. Assessment of site and stand disturbance from cut-to-length harvesting. V: *Proceedings of the 10th Biennial Southern Silvicultural Research Conference*: Shreveport, Los Angeles, USA, February 16.–18: 288-292
- Vintar M. 1995. Uporaba vzorčnih metod pri ugotavljanju poškodb sestojev zaradi sečnje in spravila : diplomska naloga. Ljubljana: 57 str.
- Visser R. J. M., Stampfer K. 1998. Cable extraction of harvester-felled thinnings: An Austrian case study. *International Journal of Forest Engineering*, 9, 1: 39-46
- von Wilpert K., Schäffer J. 2006. Ecological effects of soil compaction and initial recovery dynamics: a preliminary study. *European Journal of Forest Research*, 125, 2: 129-138
- Vossbrink J., Horn R. 2004. Modern forestry vehicles and their impact on soil physical properties. *European Journal of Forest Research*, 123, 4: 259-267
- Wang J., LeDoux C. B., Li Y. 2005. Simulating Cut-to-Length Harvesting Operations in Appalachian Hardwoods. *International Journal of Forest Engineering*, 16, 2: 11-25
- Wästerlund I. 1989. Strength components in the forest floor restricting maximum tolerable machine forces. *Journal of Terramechanics*, 26, 2: 177-182
- Wästerlund I. 1992. Extent and causes of site damage due to forestry traffic. *Scandinavian Journal Of Forest Research*, 7, 1: 135-142
- Wästerlund I. 1994. Environmental Aspects Of Machine Traffic. *Journal of Terramechanics*, 31, 5: 265-277
- Watt W. J., Krag R. K. 1988. A comparison of soil disturbance caused by cable and small tractor logging. *Land Management Report - Ministry of Forests, British Columbia*, 44-53
- Welch D., Scott D., Staines B. W. 1997. Bark stripping damage by red deer in a Sitka spruce forest in Western Scotland III. Trends in wound conditon. *Forestry (Oxford)*, 70: 113-120
- White paper for a community strategy and action plan, energy for the future: renewable sources of energy. 1997. European Commision: 57
- Winkler I., Košir B., Krč J., Medved M. 1994. Kalkulacije stroškov gozdarskih del. (Strokovna in znanstvena dela, 113). Ljubljana, Oddelek za gozdarstvo 69 str.
- Wood M. J., Carling P. A., Moffat A. J. 2003. Reduced ground disturbance during mechanized forest harvesting on sensitive forest soils in the UK. *Forestry (Oxford)*, 76, 3: 345-361
- Wronski E. B. 1984. Impact of tractor thinning operations on soils and tree roots in a karri forest, Western Australia. *Australian Forest Research*, 14, 4: 319-332

- Wronski E. B., Humphreys N. 1994. A Method for Evaluating the Cumulative Impact of Ground- Based Logging Systems on Soils. *Journal of Forest Engineering*, 5, 2: 9-20
- You X., Wang L., Meng C. 2009. Effect of chainsaw selective felling operations on damage rate of residual trees based on multiple regression analysis. *Journal of Northeast Forestry University*, 37, 11: 36-37
- Young G. D., Adams B. A., Topp G. C. 2000. A portable data collection system for simultaneous cone penetrometer force and volumetric soil water content measurements. *Canadian Journal of Soil Science*, 80, 1: 23-31
- Zakon o delovnem času in obveznih počitkih mobilnih delavcev ter o zapisovalni opremi v cestnih prevozi. 2007. Ur. l. RS, št.76/2005: 15
- Zaruba C., Snajdr J. 1966. Effect of bark stripping by red deer on timber production. *Lesnicky Casopis*, 12, 81-100
- ZOG - Zakon o gozdovih. 2007. Ur. l. RS, št.63/2013
- Zupan M., Grčman H., Kočevar H. 2010. Navodila za vaje iz pedologije - tekstura tal. Ljubljana, Biotehniška fakulteta.
- Zupančič M. 2008. Časovna študija spravila lesa s traktorjem John Deere 6220: diplomsko delo - univerzitetni študij = The time study of timber skidding with John Deere 6220: graduation thesis (university studies). (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta). Ljubljana: 67 str.
- Zupančič M. 2013. "Poraba goriva". Novo Mesto, Gozdno gospodarstvo Novo Mesto d. d. (osebni vir)
- Žagar Z. 1982. Poškodbe drevja ob vlakah pri spravilu različno dolgega lesa z IMT-558: diplomsko naloga. Ljubljana: 50 str.
- Žgajnar L. 1986. Sekanci; Nova oblika gospodarnejše porabe sečnih in drugih ostankov za kurjavo. Ljubljana, Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo: 17 str.
- Žgajnar L. 1988. Ekologija, energija, varčevanje. Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo, IGLG: 24 str.
- Žgajnar L. 1996. Značilnosti in pomen lesnega kuriva v slovenski energetiki. *Gozdarski vestnik*, 54, 7/8: 336-349
- Žlogar J. 2007. Primernost traktorskih vlak za vožnjo z zgibnim polprikoličarjem: diplomsko delo - visokošolski strokovni študij. Ljubljana: 57 str.
- Žun B. 2002. Poškodbe pri sečnji in spravilu lesa s traktorjem v zasebnih gozdovih GE Sovodenj: diplomsko delo - visokošolski strokovni študij. Ljubljana: 39 str.

PRILOGE

PRILOGA A: Navodila za pripravo delovišč z vidika izbire drevja za posek

Navodila za del objekta, na katerem bomo izvedli OBIČAJNO izbiro drevja za posek

1. Drevesa izberemo in označimo na običajen način; izbrana drevesa na trasah sečnih poti označimo s križcem. Prsni premer določimo s klupo na centimeter natančno.
2. Vsako od treh 18 m širokih pasov oz. ponovitev (9 m levo in desno od označene sečne poti) vpisujemo na posebna manuala – ločeno za traso sečne poti in za ostalo površino.
3. Po končani izbiri drevja za posek izmerimo (na centimeter natančno) tudi vse preostalo drevje – izvedemo polno premerbo, in sicer za vsakega od omenjenih 18 m širokih pasov posebej (9 m levo in desno od označene sečne poti).

Navodila za del objekta, na katerem bomo izvedli SKRITO izbiro drevja za posek

1. Drevesa izberemo za posek in jih pri tem označujemo z oštevilčenimi stanjolinimi lističi. Stanjoline lističe nameščamo na koreničnik. (V primeru, da jih zaradi lažjega pregleda ob izbiri drevja nameščamo na prsno višino, je potrebno ob namestitvi lističev na koreničnike pri vseh drugih nadmerskih drevesih tudi lističe na izbranih drevesih prestaviti na koreničnik.) Izbiro dreves izvajamo in beležimo ločeno za vsakega od 18 m širokih pasov posebej, številke lističev pa naj tečejo neprekinjeno, le zabeležimo si, katere tekoče številke pripadajo določenemu pasu.
2. Izbrana drevesa ne vpisujemo v običajen manual, ampak v poseben obrazec (prikazan na koncu navodil), ker pri vsakem drevesu določimo poleg drevesne vrste in debelinske stopnje tudi njegov status:

1 Izrazit (nedvomen) nosilec – med sosednjimi drevesi ni sporno, da je dano drevo najvitalnejše in najkakovostnejše.

2 Sonosilec – približno enakovredni osebki, med katerimi je odločitev o tem, katero drevo je nosilec, manj zanesljiva.

3 Konkurent – konkurent, ki ovira nosilca ali sonosilca.

4 Podstojno drevo – drevo je nadmersko, vendar zaradi izrazite podstojnosti ne ovira nosilca oz. sonosilca.

Opomba: Sonosilce nujno ovirajo tudi drugi sonosilci, vendar jih zaradi podobnega položaja v skupini označimo kot sonosilce, ne kot konkurente.

Po končani izbiri dreves za posek z oštevilčenimi stanjolinimi lističi označimo na koreničniku tudi preostala nadmerska drevesa. Številke lističev naj se kar nadaljujemo od številke, s katero se je zaključila izbira dreves za posek. Tudi tokrat opisujemo in označujemo drevesa po posameznih pasovih, pri tem pa si zabeležimo, katere številke

pripadajo posameznemu pasu. Tudi za vsa preostala nadmerska drevesa določimo status po opisanih skupinah.

Opomba: Ali izvesti izbiro drevja za posek in označitev vseh preostalih nadmerskih dreves najprej za en pas in nato oboje še za drugi in nato tretji pas, s čimer bi zagotovili, da si številke vseh dreves v posameznem pasu sledijo, ali pa najprej vsa drevesa (po pasovih) izbrati, nato pa (po pasovih) izvesti še označitev preostalega drevja, je prepuščeno presoji izvajalca, pomembno je, da je zabeleženo, katere tekoče številke pripadajo posameznemu pasu.

Določitev delov objektov za običajno in skrito izbiro drevja za posek

Na Pohorju je potrebno za vsak način obravnave določiti po dva soležna pasova v večjem smrekovem sestoj in po en pas v manjšem smrekovem sestoj, v Dobrovniku pa se vsakemu načinu obravnave določi po tri soležne pasove.

Obrazec (prilagojen manual) za SKRITO izbiro drevja za posek:

Objekt: (Pohorje oz. Dobrovnik)

Skupina dreves	Pas	Zap. št. drevesa	Drevesna vrsta	Premjer (cm)	Status	Opomba (npr. o poškodbi drevesa)

Skupina dreves: 1 izbrana drevesa
 2 preostala drevesa

Pas: 1 prvi pas (ponovitev)
 2 drugi pas (ponovitev)
 3 tretji pas (ponovitev)

Ljubljana, 28. 6. 2010

mag. Živan Veselič, Jurij Beguš

Lokacija (referenca):	Sestoj (referenca):	Stroj (faza):	Čas dela:	Čas meritve:	Merilci:
-----------------------	---------------------	---------------	-----------	--------------	----------

[illegible]

279

PRILOGA C: Poškodbe sestoja: nosilec informacije je drevo na ploskvi

Lokacija (referenca): _____ Sestoj (referenca): _____ Zastornost ploskve (%): _____ Površina ploskve (m²): _____

Stroj (faza): _____ Čas dela: _____ Čas meritve: _____ Merilci: _____

Ploskev	Predmet opazovanja	Dimenzija		Položaj v sestoji		Poškodbe			Mladje	
	Drevesna vrsta/mladje	Prsni premer / premer panja	Višina drevesa/mladovja	Drevo / panj / star panj / neposekano odkazano / suho mladovje	Ob vlaki, sestoj, razlesnica, povsod	Kaj: Krošnja / veje/ deblo / koreničnik / korenine	Velikost: 30 / 50 / 100 / 200 / 999	Kdaj: Nova / stara / NS	Površina mladja 0/ 25/ 50/ 75/ 100	Poškodbe mladja 0/ 25/ 50/ 75/ 100
1	sm	23		D	vl	KA	30	N		
1	sm	35		P	se					
1	bu	33		D	vl	VE	50	N		
1	bu	11		D	ra					
1	sm	25		S	ra					
1	sm	35		S	se					
1	bu	31		D	se	DO	999	S		
1	sm	21		D	se	KK	100	NS		
1	sm	21		D	se					
1	ja	17		N	se					
1	sm	18		D	se					
1	sm	11		T	ra					
1	sm	15		D	se					
1	sm	14		D	se	KE	50	NS		
1	mladovje		1	M	po				25	25
1	mladovje		3	M	po				25	0

Drevesna vrsta/mladje: sm, bu, ja itd. oz. ml (mladje); Prsni premer / premer panja (cm); Višina drevesa, če ugotavljamo tarifo oz. mladovja (m); D = drevo, P = svež panj, S = star panj, N = neposekano odkazano drevo, T = suho, puščeno drevo, M = mladovje; vl = drevo ob vlaki (do 4 m pri strojni sečnji, do 8 m ob traktorski vlaki), se = drevo v sestoji (do 8 m pri strojni sečnji, do 20 m pri traktorskem pravilu), drevo ob razlesnici (nad 8 m pri strojni sečnji, nad 30 m pri traktorski vlaki), po = po vsej ocenjevani površini pri mladovju; poškodbe Kaj: Krošnja = v strnjeni krošnji, veje = na posameznih vejah ob deblu, deblo = na deblu, koreničnik = na koreničniku, korenine = na koreninah; Velikost: 10 do 30, do 50, do 100, do 200 in nad 200 cm²; Kdaj: N = nova, S = stara, NS = nova in stara poškodba; Površina mladja: 0 = ni mladja, 25, 50, 75, 100 % površine ploskve; Poškodbe mladja: 0 = ni poškodb, 25, 50, 75, 100 % poškodovanih osebkov.

Lokacija (referenca):	Sestoj (referenca):	Stroj (faza):	Čas dela:	Čas meritve:	Merilci:
------------------------------	----------------------------	----------------------	------------------	---------------------	-----------------

[illegible]

281

Lokacija (referenca): **Sestoj (referenca):** **Stroj (faza):** **Čas dela:** **Čas meritve:** **Merilci:** **Vzorčenje na:** m

Kategorija vlake: G = glavna, P = stranska, S = sečna vlaka; Načrtovanje vlake = N načrtovana vlaka, D nenačrtovana vlaka (merilo za upoštevanje je dolžina stroja v m); G = Grajena (nad 50% dolžine), N = negrajena, D = delno grajena (do 50% dolžine); Smer spravila = G navzgor, D navzdol, R ravno (ocenjujemo lego profila 5m pred in nad njim (če je harvester delal navzgor, bo forwarder spravljal navzdol itd.)); sledijo obvezne točke profila (x je horizontalna razdalja, y je vertikalna razdalja od laserskega vodoravnega žarka na cm natančno). Dodatne profilne točke pri netipičnih (dvojnih) profilih zapišemo v novo vrstico oz. na poseben popisni list. Lastnosti profila ocenjujemo na 1m širokem pasu profila vlake; debelina ostankov, kjer pokrivajo vlako: A = do 10cm, B = do 20cm, do 40cm, C = več kot 40cm (pri rahlo nagradenih ostankih višino zmanjšamo); zablatenost: globino izmerimo s palico in metrom; erozijo ocenimo v % površine pasu.

**PRILOGA F: Snemalni list za
snemanje porabe časa
zgibnega polprikoličarja**

Št. Ciklusa:

Enota časa:

Časi

Strojnik

Objekt	Datum		Merilci							
Začetek snemanja	Konec snemanja									
Smer polne vožnje	G - R - D	Naklon sečne vlake	Skalovitost		Tla (nosilnost, sneg)					
Smer nakladanja lesa	G - R - D	Tip ciklusa	P - Z	Tip sortiranja		G - C				
Prazen Cesta										
Prazna vožnja po cesti (m)										
Prazen Sestoj										
Prazna vožnja po vlaki (m)										
Nakladanje										
Premik po vlaki										
Premik po vlaki (m)										
Poln Sestoj										
Polna vožnja po vlaki (m)										
Poln Cesta										
Polna vožnja po cesti (m)										
Razkladanje										
Razkladanje premik										
Premik po cesti (m)										
Zastoji nad 15 min										
Neprod - stroj										
Neprod - organizac										
Neprod - delavec										
Vzrok zastojev										
Prip.-zaključni čas										
Glavni odmor										
Zastoj zaradi meritev										

Profil vlake posnamemo tako, da začnemo na skladišču; ločeno posnamemo profil po cesti in po sestoji.

Podatki za en cikel

Forwarder		Številka ciklusa				Učinki					
Objekt	Datum	Merilci									
Dr.vrsta											
Premier											
Dolžina											
Sortiment											
Dr.vrsta											
Premier											
Dolžina											
Sortiment											
Dr.vrsta											
Premier											
Dolžina											
Sortiment											
Dr.vrsta											
Premier											
Dolžina											
Sortiment											
Dr.vrsta											
Premier											
Dolžina											
Sortiment											
Opombe (sušica, poškodovano itd.)											

