



GOZDARSKI INŠTITUT SLOVENIJE
SLOVENIAN FORESTRY INSTITUTE

Možnosti in omejitve pridobivanja biomase iz gozdov

Zaključno poročilo projekta (V2-1126)



Primož Simončič, Klemen Eler, Milan Kobal, Matevž Triplat, Iztok Sinjur,
Daniel Žlindra, Matevž Mihelič, Robert Robek, Mitja Piškur, Jaka Klun,
Tine Premrl, Nike Krajnc

Ljubljana, november 2013

GIS K E
666

12014000361

GIS BF - GOZD

COBISS

Kazalo preglednic.....	5
Kazalo slik.....	7
1 Uvod.....	11
1 Ekološki vidiki pridobivanja zelenih sekancev	13
1.1 Proizvodnja zelenih sekancev in problematika iznosa hranil	13
1.1.1 Teoretske osnove problematike iznosa hranil	13
1.1.2 Metodologija izračuna iznosov in bilance hranil.....	20
1.1.3 Omejitve uporabljenega pristopa	23
1.1.4 Uporabljeni podatki	24
1.1.5 Vsebnosti hranil v drevesnih delih ter alometrijska razmerja	25
1.1.6 Drevesna biomasa v SLO in prirasti – vzorčne ploskve 8x8	29
1.1.7 Scenariji sečnje.....	29
1.1.8 Rezultati izračunov.....	29
1.1.9 Rezultati za testne ploskve.....	39
1.1.10 Literatura	43
1.2 Poškodbe tal	45
1.2.1 Lastnosti tal	45
1.2.2 Modeliranje odnosa kolo – tla	49
1.2.3 Modeliranje tal.....	50
1.2.4 Modeliranje kolesa.....	53
1.2.5 Napovedovanje globine kolesnic	57
1.2.6 Vpliv vožnje strojev na tla	59
1.2.7 Prilagoditev časa sečnje	63
1.2.8 Sečni ostanki	64
1.2.9 Podvozje in pnevmatike	66
1.2.10 Rezultati	67
1.2.11 Konusni indeks.....	67
1.2.12 Vlažnost tal	69
1.2.13 Širina sečne poti.....	71
1.2.14 Motena površina na objektih	78
1.2.15 Globina kolesnic glede na os profila.....	79
1.2.16 Vpliv sečnih ostankov na globino kolesnic	85

1.2.17	Količina sečnih ostankov na osi sečne poti	90
1.2.18	Vpliv ostalih dejavnikov na globino kolesnic	92
1.2.19	Razprava	93
2	Tehnološki modeli pri proizvodnji zelenih sekancev	105
2.1	Uvod v tehnološke modele	105
2.2	Opis tehnoloških modelov.....	106
2.3	Osnovna klasifikacija prometnic.....	107
2.4	Opredelitev sečnih metod.....	109
3	Opisi predlaganih tehnoloških modelov	110
3.1	Model 1 – Spravilo z žičnim žerjavom - drevesna metoda.....	110
3.2	Model 2 - Motorna žaga - drevesna metoda.....	111
3.3	Model 3 - Motorna žaga - drevesna metoda do vlake.....	112
3.4	Model 4 - Motorna žaga - sortimentna metoda.....	113
3.5	Model 5- Strojna sečnja	115
3.6	Model 6 – Spravilo po zraku (drevesna metoda).....	122
3.7	Odstotek motene površine	123
3.8	Odločitvena matrika ("Decision-making tool")	127
3.9	Razprava.....	129
3.10	Zaključki	130
3.11	Viri.....	131
3.12	Priloge	133
4	Tehnološki, okoljski in ekonomski vidiki pridobivanja zelenih sekancev.....	135
4.1	Uvod.....	135
4.2	Analiza hranil v tleh, rastlinskem materialu in lesu	136
4.3	Časovne študije.....	138
4.4	Izračun neposrednih stroškov strojev	138
4.4.1	Nanos – smrekova monokultura	140
4.4.2	Vremščica – črni bori	151
4.4.3	Vremščica – Črni Gaber.....	159
4.4.4	Trnovo – mešan gozd.....	167
4.4.5	Primerjava strukture produktivnega časa in neposrednih materialnih stroškov strojev za vse štiri testna področja	175
4.4.6	Literatura in viri	177
4.4.7	Priloge.....	178

5	Gradiva zaključne projektne delavnice.....	180
---	--	-----

Kazalo preglednic

Preglednica 1: Depozicija hranil iz atmosfere v kg/ha/leto za Slovenijo po podatkih EMEP (podatki preračunani iz 50x50km EMEP mreže za Slovenijo; povprečja) (CCE, pers. comm.).	16
Preglednica 2: Nastajanje bazičnih kationov (v ekv/ha*m/leto) ob preperevanju nekaterih skupin mineralov ob različni vsebnosti mineralov v tleh (Sverdrup in Warfvinge, 1988). Nastajanje posameznega bazičnega kationa (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) je odvisno od vsebnosti tega kationa v mineralu oz. kamnini (v karbonatih je mnogo Ca^{2+} in Mg^{2+} , ostalih manj, v silikatnih kamninah je več K^+ , Na^+ in srednje Mg^{2+}).	17
Preglednica 3: Sintezni podatki za povratne dobe za gozdne sestoje vzorčne ploskve 4x4 km mreže. Podatki so prikazani za tri scenarije sečnje (debla, debla in veje ter debla, veje in listi) in 4 intenzitete redčenja so navedene povprečne, maksimalne in minimalne povratne dobe.	33
Preglednica 4: Vsebnosti hranil (v %) v biomasi debel (sortimentov) in zelenih sekancev. Podatki za sekance izmerjeni v laboratoriju, za debla na podlagi podatkovne baze EFI.	40
Preglednica 5: Skupni iznosi dušika s sečnjo, letna depozicija dušika in ocenjena povratna doba za izravnano bilanco med iznosom s sečnjo ter depozicijo za štiri testne ploskve in dve preferenci sečnje.	41
Preglednica 6: Razponi nosilnosti tal (Saarilahti M., 2002a)	51
Preglednica 7: Razdelitev razredov trdnosti tal na projektu EcoWood (Owende P. M. O. in sod., 2002)	56
Preglednica 8: Konusni indeks tal v kPa	69
Preglednica 9: Širine sečnih poti v cm po posameznih fazah pridobivanja lesa in po objektih	72
Preglednica 10: Deleži s profilov s spremembo širine sečne poti po posameznih delovnih fazah	73
Preglednica 11: Koeficienti širine sečne poti glede na širino stroja	74
Preglednica 12: Širine svetlega profila po posameznih fazah pridobivanja lesa in po objektih	75
Preglednica 13: Deleži s profilov s svetlih profilov po posameznih procesih.	76
Preglednica 14: Testiranje razlik v širini robov sečnih poti po sečnji in po spravilu z Wilcoxon-ovim testom	77
Preglednica 15: Testiranje razlik v širini svetlega profila po sečnji in po spravilu	77
Preglednica 16: Vpliv konusnega indeksa na širino poti	77
Preglednica 17: Delitev kolesnic na tipe glede na njihovo globino	78
Preglednica 18: Delitev kolesnic na tipe glede na njihovo globino	79
Preglednica 19: Testiranje razlik v globini kolesnic po sečnji in po spravilu z Wilcoxon testom.	82
Preglednica 20: Pregled tehnoloških sistemov, tehnologij in metod (povzeto po Košir, 2010)	109
Preglednica 21: Delitev sečnih strojev (vir: FHP 2010)	115
Preglednica 22: Razdelitev pravilnih zgibnikov (vir: FHP 2010)	115

Preglednica 23: Obseg in jakost dopustnih motenj tal pri strojni sečnji (vir: Košir 2010 po Wästerlund 2002)	125
Preglednica 24: Odstotek dopustne motene površine tal zaradi proizvodnih procesov	126
Preglednica 25: Predpostavke za izračun neposrednih materialnih stroškov strojev	139
Preglednica 26: Opis raziskovalnih ploskev (Nanos – smreka)	140
Preglednica 27: Primerjava produktivnih časov po posameznih operacijah (Nanos – smreka)	144
Preglednica 28: Produktivnost posameznih delovnih operacij (ekivalent okroglega lesa / uro – efektivni čas) (Nanos – smreka)	145
Preglednica 29: Struktura GLS nadzemne dendromase v dveh razredih prsnih premerov (Nanos – smreka)	147
Preglednica 30: Prihodki in stroški pri gospodarjenju z gozdom (vidik lastnika gozda)	148
Preglednica 31: Stroški proizvodnje zelenih sekancih (podatki izvajalca)	148
Preglednica 32: Opis raziskovalnih ploskev (Vremščica – črni bor)	151
Preglednica 33: Primerjava produktivnih časov po posameznih operacijah (Vremščica – črni bor)	153
Preglednica 34: Produktivnost posameznih delovnih operacij (Vremščica – črni bor)	156
Preglednica 35: Struktura gozdnih lesnih sortimentov ($RWE\ m^3_{ss}$), (Vremščica – črni bor)	156
Preglednica 36: Opis raziskovalnih ploskev (Vremščica – črni gaber)	160
Preglednica 37: Primerjava produktivnih časov po posameznih operacijah (Vremščica – črni gaber)	163
Preglednica 38: Produktivnost posameznih delovnih operacij (v EOKL/h) (Vremščica – črni gaber)	165
Preglednica 39: Opis raziskovalnih ploskev (Trnovo – mešan gozd)	168
Preglednica 40: Primerjava produktivnih časov po posameznih operacijah (Trnovo – mešan gozd)	170
Preglednica 41: Produktivnost posameznih delovnih operacij (v EOKL/h) (Trnovo – mešan gozd)	171
Preglednica 42: Razlike v količinah izdelanih zelenih sekancev – poskus bukev, jelka in smreka (Trnovo – mešan gozd)	172
Preglednica 43: Razlike v kazalcih proizvodnje – poskus bukev, jelka in smreka (Trnovo – mešan gozd)	172

Kazalo slik

Slika 1: Bilanco hranil v gozdnem ekosistemu predstavljajo različni vnosi in iznosi hranil, posredno pa tudi različni ekološki in antropogeni dejavniki.	13
Slika 2: Naravni viri in naravne izgube štirih osnovnih rastlinskih hranil (dušika, fosforja, žvepla in kalija) v gozdnem ekosistemu (Chapin et al., 2011).	15
Slika 3: Posredne izgube hranil zaradi izpiranja ob poseku gozda (ugotovljeno za vodozbirno območje) (Bormann in Likens, 1979).	20
Slika 4: Grafična predstavitev izračuna povratnih dob za štiri scenarije sečnje za primer bukovega sestoja z 400 kg N / ha v deblih, 230 kg N / ha v vejah ter 150 kg N / ha v listih, če izvajamo 50% redčenje.	23
Slika 5: Odvisnost med vsebnostjo N v mahovih in vsebnostjo NH_4^+-N + NO_3^--N v padavinah.	25
Slika 6: Ocene depozicije dušika za Slovenijo, izračunane na podlagi podatkov o koncentracijah dušika v mahovih z 8 x 16 km vzorčevalne mreže.	25
Slika 7: Vsebnost hranil v posameznih delih dreves nekaterih naših vrst na podlagi podatkov EFI podatkovne zbirke. Največje vsebnosti hranil so v metabolno najaktivnejših organih: listih in drobnih koreninah.	27
Slika 8: Alometrijska razmerja med deblom in ostalimi drevesnimi deli po starosti najpomembnejših drevesnih vrst v Sloveniji.	28
Slika 9: Povprečne alometrijske zveze za najpogostejše drevesne vrste v Sloveniji, uporabljene v tej nalogi pri izračunu vsebnosti hranil v celotnem gozdnem sestoju.	28
Slika 10: Odvisnost letnega prirastka in povratne dobe	30
Slika 11: Učinek intenzitete redčenja na krivulje letnih iznosov dušika in na povratne dobe za tri scenarije sečnje in pet intenzitet redčenja za ploskev št. 243 4x4 km mreže z lesno zalogo 915 m ³ /ha.	31
Slika 12: Učinek intenzitete redčenja na krivulje letnih iznosov dušika in na povratne dobe za tri scenarije sečnje in pet intenzitet redčenja za ploskev št. 744 4x4 km mreže z lesno zalogo 73 m ³ /ha.	32
Slika 13: Histogram povratnih dob za gozdove Slovenije, ugotovljeno na vzorcu godnih sestojev na 4x4 km mreži za tri scenarije sečnje.	33
Slika 14: Povezava med povratnimi dobami in relativnim volumenskim prirastkom sestoja po osnovnih tipih gozda. Večji relativni prirastek imajo mladi sestoji. Povratne dobe upadajo s starostjo sestoja. Črtkane črte pomenijo razrede relativnih prirastkov, rdeče točke pa 3. kvartil povratnih dob vsakega razreda prirastka, kar odstrani vpliv prereditvenih sestojev (gre proti ciljni lesni zalogi).	39
Slika 15: Suha snov sekancev in sortimentov, odnesena iz štirih testnih lokacij pri dveh preferencah sečnje.	40
Slika 16: Iznos posameznih hranil s sekanci in sortimenti pri dveh preferencah sečnje na štirih lokacijah.	41
Slika 17: Krivulje letnih iznosov za testne ploskve pri obeh preferencah sečnje.	42
Slika 18: Oblike kontaktne površine glede na različno trdnost tal (Košir B., 2010b)..	54
Slika 19: Povečanje tlaka stroja na tla zaradi spremembe naklona terena (Košir B., 2010a)	55

Slika 20: Prikaz tipov kolesnic (Košir B., 2010a).....	60
Slika 21: Praktični test vlažnosti tal- metanje kepe tal ob čvrsto podlago (Kremer J. in sod., 2007).....	61
Slika 22: Prikaz »W« efekta (Murgatroyd I. in Saunders C., 2005)	65
Slika 23: Povprečne vrednosti CI po objektih	68
Slika 24: Trendi upadanja konusnega indeksa z globino tal.....	68
Slika 25: Vrednosti CI glede na vlažnost tal po posameznih objektih.....	70
Slika 26: Vrednosti ugotovljenega konusnega indeksa glede na vlažnost tal	71
Slika 27: Primerjava globin kolesnic po objektih po sečnji.....	80
Slika 28: Primerjava globin kolesnic po objektih po spravilu	80
Slika 29: Povprečna narasla in stisnjena kolesnica na objektu glede na fazo delovne operacije	81
Slika 30: Deleži stisnjenih in narinjenih kolesnic po posameznih profilih.....	82
Slika 31: Povprečni konusni indeks na posameznem tipu kolesnice za vse objekte ..	84
Slika 32: Porazdelitev globine kolesnic po tipih glede na debelino sečnih ostankov (skupaj)	85
Slika 33: Porazdelitev globine kolesnic po tipih glede na debelino sečnih ostankov na objektu Mozelski Šahen	86
Slika 34: Porazdelitev globine kolesnic po tipih glede na debelino sečnih ostankov na objektu Bukovje.....	86
Slika 35: Porazdelitev globine kolesnic po tipih glede na debelino sečnih ostankov na objektu Osankarica	87
Slika 36: Porazdelitev globine kolesnic po tipih glede na debelino sečnih ostankov na objektu Trije križi	87
Slika 37: Porazdelitev globine kolesnic po tipih glede na debelino sečnih ostankov na objektu Vetrih	88
Slika 38: Porazdelitev globine kolesnic po tipih glede na pokritost s sečnimi ostanki (skupaj)	89
Slika 39: Debelina odeje sečnih ostankov na osi sečne poti, po delovnih operacijah (skupaj)	91
Slika 40: Delež pokritosti s sečnimi ostanki na osi sečne poti, po delovnih operacijah (skupaj)	92
Slika 41: Povprečni konusni indeks na posameznem tipu kolesnice za vse objekte ..	97
Slika 42: Primer gozdarskih členov 'gozdno-lesne verige' (vir: 2012: http://www.forestenergy.org/pages/images/)	105
Slika 43: Osnovna matrika za pripravo tehnoloških modelov	107
Slika 44: Shema modela 1 – spravilo z žičnim žerjavom (drevesna metoda).....	110
Slika 45: Shema modela 2 – motorna žaga (drevesna metoda)	111
Slika 46: Shema modela 3/različica 1 – drevesna metoda do vlake, nato debelna....	112
Slika 47: Shema modela 3/različica 2 – drevesna metoda do vlake, nato sortimentna	113
Slika 48: Shema modela 4/različica 1 – zbiranje sečnih ostankov z manjšim goseničarjem opremljenim s teleskopsko roko	114
Slika 49: Shema modela 4/različica 2 – usmerjeno podiranje in izvoz sečnih ostankov z zgibnim prikoličarjem	115
Slika 50: Shema modela 5/različica A – strojna sečnja (veliki stroji)	116

Slika 51: Shema modela 5/različica B – strojna sečnja (veliki stroji z nameščenimi verigami)	117
Slika 52: Shema modela 5/različica C – strojna sečnja (srednje veliki stroji)	118
Slika 53: Shema modela 5/različica D – strojna sečnja (majhni stroji)	119
Slika 54: Shema modela 5/različica E – strojna sečnja (najmanjši stroji).....	120
Slika 55: Shema modela 5/različica F – kombinacija strojne in klasične tehnologije	121
Slika 56: Shema modela 5/različica G – strojna sečnja (sekalnik na sečnih poteh)...	122
Slika 57: Shema modela 6 – spravilo po zraku (drevesna metoda)	122
Slika 58: Odločitvena matrika za izbor primerne tehnološkega modela.....	127
Slika 59: Smrekov sestoj po sečnji – Ploskev 1 (Nanos – smreka)	141
Slika 60: Tehnološki model (Nanos – smreka)	142
Slika 61: Izvoz okroglega lesa s traktorjem in gozdarsko prikolico	143
Slika 62: Zbiranje in izvoz sečnih ostankov z zgibnim prikoličarjem	143
Slika 63: Primerjava produktivnih časov po posameznih delovnih operacijah na raziskovalnih ploskvah (Nanos – smreka)	144
Slika 64: Struktura gozdnih lesnih sortimentov za drevesa s prsnim premerom 10-19 cm (Nanos – smreka)	146
Slika 65: Struktura stroškov za posamezne operacije na testnih ploskvah (v €/EOKL) (Nanos – smreka).....	149
Slika 66: Izdelava sekancev ob gozdni cesti.....	150
Slika 67: Raziskovalne ploskve po sečnji (Vremščica – črni bor)	152
Slika 68: Tehnološki model (Vremščica – črni bor)	153
Slika 69: Mletje sekancev ob gozdni prometnici (Vremščica – črni bor)	154
Slika 70: Primerjava produktivnih časov po posameznih delovnih operacijah na raziskovalnih ploskvah (Vremščica – črni bor)	155
Slika 71: Struktura stroškov za posamezne operacije na testnih ploskvah (v €/EOKL) (Vremščica – črni bor)	157
Slika 72: Razprava različnih deležnikov o izvedbi del na ploskvi (Vremščica – Črni bor)	158
Slika 73: Izdelava sekancev iz sečnih ostankov.....	158
Slika 74: Stanje na ploskvi 1 po poseku.....	160
Slika 75: Tehnološki model v primeru proizvodnje sekancev (Ploskev 1: Vremščica – črni gaber) – črni gaber.....	162
Slika 76: Tehnološki model v primeru proizvodnje sortimentov (Ploskev 2: Vremščica – črni gaber)	162
Slika 77: Primerjava produktivnih časov po posameznih delovnih operacijah na raziskovalnih ploskvah (Vremščica – Črni gaber)	164
Slika 78: Struktura stroškov za posamezne operacije na testnih ploskvah (v €/EOKL) (Vremščica – črni gaber)	166
Slika 79: Odvoz okroglega lesa iz ploskve 2.....	166
Slika 80: Stanje na ploskvah po poseku in izvozu okroglega lesa in sečnih ostankov (Trnovem).....	167
Slika 81: Tehnološki model (Trnovo – mešan gozd).....	169
Slika 82: Primerjava produktivnih časov po posameznih delovnih operacijah na raziskovalnih ploskvah (Trnovo – mešan gozd)	171
Slika 83: Struktura stroškov za posamezne operacije na testnih ploskvah (v €/EOKL) (Trnovo – mešan gozd)	173

Slika 84: Izdelava sekancev iz sečnih ostankov na Trnovem	174
Slika 85: Izvoz okroglega lesa z zgibnim prikoličarjem (Trnovo).....	174
Slika 86: Struktura produktivnega časa za posamezna testna območja – za ploskve, kjer smo pospeševali proizvodnjo okroglega lesa.....	175
Slika 87: Struktura produktivnega časa za posamezna testna območja – za ploskve, kjer smo pospeševali proizvodnjo zelenih sekancev.....	175
Slika 88: Primerjano stroški po posameznih fazah in posameznih testnih območjih (€/EOKL) – okrogli les	176
Slika 89: Primerjano stroški po posameznih fazah in posameznih testnih območjih (€/EOKL) – zeleni sekanci.....	176
Slika 90: Les črnega gabra po spravi ob gozdni cesti, pripravljen za izdelavo sekancev.....	177

1 Uvod

Ob vsakršnem poseku prihaja do iznosov oz. izgub hranil iz gozdnega ekosistema. Za preprečevanje netrajnostne izrabe gozda je posebej pri bolj intenzivnih posekih, kjer iz gozda odvažamo poleg lesnih sortimentov tudi drugo (nadzemno) biomaso, potrebno ovrednotiti bilanco gozdnega ekosistema za osnovna rastlinska hranila. Poleg vode so v danih klimatskih razmerah hranila okoljski dejavnik, ki pogosto najbolj omejuje produkcijo gozda. Iznosi, ki dlje časa značilno prekoračujejo vnose, vodijo v slabšanje produkcijske sposobnosti rastišča, upadanje prirastov, težave pri pomlajevanju bolj zahtevnih vrst, večjo podvrženost boleznim in škodljivcem, spremembo drevesne sestave, idr.. Marsikateri gozdovi v Sloveniji in tudi širše so bili v preteklosti degradirani prav zaradi prekomernega iznašanja hranil, največkrat s steljarjenjem, katerega posledice so ponekod, posebej na starejših, izpranih in zakisanih tleh vidne še danes. Skrajen primer so sicer izginjajoči belokranjski steljniki.

Z uporabo novejših tehnologij pridobivanja lesa kot so drevesna ali sortimentna metoda sečnje, s pravilom z žičnim žerjavom oz. z zgibnim prikoličarjem, gozdarsko traktorsko prikolico oz. z neposrednim pravilom s kombiniranim strojem idr., se lahko izkorišča celotna biomasa oz. drevesnina. Pri tem se v gozdnih sestojih uporabijo vsi nadzemni deli drevesa nad višino panja za proizvodnjo zelenih sekancev. V Sloveniji je bilo izvedenih malo presoj oz. le posamezne analize vpliva potencialnih vplivov takšnega sistema izkoriščanja gozdov na njihovo stanje z ekološkega, tehnološkega oz. ekonomskega vidika. V praksi primanjkuje tako ocen vpliva izrabe lesne biomase na gozdna tla in gozdne sestoje. Potrebno je določiti pogoje glede intenzivnosti izrabe nadzemne biomase glede na razrede tipov gozdov in pripraviti presojo v kakšnih pogojih oz. na kakšnih rastiščih je t.i. uporaba drevesna metoda spravila lesa.

S povečanim iznosom drevesnine in s tem hranil (z listjem in iglicami) ob hkratni rabi sodobnih strojev (sečnja in pravilo) lahko vpliva na povečan iznos snovi iz gozda in na poškodbe gozdnih tal. Intenziven iznos hranil kot posledica izkoriščanja na določen način primerljiv s steljarjenjem, t. j. iznos listnega opada iz gozda. V odvisnosti od sposobnosti rastišč, sestojev ter njihovih lastnosti in poznavanjem procesov pri kroženju in zalogah hranil, lahko sklepamo, v kakšni meri oz. kakšne so omejitve iznosa drevesnine iz gozda (strojna izdelava zelenih sekancev).

Del naloge je namenjen razvoju evidentiranja potencialov lesne/nadzemne biomase in priprava predloga za vključitev v sistem načrtov za gospodarjenje z gozdovi. V praksi terenski gozdarji ZGS nimajo ustreznih strokovnih smernic glede možnosti postavljanja omejitev pri izkoriščanju celotne nadzemne mase. Potencial neetatne lesne mase ni znan, zato bi ga bilo smotno opredeliti v okvirih baz podatkov ZGS. Z oceno dejansko razpoložljivih količin neetatne lesne mase, ki so nižji od potencialnih količin, bi lahko pristojna ministrstva dobila oceno tega potenciala za doseganje ciljev rabe OVE.

Zaradi kratkega trajanja naloge (24 mesecev) smo za doseg ciljev (1) ocena vpliva izrabe nadzemne biomase na gozdne sestoje in na gozdna tla, (2) določitve pogojev glede izrabe nadzemne biomase za posamezne tipe gozdov, (3) priprave kritične presoje možnosti uporabe drevesne metode spravila lesa in (4) razvoj evidentiranja potencialov lesne oz. nadzemne biomase ter predloga vključitve v sistem načrtov za gospodarjenje z gozdovi uporabili dostopne obstoječe študije, raziskave ter tuje izkušnje in sinergijske povezave s potekajočimi domačimi oz. mednarodnimi projekti, ki so oz. potekajo na GIS ter na Oddelku za gozdarstvo in obnovljive vire, BF.

Rezultate naloge *Predlog smernic za izkoriščanje sečnih ostankov, Izbira tehnološkega modela pri proizvodnji zelenih sekancev, Testni primeri pridobivanja zelenih sekancev* ter ostale smo predstavili na treh delavnicah za predstavnike ZGS, predstavnike MKO, uporabnike in drugo javnost, kjer so potekale konstruktivne javne razprave; rezultati naloge so javnosti dostopni na spletnih straneh Gozdarskega inštituta Slovenije (<http://www.gozdis.si/projekti/moznosti-in-omejitve-pridobivanjebiomase-iz-gozdov-v4-1126/>), tudi v obliki predstavitev (Zaključna mednarodna delavnica »Je proizvodnja sekancev iz sečnih ostankov ekološko sprejemljiva tehnološko izvedljiva in ekonomsko upravičena?« - gradiva z delavnice). Pričakujemo, da bo javna razprava o tej občutljivi tematiki potekala tudi v prihodnje, zlasti ob upoštevanju rezultatov pri oblikovanju nove zakonodaje na področju varstva gozdov.

Poročilo projektne naloge je sestavljeno iz osnovnega besedila (poglavja 1-4) ter prilog.

1 Ekološki vidiki pridobivanja zelenih sekancev

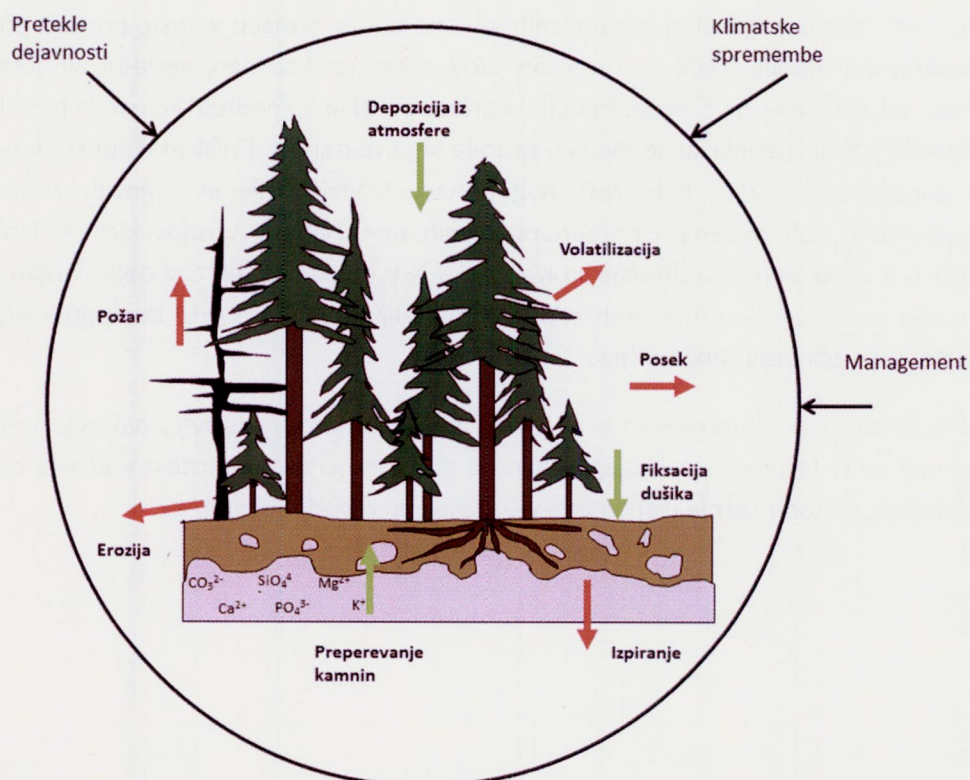
1.1 Proizvodnja zelenih sekancev in problematika iznosa hranil

(Eler K., Kobal M., Skudnik M., Simončič P.)

1.1.1 Teoretske osnove problematike iznosa hranil

1.1.1.1 Bilanca hranil v gozdu

Za razliko od agroekosistemov, ki so glede masnih in energijskih tokov zelo odprti (hitro kroženje, veliki letni vnosi in iznosi (izgube), relativno veliko dostopnih hranil v tleh) so gozdni ekosistemi dokaj zaprti, konzervirajoči, z malo izgubami. Količina hranil, ki se sprostijo ob razgradnji organske snovi, je približno enaka privzemu v rastline. Zaradi močnih kompeticijskih interakcij rastline v gozdu skušajo z različnimi mehanizmi minimizirati izgube hranil, npr. jeseni premeščajo hranila iz odpadajočih listov v založne organe. Hranila v gozdu se večinoma nahajajo v rastlinam nedostopnih oblikah in so bodisi vgrajena v živo in odmrlo biomaso bodisi so v nedostopni mineralni obliki v matični podlagi in talnih delcih. Kljub temu pa kroženje hranil v gozdu ni povsem zaprto, v ekosistem določena majhna količina hranil vstopa (npr. v obliki depozicije iz atmosfere ali ob preperevanju kamnin), določena količina pa se izgubi (v normalnih razmerah gospodarskega gozda največ s posekom in z izpiranjem iz tal).



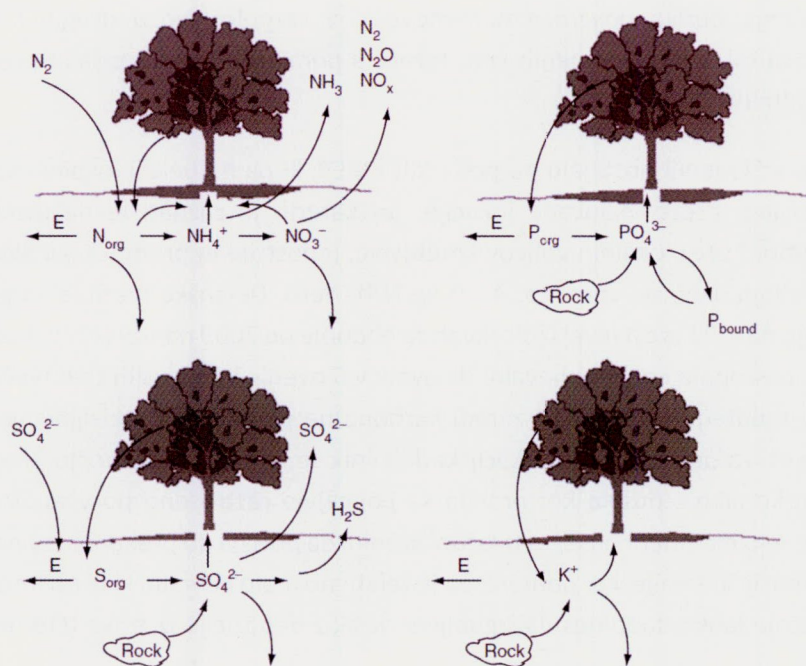
Slika 1: Bilanco hranil v gozdnem ekosistemu predstavljajo različni vnosi in iznosi hranil, posredno pa tudi različni ekološki in antropogeni dejavniki.

Bilanco posameznega hranila (dušik, fosfor, kalij, žveplo, kalcij, magnezij, mangan, nikelj, bor,...) določa razlika med vsemi vnosi hranila v ekosistem ter vsemi iznosi. Za gozdne ekosisteme je zaželeno, da so vnosi in iznosi približno enako veliki, kar pomeni, da ne prihaja niti do pretiranih izgub niti do viškov hranil. Oboje lahko pomeni slabšanje gozdnega ekosistema zaradi produktivnosti sestojev, spremembe vegetacijske sestave, nesorazmerij med posameznimi hranili, težav pri pomlajevanju, slabšo odpornostjo na stresne razmere ter bolezni in škodljivce, zmanjšano filtracijsko sposobnost za vodo, idr.

Hranila v gozdni ekosistem lahko vstopijo preko naslednjih mehanizmov: z depozicijo iz zraka, lateralnimi tokovi (nanašanje z vodo), preperevanjem kamnin, redko z gnojenjem (v tujini in v Sloveniji je vnos gnojil v gozd prepovedan). Dušik lahko vstopa tudi ob fiksaciji atmosferskega N_2 . Pomen posameznih mehanizmov vnosa je za različna hranila različen. Preperevanje kamnin je pomemben vir hranil za bazične katione, fosfor deloma tudi žveplo, skoraj nepomemben pa za dušik. Fiksacija dušika je lahko simbiotska (v koreninskih nodulih živeče simbiotske bakterije rodov *Rhizobium* in *Frankia*) ali pa jo opravljajo nesimbiontske, prostoživeče bakterije in arheje. V večini gozdov je fiksacija N_2 neznatna zaradi majhnega deleža simbiotskih organizmov. Znatna je lahko v jelševih gozdovih (100-200 kg N/ha/leto; Binkley in sod., 1994) ali v gozdovih s primešanimi metuljnicami, kot so robinija in negnoj. Čisti sestoji robinije vežejo do 60 kg/ha N (Boring in Swank, 1984). Prostoživeče bakterije fiksirajo zanemarljivo malo N_2 , nekoliko več le v hipoksičnih razmerah poplavljenih gozdov.

Iznose predstavljajo: posek, izpiranje iz tal, erozija tal, požari, volatilizacija organskih spojin. Tudi pri iznosih je pomen posameznih variant iznosa različen v času, po tipu gozdov in za posamezna hranila. Požari so v večini slovenskih gozdov manj verjetni, verjetnejši so na Primorskem krasu. S požari se izgubljata predvsem N in S, medtem ko ostala hranila ostanejo v gozdu v obliki pepela ali nepopolno zgorele organske snovi. Dušik in žveplo se izgubljata tudi v plinasti obliki (H_2S , NH_3 , N_2O , N_2); proces denitrifikacije je v gozdu večinoma manj pomemben, bolj izražen je v primeru poplavnih, zamočvirjenih gozdov, kjer v tleh primanjkuje kisika. S procesom volatilizacije se izgubljata N v obliki NH_3 ter S v obliki organskih spojin, vendar so te izgube v naravnih ekosistemih, kjer ni veliko prosto dostopnih hranil v talni raztopini, večinoma zanemarljive.

Neposredni iznos s posekom v gospodarskih gozdovih predstavlja največje izgube hranil, vendar se le-te precej razlikujejo glede na drevesno vrsto, pogostost vračanja na določeno površino, metodo sečnje (sortimenti vs. drevesna metoda sečnje), idr.



Slika 2: Naravni viri in naravne izgube štirih osnovnih rastlinskih hranil (dušika, fosforja, žvepla in kalija) v gozdnem ekosistemu (Chapin et al., 2011).

1.1.1.2 Depozicija iz zraka

Čeprav največkrat razmeroma majhna, je depozicija iz zraka v mnogih gozdnih ekosistemi pomembna oblika vnosa hranil. Za dušik in žveplo je depozicija iz zraka večinoma najpomembnejši način vnosa. Iz atmosfere pa se vnašajo tudi K, Ca, Mg, B, torej je depozicija lahko pomemben vir bazičnih kationov za ekosisteme na silikatnih tleh, revnimi s temi kationi. Dušikove spojine, ki prispejo v ekosistem preko atmosfere, so v različnih oblikah, bodisi kot plin (NH_3 , NO , NO_2) bodisi kot ioni v vodni raztopini (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-) bodisi kot trdni delci. Z vzorčevalniki padavin lahko zajamemo le slednji dve obliki (bulk deposition). Plinaste oblike dušika pridejo v rastline preko rež, kjer se po raztapljanju v vodi encimatsko pretvorijo v aminokisline (Schulze in sod., 2005), čeprav lahko, posebej NO_x , ob tem povzročajo tudi škodo na celičnih membranah in drugih strukturah celic. Zaradi kompleksne vertikalne strukture in velike listne površine gozdni ekosistemi s krošnjami zajamejo dokaj veliko količino depozitov, od katerih se nekateri (posebej N) preko listov tudi sprejemajo v rastlino. Po podatkih Harissona in sod. (2000) lahko gozdna drevesa s sprejemom preko krošenj zadostijo 20 do 40 % potreb po N. Več N preko listov sprejmejo rastline z večjo listno površino (iglavci). Težava pri tem je, da je ta sprejem za razliko od sprejema preko korenin nereguliran, torej pri onesnaženem zraku prihaja do večje razpoložljivosti N v rastlini, kot pa ga je ta sposobna glede na druge omejujoče dejavnike asimilirati, kar vodi v neravnovesja med hranili.

V nekaterih kmetijsko intenzivnih in gosto naseljenih območjih (npr. države Beneluksa, sev. Nemčija, Danska) je depozicija nekaterih hranil (posebej dušika) lahko tako velika, da prihaja do prekoračitev mejnih vrednosti in kopičenja hranil v tleh, ki lahko delujejo evtrofno in

zakisljevalno. Kopičenje dušika povzroča neravnovesja v razpoložljivosti drugih hranil, , slabšanje rodovitnosti tal, vdore neželenih vrst, težave s pomlajevanjem gozda in pretirano izpiranje hranil v podtalnico.

Ocene za depozicijo v Sloveniji obstajajo po podatkih EMEP, ki pa ne beleži lokalnih vplivov, saj so v EMEP merilno mrežo vključene lokacije, pri katerih je zaznati le daljinski vnos (background deposition) brez lokalnih vplivov kmetijstva, industrije in prometa. Za Slovenijo po ocenah EMEP veljajo daljinski vnosi ca. 4 - 9 kg N/ha/leto. Dejanske meritve za gozdne ekosisteme obstajajo na ICP Forest level II ploskvah za obdobje od 2009 naprej (???). Dušikove in žveplove spojine nastopajo kot zakisljevalni dejavnik v Sloveniji le na kislih tleh (večinoma na vzhodu države), medtem ko je zahod zaradi karbonatne podlage na zakisljevanje malo občutljiv. Kritični vnosi za dušik kot eutrofikacijski dejavnik so najnižji na območju prodnatih teras večjih rek. Prekoračitve dušika kot hranila se pojavljajo raztreseno po vsej Sloveniji, vendar površinsko v zelo majhnem obsegu. Izračuni kažejo, da prihaja do prekoračitev na manj kot 1 % gozdnih območij Slovenije, kar pomeni, da je relativno malo površin, ki bi ob intenzivni drevni metodi sečnje lahko nadomestila izgubljeni dušik z depozicijo iz zraka (Eler in sod., 2011).

Preglednica 1: Depozicija hranil iz atmosfere v kg/ha/leto za Slovenijo po podatkih EMEP (podatki preračunani iz 50x50km EMEP mreže za Slovenijo; povprečja) (CCE, pers. comm.).

Hranilo	Povprečje	Maks	Min
Ca	9.5	15.3	5.9
K	1.2	7.9	0.5
Mg	2.3	24.7	0.8
N	7.1	9.2	4.1
S	13.6	28.2	6.7

Depozicija bazičnih kationov je prostorsko zelo neenakomerna. Vir bazičnih kationov je največkrat prah in morski prš, ki ju dviguje veter, ali pa antropogeni dejavniki (proizvodnja cementa, idr.). Na karbonatnih tleh je depozicija bazičnih kationov zaradi velike zaloge teh snovi v matični podlagi neznatni vnos teh hranil, na silikatnih in izpranih tleh pa je lahko pomemben.

1.1.1.3 Preperevanje

Kot rečeno, je večina hranil v tleh rastlinam nedostopnih, saj se jih le majhen del nahaja v primerni kemični (ionski) obliki v talni raztopini. Obstajajo trije viri hranil v tleh: (1) talna organska snov (živa in odmrla=humus), (2) organsko-mineralni kompleksi, ki opredeljujejo izmenjalno kapaciteto tal za katione in anione, in (3) minerali (primarni in sekundarni), ki so podvrženi kemičnemu preperevanju. Zaloge izmenljivih ionov je rastlinam dostopna na kratek rok, rastline pa ione tudi aktivno sprejemajo z izmenjevanjem ionov z oddanimi ioni H^+ in OH^- . Razgradnja organske snovi je predvsem odvisna od temperature, vlažnosti tal, kvalitete

rastlinskega materiala (delež lignina in drugih kompleksnih spojin, vsebnost N), pH tal in dostopnosti kisika. Zaloga izmenljivih ionov in deloma talna organska snov, sposobna razgradnje, tvorita puferno sposobnost tal za ohranjanje koncentracije prosto dostopnih ionov hranil v talni raztopini na približno konstantni ravni. Kationska izmenjalna kapaciteta (KIK) je predvsem odvisna od pH tal (večja pri višjem pH), teksture tal (večja v glinenih tleh) in deleža organske snovi (več organske snovi, večja KIK). V mlajših tleh večino KIK predstavljajo bazični kationi (velika saturacija z bazami), v starejših, bolj izpranih tleh pa ostaja na izmenjalnih mestih talnih delcev, ki opredeljujejo KIK, vse manj bazičnih kationov in vse več H^+ in Al^{3+} , kar pomeni zakisanje tal in slabšanje rodovitnosti.

Preperevanje mineralov v tleh je najpomembnejši vir bazičnih kationov, fosforja in deloma žvepla. Talni minerali se zelo razlikujejo v hitrosti preperevanja; hitro preperevajo karbonati, srednje hitro biotit, avgit, ilit, zelo počasi pa npr. glinenci, sljude, kremen, gipsit (ICP, M&M, 2004). Od sestave kamnin je torej odvisno, koliko preperevanje preprečuje slabšanje razpoložljivosti hranil v tleh zaradi povečanega iznosa.

Preglednica 2: Nastajanje bazičnih kationov (v ekv/ha*m/leto) ob preperevanju nekaterih skupin mineralov ob različni vsebnosti mineralov v tleh (Sverdrup in Warfvinge, 1988). Nastajanje posameznega bazičnega kationa (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) je odvisno od vsebnosti tega kationa v mineralu oz. kamnini (v karbonatih je mnogo Ca^{2+} in Mg^{2+} , ostalih manj, v silikatnih kamninah je več K^+ , Na^+ in srednje Mg^{2+}).

Razred glede na hitrost preperevanja	Vsebnost v tleh			
	100%	30%	3%	0.3%
Zelo hitro preperevanje (karbonati-kalcit, dolomit)	25000	15000	10000	3000
Hitro preperevanje (anortit, nefelin, olivin, granat, diopsit)	15000	10000	3000	300
Srednje preperevanje (hipersten, avgit, klorit, biotit, epidot, zoisit)	10000	3000	300	30
Počasno preperevanje (albit, oligoklaz, labradorit, ilit)	600	200	20	-
Zelo počasno preperevanje (glinenci, muskovit, montmorillonit, vermikulit)	300	100	10	-
Inertno (kremen, rutil, anataz, kaolinit, gibbsit)	100	100	-	-

1.1.1.4 Izpiranje iz tal

V večini gozdnih ekosistemov pomeni izpiranje hranil iz globine koreninjenja najpomembnejšo naravno izgubo hranil. V naravnih ekosistemih je izpiranje tesno povezano s količino padavin oz. bolj konkretno z razliko med količino padavin in evapotranspiracijo. Na intenziteto izpiranja pa deluje tudi človek z načinom gospodarjenja, saj se po intenzivnejšem poseku zaradi razgradnje organske snovi in majhnih potreb vegetacije izpiranje poveča. V obdobju intenzivne rasti dreves je izpiranje zmanjšano ali skoraj zanemarljivo, nekoliko se poveča v nevegetacijskem obdobju, ko ni večjega privzema v rastline. V starih gozdovih in pragozdovih, kjer se živa in odmrla biomasa ne povečujeta več, se izpiranje po hipotezi Hedina in sod. (1995)

spet poveča in približa velikosti depozicije. V določeni meri se izpirajo vsa rastlinska hranila, vendar pa je intenzivnost med njimi različna.

Dušik se izpira najhitreje bodisi v obliki nitrata, ki je zaradi pomanjkanja pozitivno nabitih mest na talnih delcih zelo mobilan, bodisi kot raztopljen organski dušik (DON) v obliki aminokislin in drugih spojin, bogatih z N. Izpiranje dušika je povezano s tem, koliko dušik omejuje rast dreves. V razmerah, ko je dušik v pomanjkanju in omejuje rast, je izpiranje majhno, ko pa je ekosistem z N zasičen (primanjkuje drugih virov) se izpiranje poveča. Zaradi tega kot kritično mejo dušika kot hranila pri računanju kritičnih vnosov N uporabljamo izpiranje do določene dogovorjene meje (ICP M&M Manual, 2004). Globina tal je eden glavnih dejavnikov izpiranja, saj imajo plitva, skeletna tla majhno kapaciteto za hranila, saj je manj talnih delcev, kamor se hranila vežejo, manj pa je zaradi bolj stresnih razmer (pogoste suše) tudi vegetacije, ki bi hranila iz talne raztopine vsrkala.

Fosfor se izpira srednje hitro, v večji meri fosfor z razvojem tal postaja vse manj dostopen za rastline, ker se veže v netopne spojine. Izpiranje bazičnih kationov je počasno, saj je v tleh precej pozitivno nabitih mest, kamor se ti ioni vežejo. Vseeno pa v stoletjih in tisočletjih na starejših tleh opazimo pomanjkanje bazičnih kationov, ki se izperejo iz talnega profila, tla pa se zakisajo in postanejo manj rodovitna. Izpiranje bazičnih kationov je problematično le na starih (po nastanku), zakisanih tleh, na mlajših tleh, posebej na karbonatih (kambična tla) pa je nastajanje teh hranil ob preperevanju tako veliko, da povsem kompenzira vse izgube zaradi sečnje, izpiranja, erozije ter tudi zaradi učinkov kislega dežja.

1.1.1.5 Iznos s posekom

Iznos hranil s posekom je časovno dokaj neenakomeren. Ob poseku se iznos hranil iz ekosistema poveča zaradi neposrednega iznosa biomase iz gozda ter kasnejših posrednih vplivov poseka (spremenjene mikroklimatske razmere, ki pospešijo razgradnjo, in pomanjkanje vegetacije vplivata na povečano izpiranje). Iznos hranil je odvisen od količine iznesene biomase ter vsebnosti hranil v tej biomasi. Koliko je iznesene biomase, je največ odvisno od proizvodnosti rastišča (rastiščni indeks) ter ravni proizvodnje. Največje koncentracije hranil, posebej N, P in Mg so v listih, kjer so tudi največje potrebe po encimih, pigmentih in drugih snoveh, pomembnih za fotosintezo in metabolizem ogljika. Približno polovica vsega dušika v rastlinah se nahaja v listih, od tega polovica v osrednjem fotosintetskem encimu Rubisco (Chapin in sod, 2011). Metabolizem je intenzivnejši tudi v drobnih koreninah, medtem ko je v drugih delih rastline (razen kambija in deloma lubja) pretežno izražena manj energetska potratna prevodna funkcija.

Preračunano na letni nivo je iznos hranil s posekom po študiji Laulund-Rasmussena in sod. (2008) 0,6 do 48,9 kg / ha/leto za dušik, 0,1 do 6,9 kg/ha/leto za fosfor, 0,2 do 21,9 kg/ha/leto za kalij, 0,6 do 46,8 kg/ha/leto za kalcij in 0,1 do 6,2 kg/ha/leto za magnezij. Koncentracije hranil v posameznih delih drevesa se zelo razlikujejo. Iznos hranil je odvisen od koncentracije in mase posameznih iznesenih delov drevesa. S pravilom majhne mase rastlinskih delov, ki

vsebujejo veliko hranil, lahko povzročimo podobne iznose kot z iznosom večjih količin s hranili siromašnih rastlinskih delov.

V primeru 100 let starega bukovega sestoja (rastiščni indeks 30, raven proizvodnje 2) je iznos dušika z debli ca. 310 kg/ha, z listi istega sestoja pa ca. 160 kg/ha. Če upoštevamo, da rast debel poteka desetletja, listi pa poženejo vsako leto, lahko sklepamo, kako hitro in intenzivno je možno izčrpati gozd s steljarjenjem, torej odnašanjem listja iz gozda. To se je v srednji Evropi, predvsem po odloku Marije Terezije o hlevski reji živine tudi dogajalo in je povzročilo veliko degradacijo gozdnih tal, težavno pomlajevanje, spremembo vrstne sestave, idr.

Na iznos hranil poleg rastlinskih delov značilno vpliva tudi drevesna vrsta (Hagen-Thorn, 2004). Koncentracije hranil so v iglavcih večinoma manjše kot v listavcih. Največje razlike med vrstami so v vsebnosti hranil v listih, medtem ko so razlike v koncentracijah v lesu dokaj majhne. Kljub temu je pri nekaterih iglavcih (smreka, jelka) vsebnost hranil v celotnem drevesu večja kot pri listavcih, saj je masa listov pri teh vrstah dokaj velika v primerjavi z drugimi deli. Iznos hranil ob drevesni metodi sečnje bi bil zato pri omenjenih dveh vrstah iglavcev večji kot pri npr. bukvi. Ob sečnji v zimskem času je razlika še večja, razen če pustimo ležati posekano drevje, da se iglice usujejo.

Vsebnost hranil v tleh nima tolikšnega vpliva na vsebnost v biomasi (Hagen-Thorn, 2004), saj rastlina prilagodi rast tako, da so razmerja med hranili v določenih razmerjih, ki so potrebna za normalne fiziološke procese.

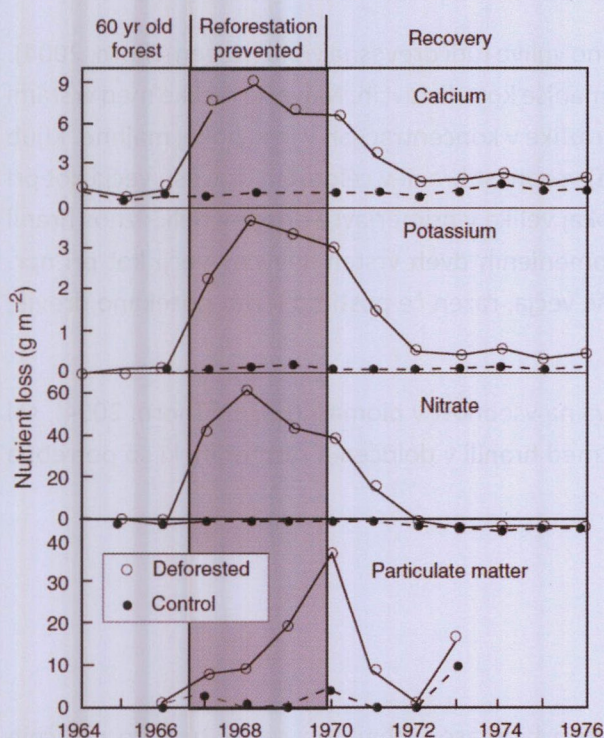
1.1.1.6 Posredni iznosi zaradi sečnje

Poleg neposrednega iznosa hranil z drevesno biomaso prihaja ob sečnji tudi do različnih posrednih iznosov. Ti so precej odvisni od tehnologije sečnje, talnih razmer na rastišču, strmine terena idr. Ob sečnji prihaja do spremenjene bilance med vnosi in razgradnjo organske snovi. Posek vpliva na temperaturne razmere rastišča; zaradi večje osončenosti je razgradnja organske snovi pospešena, pri čemer z mineralizacijo nastaja več hranil v ionski obliki. Mineralizacijo pospešujejo tudi poškodbe tal zaradi mehanizacije, ko pride do zbijanja in mešanja tal. Ker je poraba s strani vegetacije po sečnji zmanjšana, ostajajo viški hranil, ki se izpirajo. Izpiranje je bolj intenzivno v plitvejših ali skeletnih tleh z večjim deležem peska, medtem ko je na globokih, ilovnato-glinenih tleh manjše, saj je sorpcijska površina v takih tleh za proste ione večja.

Tako so Bormann in Likens (1979) za manjše vodozbirno območje, kjer je prišlo do sečnje, ugotovili izrazit porast izpiranja kalcija, kalija in nitrata. Povečano izpiranje je trajalo približno 6 let po sečnji, potem pa so se izgube zaradi izpiranja zmanjšale nazaj na komaj zaznavne vrednosti, ko se je vegetacija zopet zgostila oz. so z mineralizacijo razpadle najbolj labilne organske spojine. Izpiranje iz takšnih območij je lahko precej intenzivno in lahko tudi ogroža vodotoke oz. vodna zajetja. Mineralizacija sečnih ostankov (nadzemnih in podzemnih) ter tudi humusa pa zmanjša zalogo organske snovi ter s tem vpliva na zmanjšano rodovitnost rastišča.

Na nagnjenih legah ali na vetrovnih območjih ob bolj intenzivnih sečnjah lahko prihaja tudi do izgube hranil zaradi erozije. Določena pokritost z obstoječo vegetacijo ter sečnimi ostanki to erozijo zmanjša, prav tako jo zmanjša hitrejša ozelenitev površine (npr. odganjanje iz panja, setev, saditev drevja).

Mehanizacija na težjih, vlažnejših tleh poveča zbitost tal in s tem poveča izgube dušika zaradi večje denitrifikacije. V večini gozdov je koncentracija nitrata tleh dokaj majhna, zaradi česar je sicer ta proces manj pomemben posredi način izgube dušika.



Slika 3: Posredne izgube hranil zaradi izpiranja ob poseku gozda (ugotavljeno za vodozbirno območje) (Bormann in Likens, 1979).

1.1.2 Metodologija izračuna iznosov in bilance hranil

1.1.2.1 Osnovni pristop izračunov

1.1.2.1.1 Opredelitev poenostavljene bilance za dušik

Namen tega segmenta projekta je bil preveriti različne scenarije sečnje skozi njihov potencial za (prekomerno) izčrpavanje hranil iz gozdnega ekosistema. V osnovi nas zanima bilanca hranil v gozdu. Če je iznosov več kot vnosov, je bilanca negativna in prihaja do praznjenja zaloga in siromašenja rastišča, sicer je bilanca pozitivna in zaloge se povečujejo. Masno bilanco nekega hranila v določenem obdobju (npr. letu) lahko predstavimo z naslednjo enačbo:

$$Vnosi - Iznosi = \Delta Zaloga \quad (1)$$

Iznose s posekom torej lahko krijemo z vnosi hranila v ekosistem in (ali) spremembo oz. praznjenjem zaloge. Zaloge predstavlja odpornost ekosistema na povečane iznose hranil. Pri iznosih hranil in odzivih ekosistema moramo ločiti dva vidika: (1) velikost iznosov oz. izčrpavanja (v kg/ha) ter (2) hitrost odziva ekosistema na izčrpavanje. Velikost iznosov je pozitivno odvisna od produkcije gozda; pričakovati je, da iznosimo več hranil (kg/ha) v bolj produktivnih gozdovih, kjer je biomasa večja. Nasprotno je hitrost odzivov t.j. hitrost upada produktivnosti večja na manj produktivnih rastiščih. Ekosistemska produkcija je namreč na izčrpavanje hranil do določene mere odporna zaradi zalog hranil v tleh in v odmrli organski snovi. Zaloge so med ekosistemi zelo različne in pričakovati je, da so večje na bolj rodovitnih, globljih tleh v ravnini, kot pa na skeletnih, plitvih tleh. Zaradi tega je pričakovati hitrejši odziv gozda na siromašenje tal na manj rodovitnih tleh (Laulund-Rasmussen in sod., 2008), vendar pa so tam iznosi z biomaso v absolutnih vrednostih majhne.

Odpornost ekosistemske produkcije na siromašenje s hranili je težko oceniti. Gozdove glede na karakteristike tal lahko po tej odpornosti nekako rangiramo, ne moremo pa za nivo države z realnimi vrednostmi oceniti, koliko kg hranila na hektar negativne bilance prenesejo brez značilnega upada produktivnosti. Zaradi tega v tej metodologiji nismo upoštevali zalog v tleh kot vira, na katerega bi računali pri povečani intenziteti sečnje. Izčrpavanje virov iz tal namreč že pomeni siromašenje rastišča, čeprav se lahko na kratek rok tega ne opazi na rasti dreves. Zaradi omenjenega smo se osredotočili le na bilanco vnosov in iznosov brez upoštevanja zalog hranil.

Nekaterih vnosov in iznosov bodisi ni možno bodisi ni smiselno upoštevati. Dokaj enostavno je oceniti neposredne iznose hranil z biomaso. Za drevesa različnih vrst obstajajo alometrične zveze (biomass expansion factors), na podlagi katerih za znano maso debel izračunamo maso vej, korenin in listov. Prav tako so znane in dokaj konstantne tudi vsebnosti hranil v posameznih delih dreves. Skupna vsebnost hranila v drevesih gozdnega sestoja je torej naslednja:

$$M_{drev} [kg/ha] = \sum_i^S d_i \cdot (m_{d,i} + m_{v,i} + m_{l,i} + m_{dk,i} + m_{fk,i}) \quad (2)$$

pri čemer je M_{drev} skupna vsebnost hranila v drevesih sestoja in so $m_{d,i}$, $m_{v,i}$, $m_{l,i}$, $m_{dk,i}$ in $m_{fk,i}$ iznesene mase hranil v deblih, vejah, listih, debelih koreninah in drobnih koreninah v drevesni vrsti i , d_i je delež vrste i v sestoju in S je število drevesnih vrst v sestoju.

Maso hranila v posameznem delu drevesa izračunamo iz volumna debla, gostote lesa določene drevesne vrste, alometrične zveze med deblom in posameznim drevesnim delom ter vsebnostjo hranila v posameznem drevesnem delu. Npr. vsebnost hranila v listih drevesne vrste i izračunamo takole:

$$m_{l,i} [kg/ha] = V_{d,i} \cdot \rho_{d,i} \cdot k_{l,i} \cdot c_{l,i} \quad (3)$$

kjer je $V_{d,i}$ volumen debel na površino [m^3/ha], $\rho_{d,i}$ gostota lesa [kg/m^3], $k_{l,i}$ alometrično razmerje med maso listov in maso debel [kg/kg] in $c_{l,i}$ koncentracija hranila v listih drevesne vrste i [kg/kg]. Neposreden iznos z biomaso predstavljajo tiste komponente enačbe, ki jih pri danem načinu sečnje in pri določenem deležu poseka (intenziteta redčenja) iz gozda izvozimo (npr. samo debela, debela in veje, vsa nadzemna biomasa, idr.).

Drugih iznosov v tej nalogi nismo upoštevali, ker so neznani (izpiranje, erozija) ali ker so v večini gozdnih ekosistemov zanemarljivi (denitrifikacija, volatilizacija) oz. manj verjetni (požari).

Prav tako ni možno ovrednotiti vnosov za vsa hranila. Posebej se to nanaša na vnose zaradi preperevanja kamnin. Zaradi tega v tej nalogi ni bilo možno računati bilance za bazične katione in fosfor, temveč samo za dušik. Bazični kationi so v Sloveniji zaradi dokaj mladih tal in velikega deleža kationov precej neproblematični, od omejujočih dejavnikov bi bil vzporedno z dušikom lahko omejujoč fosfor. V večini naravnih ekosistemov dušik in fosfor približno hkrati omejujeta produkcijo rastlin (Chapin in sod. 2011), zaradi česar z bilanco enega od obeh hranil dovolj dobro pojasnimo tudi morebiten manjko drugega.

Pri dušiku smo zanemarili fiksacijo dušika, kar je za veliko večino slovenskih gozdov dovolj ustrezna ocena, pri jelševih sestojih ter sestojih z večjim deležem robinije, pa so skupni vnosi zaradi tega podcenjeni.

Skupna bilanca dušika je teoretično naslednja:

$$(N_{dep} + N_{fix}) - (N_{pos} + N_{izp} + N_{ero} + N_{vol} + N_{den} + N_{pož}) = \Delta \text{ zaloga} \quad (4)$$

(vse v kg/ha/leto), kjer je N_{dep} depozicija dušika, N_{fix} fiksacija N_2 , N_{pos} iznos s posekom, N_{izp} izpiranje dušika, N_{ero} erozijske izgube, N_{vol} volatilizacija NH_3 , N_{den} denitrifikacija v tleh in $N_{pož}$ izgube zaradi požarov. Zaradi zgoraj omenjenih zanemarljivih ali neopredeljivih vnosov in iznosov, smo jo za to nalogo poenostavili le na dva člena:

$$N_{dep} - N_{pos} = 0 \quad (5)$$

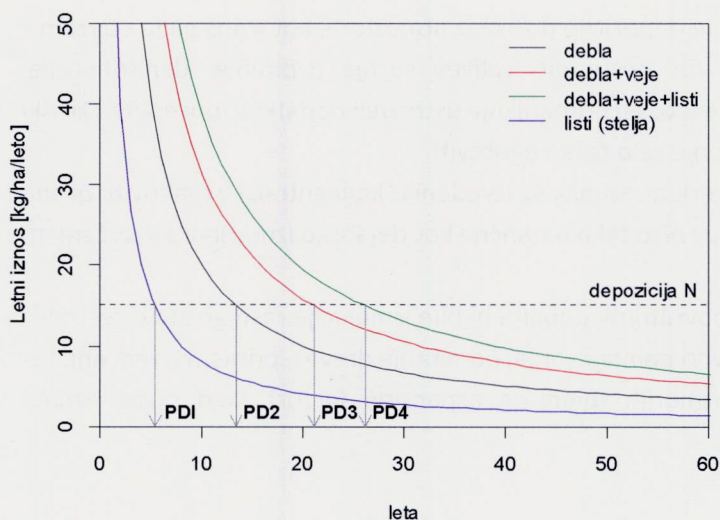
, kjer sta oba člena v enotah kg/ha/leto. Primerjamo torej le vnose z depozicijo in iznose s posekom biomase, ki morata za ravnotežno stanje biti enako velika.

1.1.2.1.2 Povratne dobe

Ob poseku pride do hipnih iznosov dušika (in drugih hranil), medtem ko so vnosi z depozicijo razporejeni na precej daljše časovno obdobje. Zaradi primerljivosti z depozicijo je potrebno tudi iznos s posekom porazdeliti na večje število let. Če skupni iznos ob poseku delimo s primernim številom let, izenačimo ta iznos s depozicijo, ki v istem časovnem obdobju v sestoj vnese dovolj dušika, da je bilanca uravnotežena. Bilanco enačbe 5 lahko predstavimo tudi takole:

$$\frac{M_{drev,p}}{T} = N_{dep} \quad (6)$$

kjer je $M_{drev,p}$ skupna vsebnost dušika v izneseni drevesni biomasi v kg/ha, N_{dep} depozicija dušika iz zraka v kg/ha/leto in T je število let, ki porazdeljuje iznose s posekom. T definiramo kot povratno dobo, t.j. najmanjše število let, ki z depozicijo nadomesti s posekom izgubljena hranila.



Slika 4: Grafična predstavitev izračuna povratnih dob za štiri scenarije sečnje za primer bukovega sestoja z 400 kg N / ha v deblih, 230 kg N / ha v vejah ter 150 kg N / ha v listih, če izvajamo 50% redčenje.

1.1.2.2 Potek izračunov

Potek izračunov je bil naslednji:

1. Za 8 x 8 vzorčne ploskve ICP Forest za Slovenijo pridobiti podatke o lesni zalogi
2. Na podlagi deleža drevesne vrste v sestoji in alometričnih zvez izračunati razpoložljivo (nadzemno biomaso) – v deblih, vejah, listih
3. Iz literaturnih podatkov o vsebnosti hranil v posameznih drevesnih delih izračunati skupno količino hranil gozdnega sestoja
4. Uporabiti scenarije sečnje (intenziteta redčenja in izneseni drevesni deli) pri izračunu iznesenih hranil
5. Samo za dušik uporabiti poenostavljeno bilanco: primerjati LETNI iznos hranil pri določenem scenariju sečnje z ocenjeno letno depozicijo dušika v gozdni sestoj z uporabo
6. Izračunati povratno dobo – število let za nadomestitev iznesenega dušika z depozicijo iz zraka
7. Primerjati povratne dobe po vrstah sestojev in drugih ekoloških danostih

1.1.3 Omejitve uporabljenega pristopa

Omenjeni pristop ima naslednje omejitve in slabosti, ki pa jih v tej fazi zaradi pomanjkljivih podatkov ni možno odpraviti:

- Ocena tveganja izračunana le za dušik, ne pa za druga hranila; iznos je možno izračunati tudi za druga hranila, vendar zaenkrat na podlagi trenutnega znanja in razpoložljivih podatkov ni možno dobiti ustreznih ocen za vnose s preperevanjem, fiksacijo dušika iz atmosfere, idr.

- Bilanca upošteva kot vnos le depozicijo dušika iz atmosfere, kot iznos pa le odvzem z biomaso; drugih iznosov ter posrednih vplivov sečnje (izpiranje, denitrifikacija, erozija) nismo mogli upoštevati, saj primanjkuje ustreznih podatkov, posebej za kraški svet Slovenije, kjer je izpiranje zelo težko ugotoviti
- Podatki o depoziciji niso merjeni, ampak so izvedeni iz koncentracij v mahovih; ocene depozicije na podlagi mahov niso tako natančne kot dejansko izmerjeni z vzorčenjem padavin.
- Ustreznejše kot pristop s povratnimi dobami bi bile simulacije rasti gozdnih sestojev, kjer bi se upoštevalo naravno pomlajevanje, odmiranje dreves, prirastov, redčenj, ter razlike v alometričnih razmerjih (biomass expansion factor) med posameznimi starostnimi razredi dreves.

1.1.4 Uporabljeni podatki

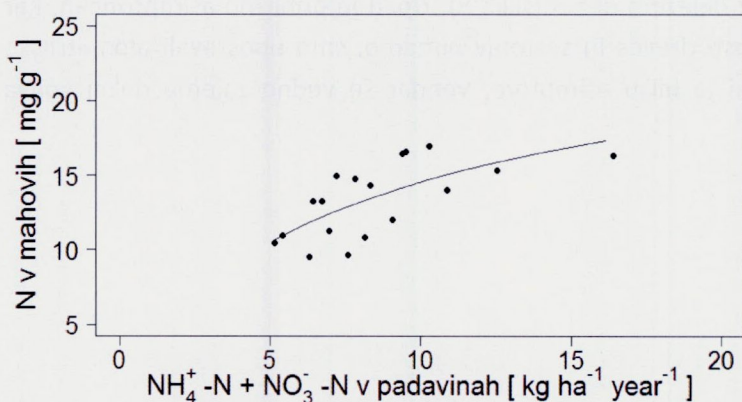
1.1.4.1 Podatki o depozitih

Za Slovenijo do sedaj ni obstajalo natančnejših prostorskih podatkov o dejanskih depozicijah hranil, posebej dušika v gozdne ekosisteme. Najnatančnejši so bili modelni podatki EMEP-a z zelo grobo, 50 x 50 km mrežo, kar za Slovenijo pomeni le okrog 20 rastrskih celic. Ti modeli temeljijo na prostorski interpolaciji podatkov pridobljenih iz EMEP postaj kjer izvajajo fizikalne in kemijske meritve padavin in zraka. Poleg klasičnega spremljanja se za ugotavljanje depozicije uporabljajo tudi posredne metode, kjer se o depoziciji sklepa na podlagi posrednih kazalcev oz. indikatorjev. V to skupino se uvrščajo mahovi, ki so ektohidrični in torej večino mineralnih hranil in vode ter s tem tudi onesnažil sprejemajo preko celotne površine, preko korenin pa le v zelo omejenih količinah (Woolgrove in Woodin, 1996). Prednost takšnega pristopa je, da je enostavnejši in cenejši kot klasično spremljanje kvalitete padavin in zraka in zaradi tega se lahko doseže večjo gostoto vzorčenja in s tem boljše prostorske informacije (Harmens et al., 2011).

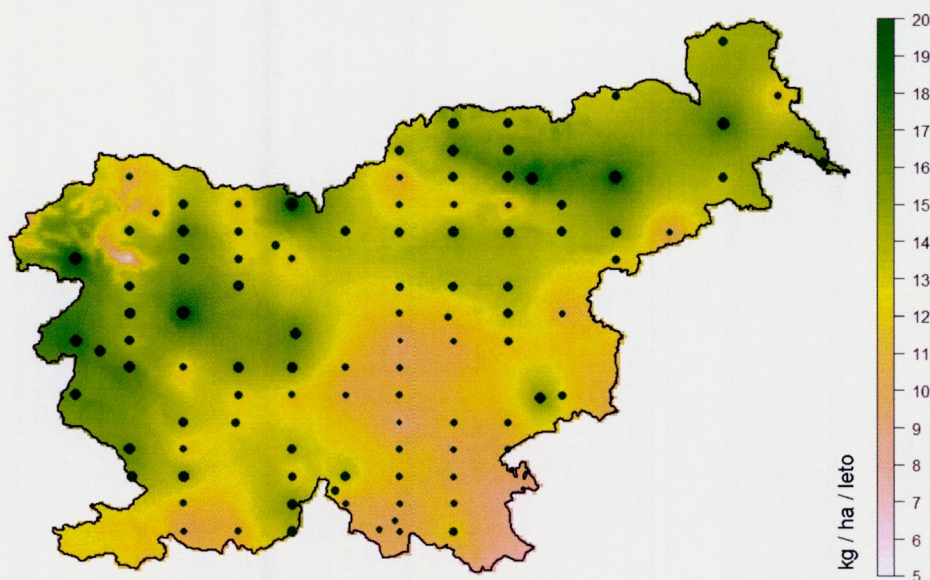
V okviru ICP Vegetation se je v Evropi in tudi Sloveniji vzorčilo ustrezne pleurokarpne vrste mahov (*Pleurozium schreberi*, *Hypnum cupressiforme*), ki so sprejeti kot ustrezen nadomestek merjenju depozitov na klasičen način (količine in koncentracije padavin). Vzorčenje mahov je potekalo v več ponovitvah (2006, 2011) (Harmens in sod., 2012). V Sloveniji so bila vzorčenja na Level I ploskvah ICP Forest (8 x 16 km).

Podatki o mahovih nam podajo koncentracijo skupnega N v mahu, za bilančne izračune hranil pa potrebujemo depozicijo v kg N /ha / leto. V različnih raziskavah po Evropi so že ugotavljali povezanost med vsebnostjo N v mahovih ter letno depozicijo N, vendar pa se te korelacije lahko razlikujejo med državami ter vrstami mahov (Arróniz-Crespo in sod. 2008; Salemaa in sod. 2008). Za ta namen smo ugotovili korelacijo med obema količinama za Slovenijo na podlagi 14-ih ploskev intenzivnega monitoringa ICP Forest Level II (8 ploskev v Sloveniji in 6 v sosednjih državah - Avstrija, Italija in Hrvaška) in 4-ih ploskev državne mreže o spremljanju kakovosti padavin. Na teh 18-ih ploskvah se kontinuirano merijo depozicije v padavinah in v letu 2010 smo na teh lokacijah izmerili tudi koncentracije v mahovih. Na podlagi ugotovljene

korelacije (Slika 5) smo izračunali depozicijo na vzorčnih ploskvah 8x16 km mreže, iz teh podatkov pa smo z uporabo metod prostorske statistike (kriginga) interpolirali depozicije za celotno območje države (slika 6).



Slika 5: Odvisnost med vsebnostjo N v mahovih in vsebnostjo $\text{NH}_4^+-\text{N} + \text{NO}_3--\text{N}$ v padavinah.

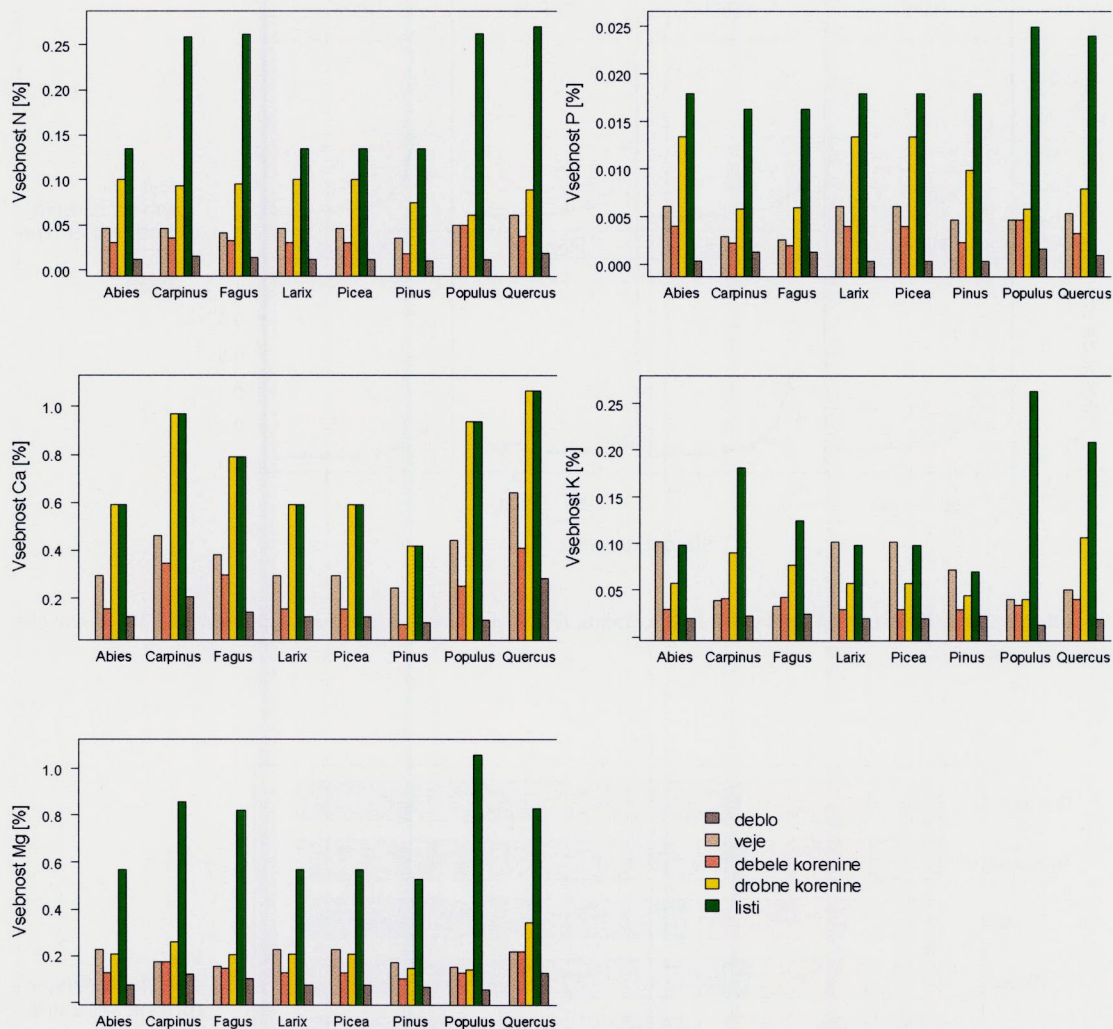


Slika 6: Ocene depozicije dušika za Slovenijo, izračunane na podlagi podatkov o koncentracijah dušika v mahovih z 8 x 16 km vzorčevalne mreže.

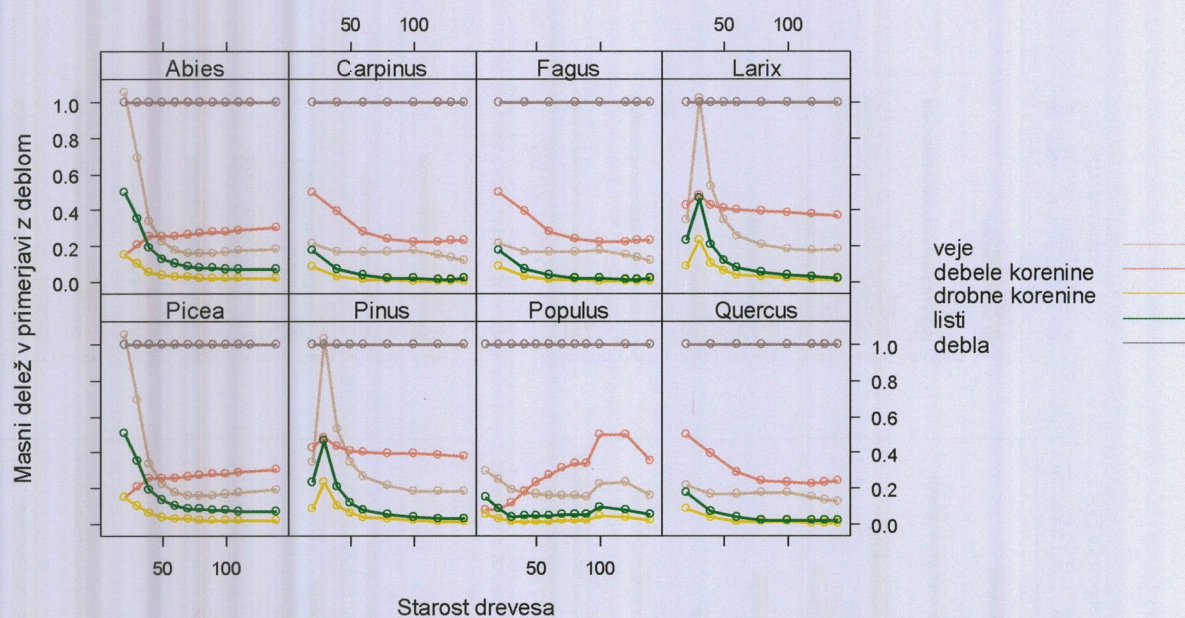
1.1.5 Vsebnosti hranil v drevesnih delih ter alometrijska razmerja

Vsebnost hranil v glavnih drevesnih vrstah smo povzeli iz rezultatov vseevropskega programa Intenzivnega monitoringa gozdnih ekosistemov (De Vries in sod., 2000) ter različne druge literature, ki poroča o vsebnosti hranil v drevesnih delih. Za drevesne vrste, za katere nismo uspeli pridobiti podatkov, smo uporabili ustrezno povprečje ene od treh skupin drevesnih vrst: iglavci, trdolesni listavci, mehkolesni listavci. Vsebnosti hranil so prikazane na sliki M4.

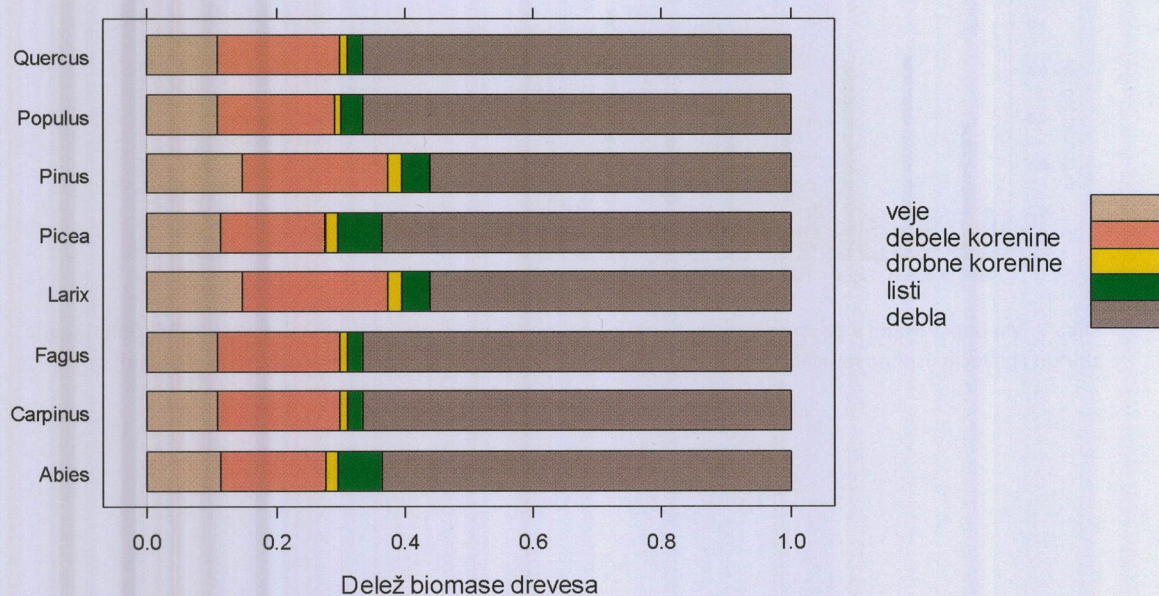
Alometrijska razmerja med posameznimi deli drevesa smo za glavne drevesne vrste pridobili iz podatkovne zbirke EFISCEN Evropskega gozdarskega inštituta (EFI) (Schelhaas in sod. 2007). Alometrijska razmerja se s starostjo drevesa spreminjajo, saj relativno upadajo deleži vej, korenin in listov v primerjavi z deležem debel (slika 8). Upad je približno asimptotičen. Ker natančnejših podatkov o starosti dreves in sestojev nimamo, smo upoštevali alometrijsko razmerje pri starosti 50 let, ki je blizu asimptote, vendar še vedno zajema nekaj vpliva juvenilnih faz rasti.



Slika 7: Vsebnost hranil v posameznih delih dreves nekaterih naših vrst na podlagi podatkov EFI podatkovne zbirke. Največje vsebnosti hranil so v metabolno najaktivnejših organih: listih in drobnih koreninah.



Slika 8: Alometrijska razmerja med deblom in ostalimi drevesnimi deli po starosti najpomembnejših drevesnih vrst v Sloveniji.



Slika 9: Povprečne alometrijske zveze za najpogostejše drevesne vrste v Sloveniji, uporabljene v tej nalogi pri izračunu vsebnosti hranil v celotnem gozdnem sestoj.

1.1.6 Drevesna biomasa v SLO in prirasti – vzorčne ploskve 8x8

Iznos drevesne biomase, bilanco za dušik ter povratne dobe smo računali za stalne vzorčne ploskve 8 x 8 km mreže.

1.1.7 Scenariji sečnje

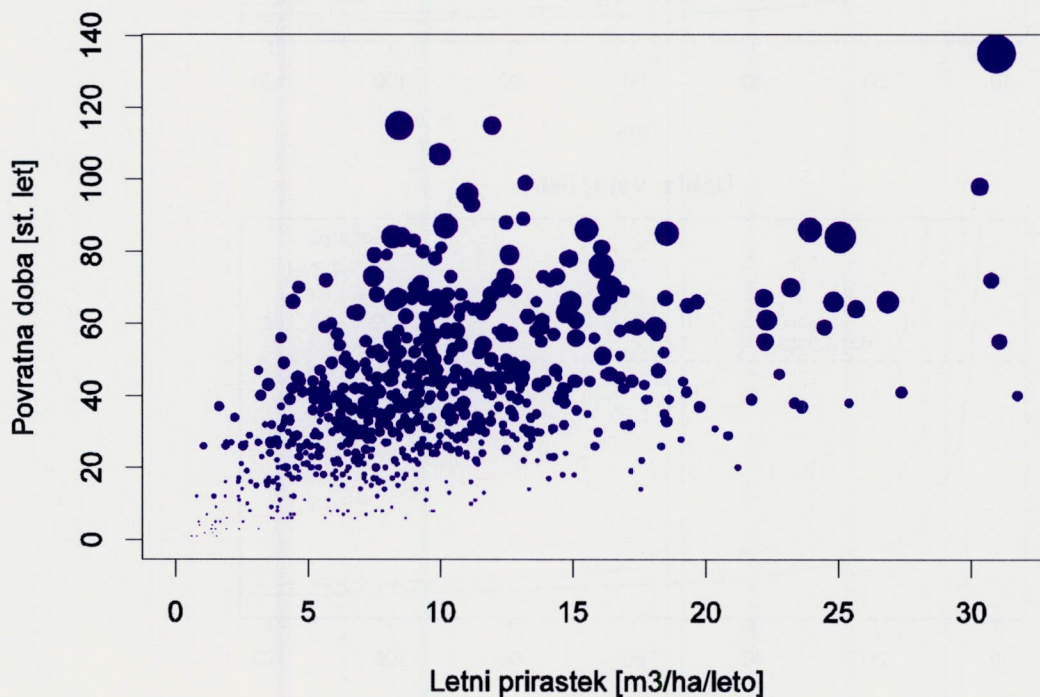
V nalogi smo za celo Slovenijo predvideli dva pomembna vidika sečnje, ki vplivata tudi na izneseno količino hranil: (1) intenziteto sečnje oz. redčenja ter (2) obliko biomase, ki je iz gozda odpeljana. Od slednjega obstaja več variant:

- Iznos debel (klasična sečnja)
- Iznos debel in vej – »rjavi« sekanci
- Iznos debel, vej in listov – »zeleni« sekanci

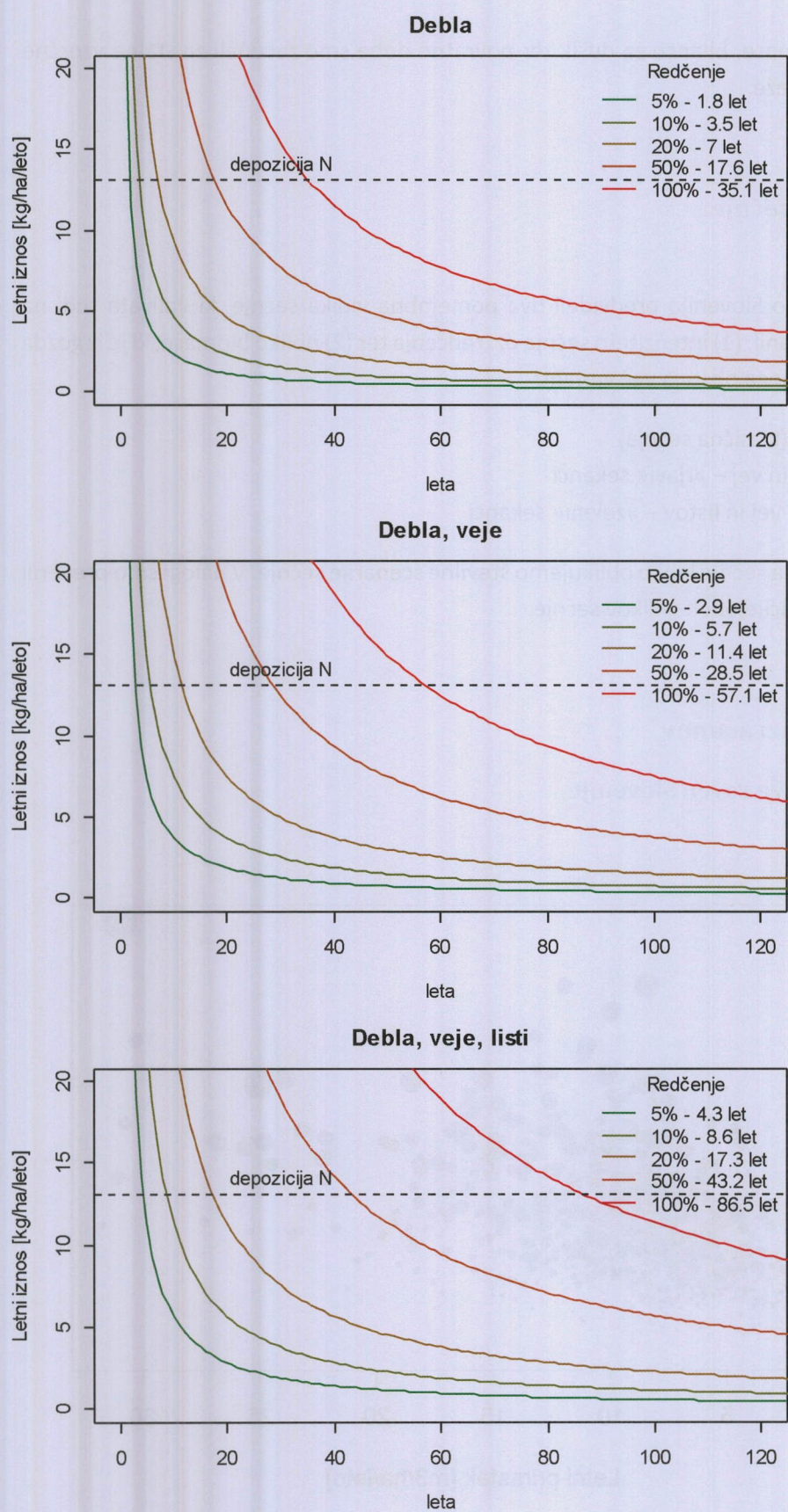
Če križamo oba vidika sečnje lahko oblikujemo številne scenarije sečnje. V nalogi smo preverili le nekatere kombinacije obeh vidikov sečnje.

1.1.8 Rezultati izračunov

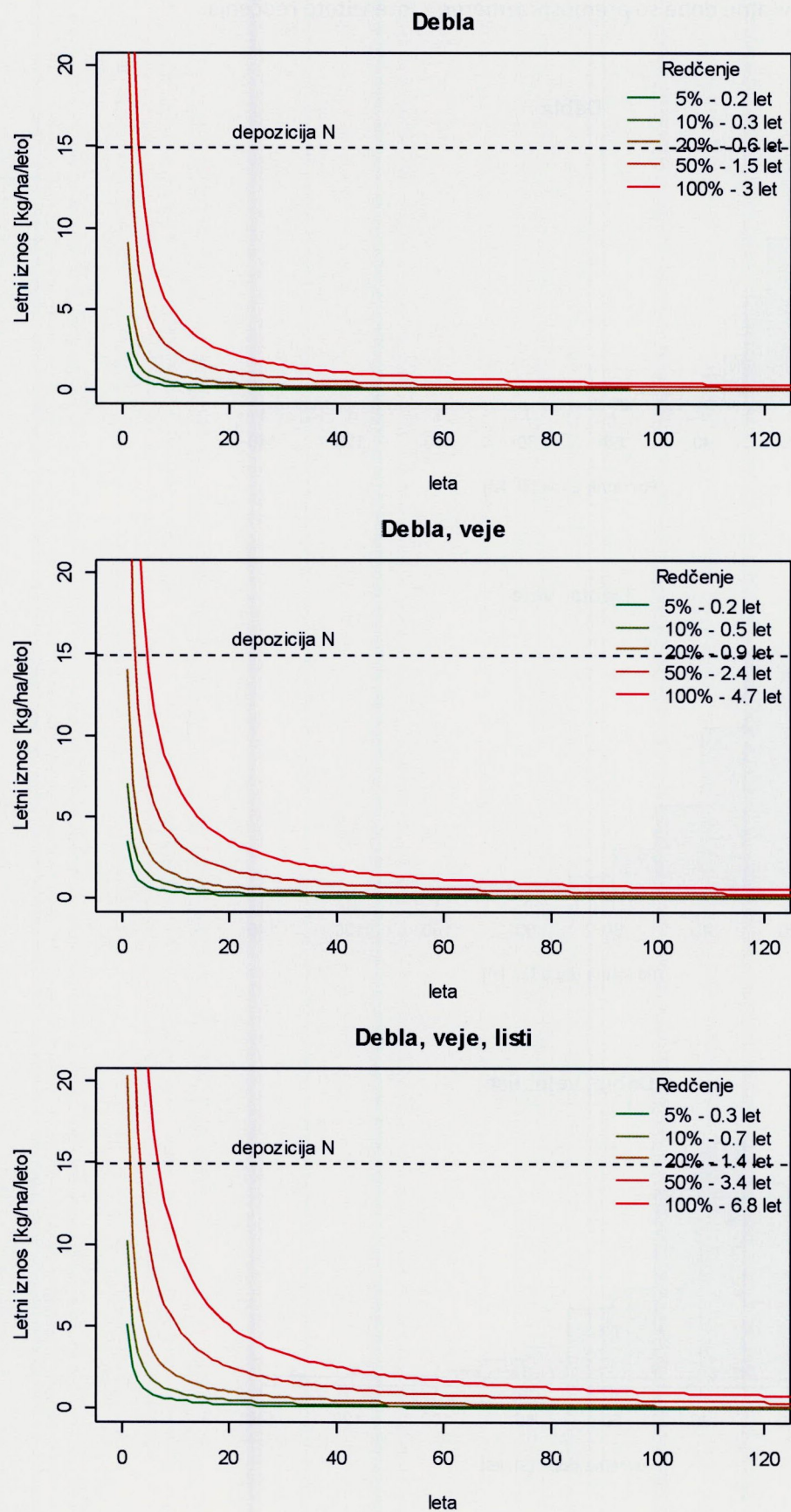
1.1.8.1 Rezultati za raven Slovenije



Slika 10: Odvisnost letnega prirastka in povratne dobe

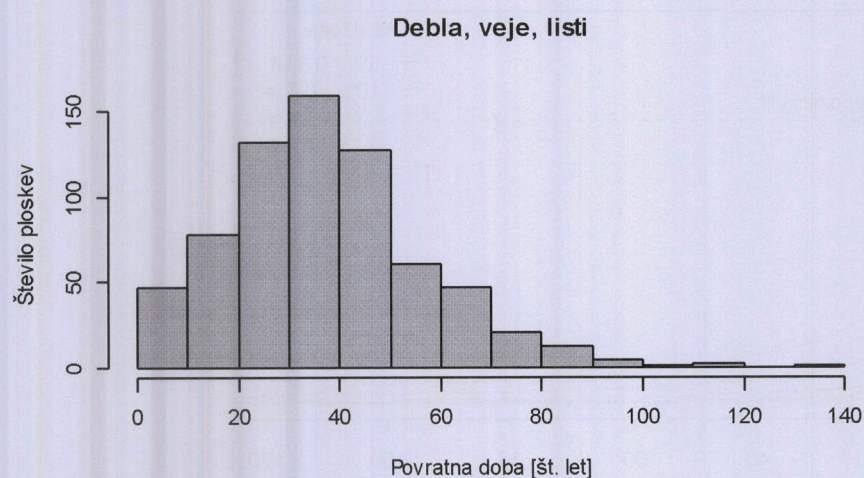
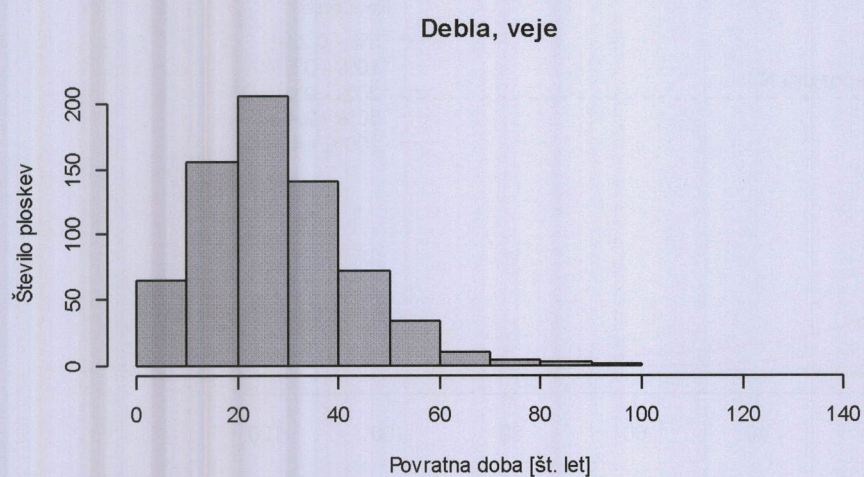
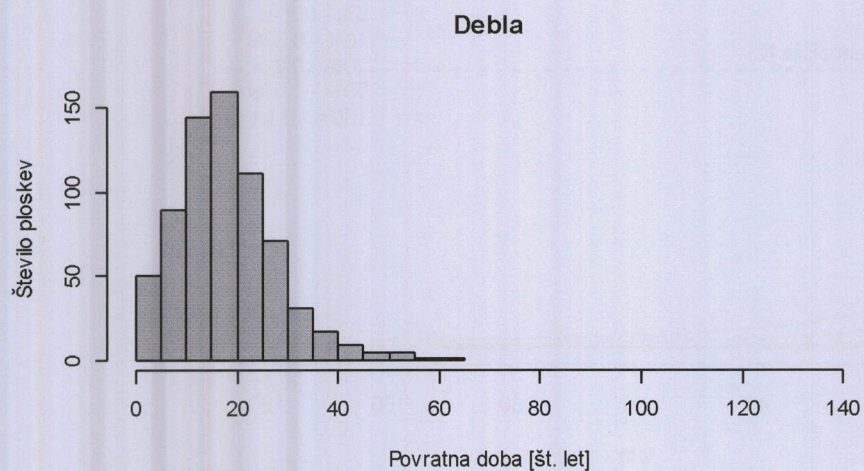


Slika 11: Učinek intenzitete redčenja na krivulje letnih iznosov dušika in na povratne dobe za tri scenarije sečnje in pet intenzitet redčenja za ploskev št. 243 4x4 km mreže z lesno zalogo 915 m³/ha.



Slika 12: Učinek intenzitete redčenja na krivulje letnih iznosov dušika in na povratne dobe za tri scenarije sečnje in pet intenzitet redčenja za ploskev št. 744 4x4 km mreže z lesno zalogo 73 m³/ha.

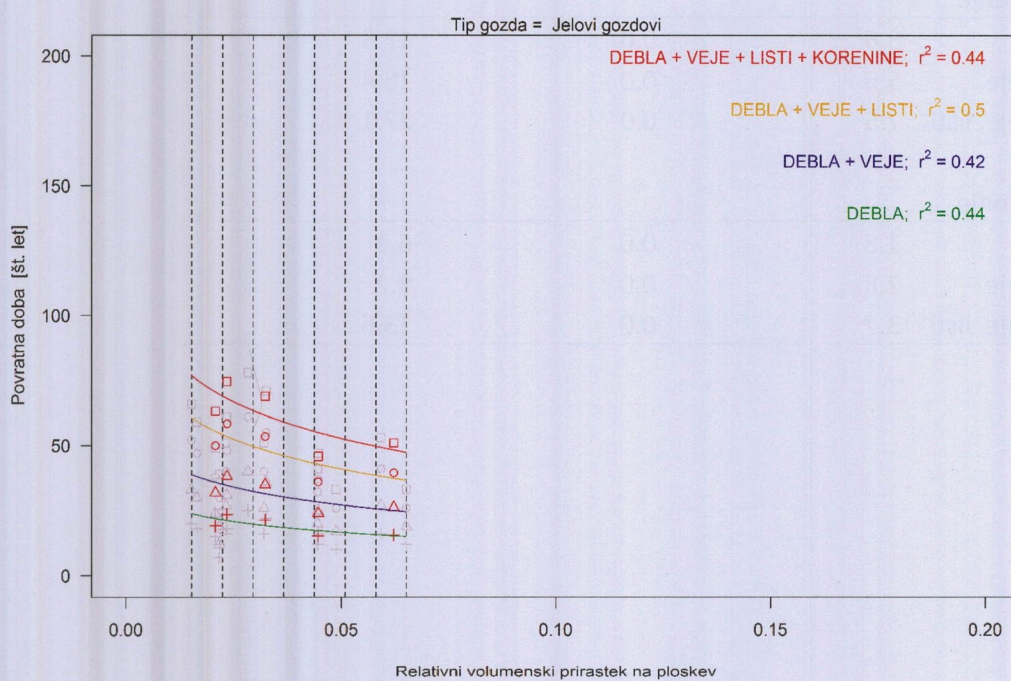
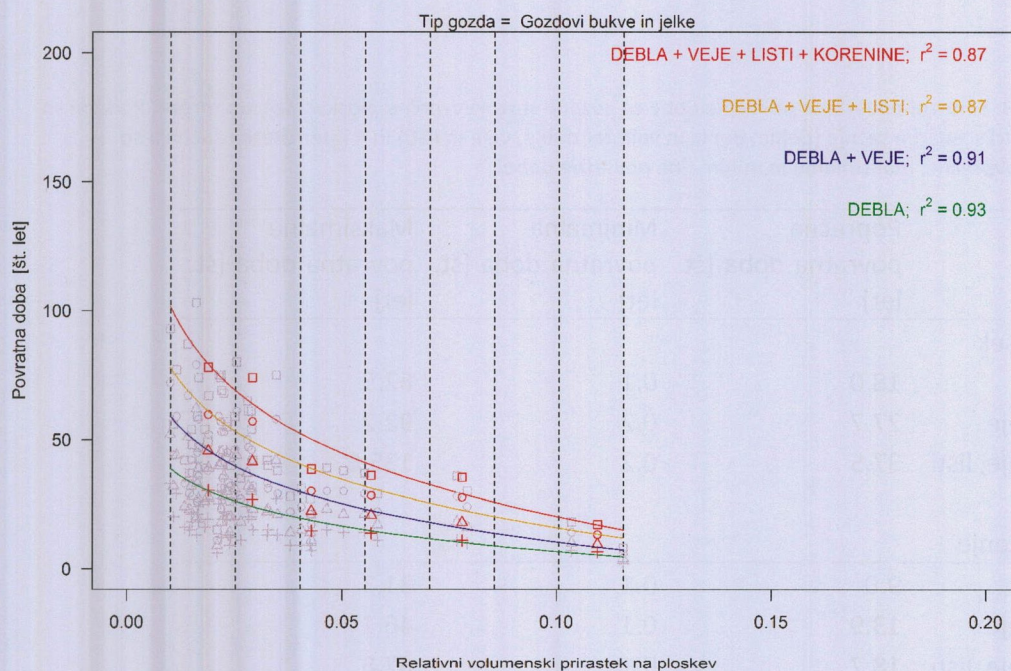
Iznosi dušika ter povratne dobe so premosorazmerne z intenziteto redčenja.

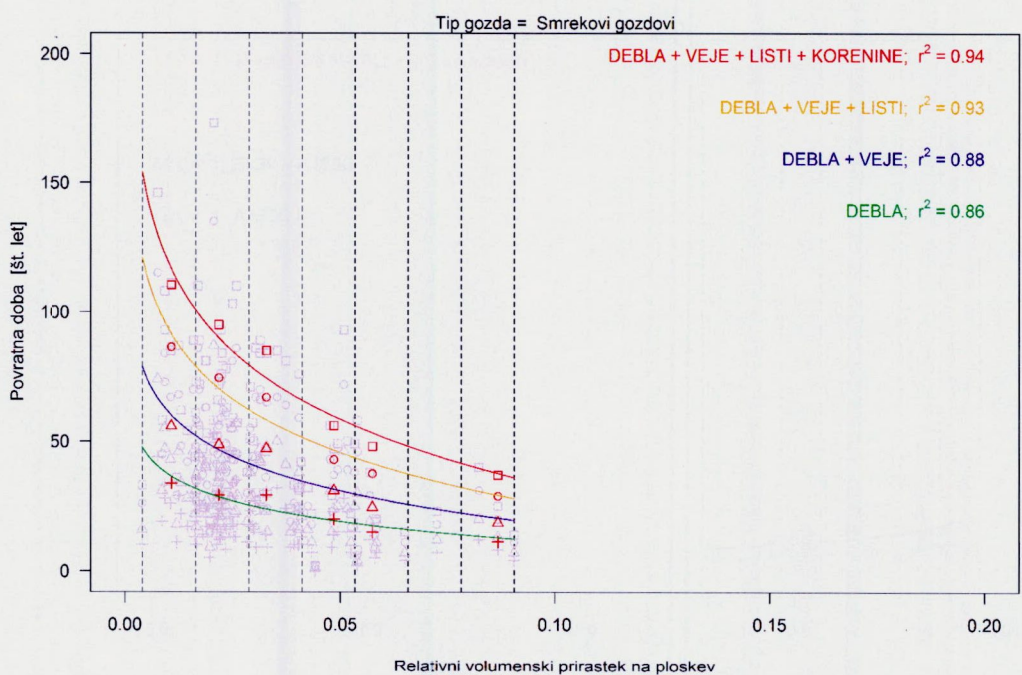
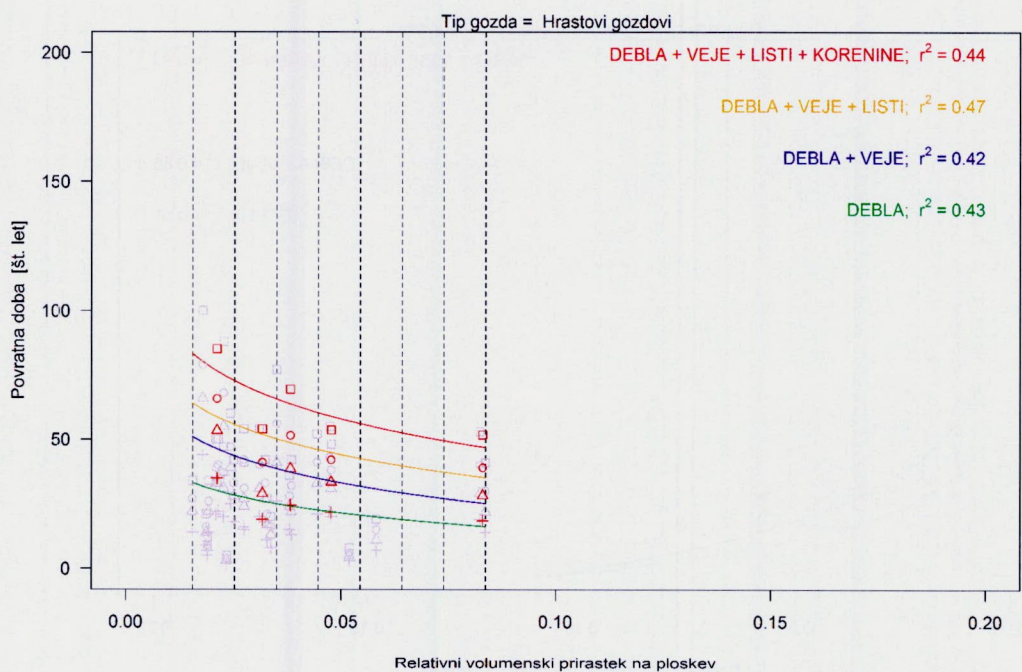


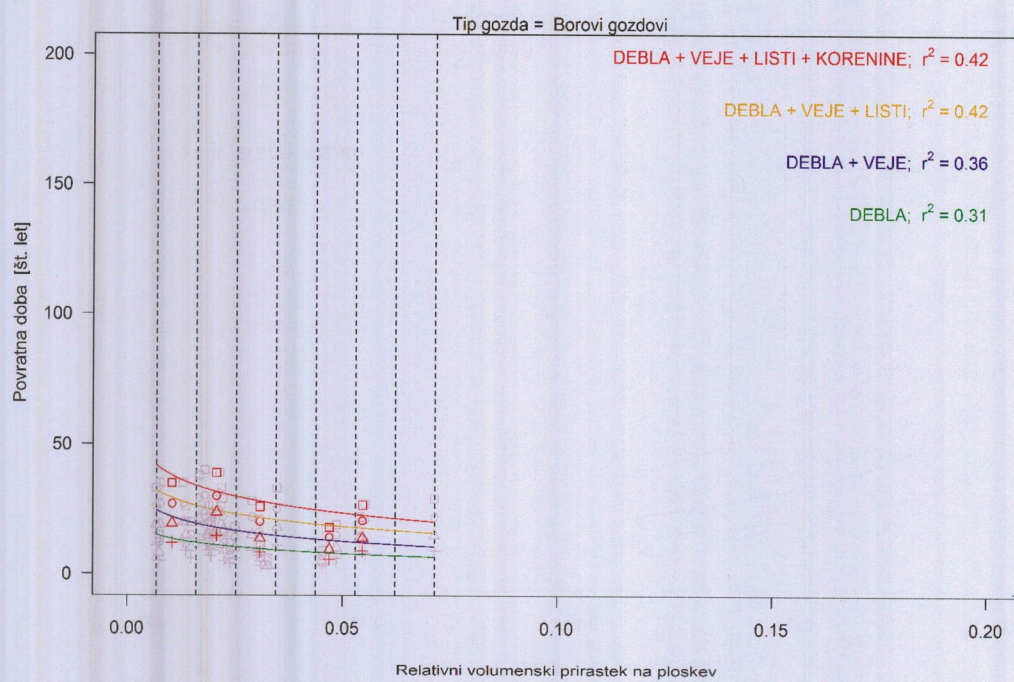
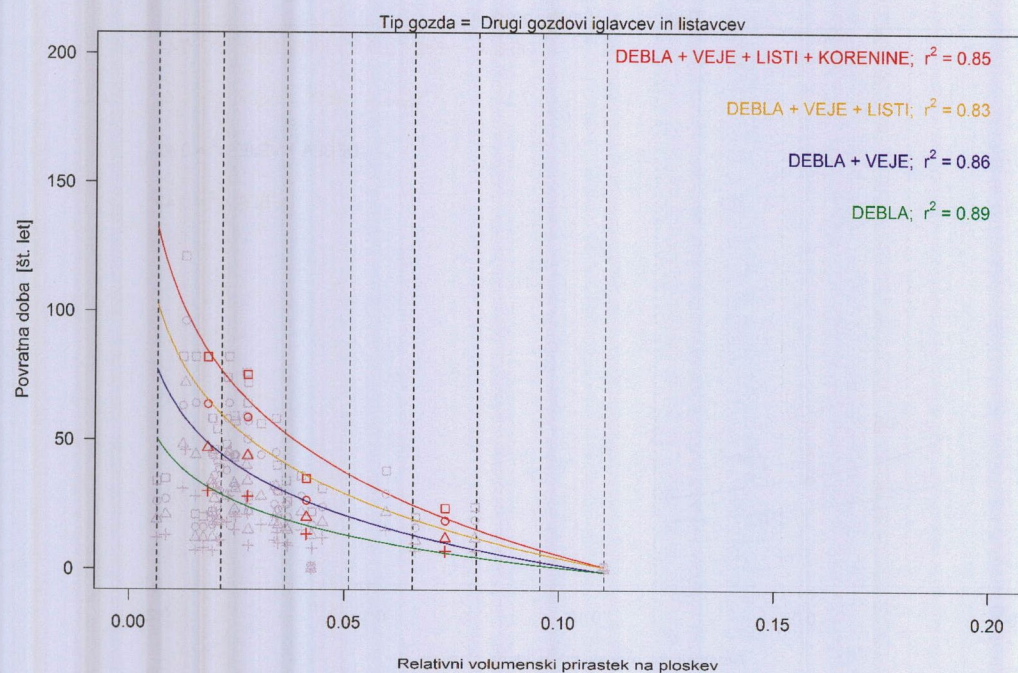
Slika 13: Histogram povratnih dob za gozdove Slovenije, ugotovljeno na vzorcu godnih sestojev na 4x4 km mreži za tri scenarije sečnje.

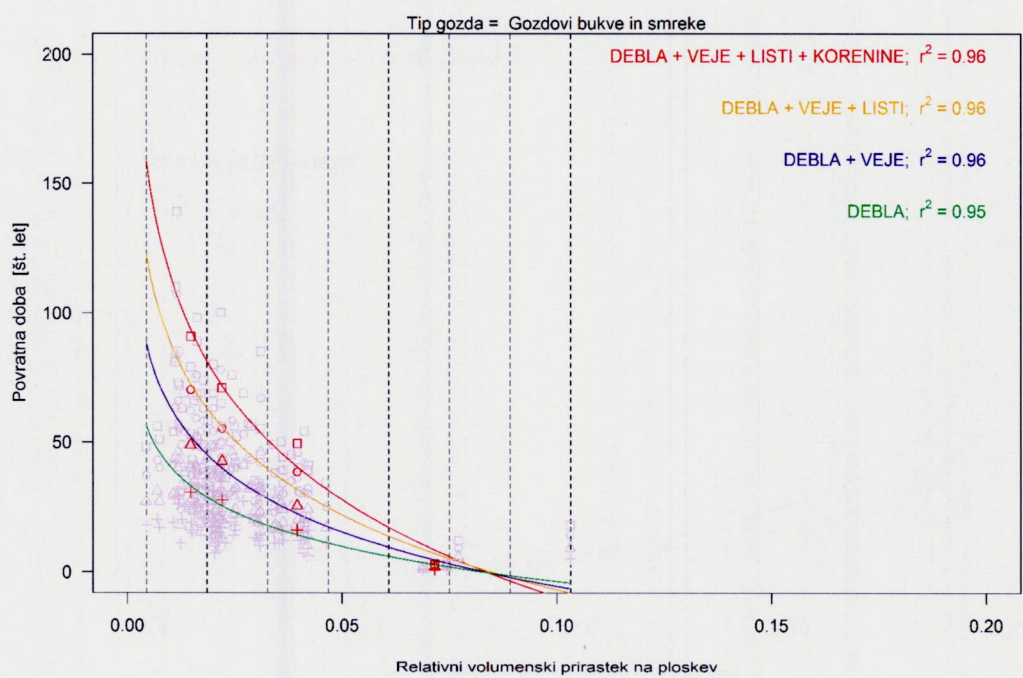
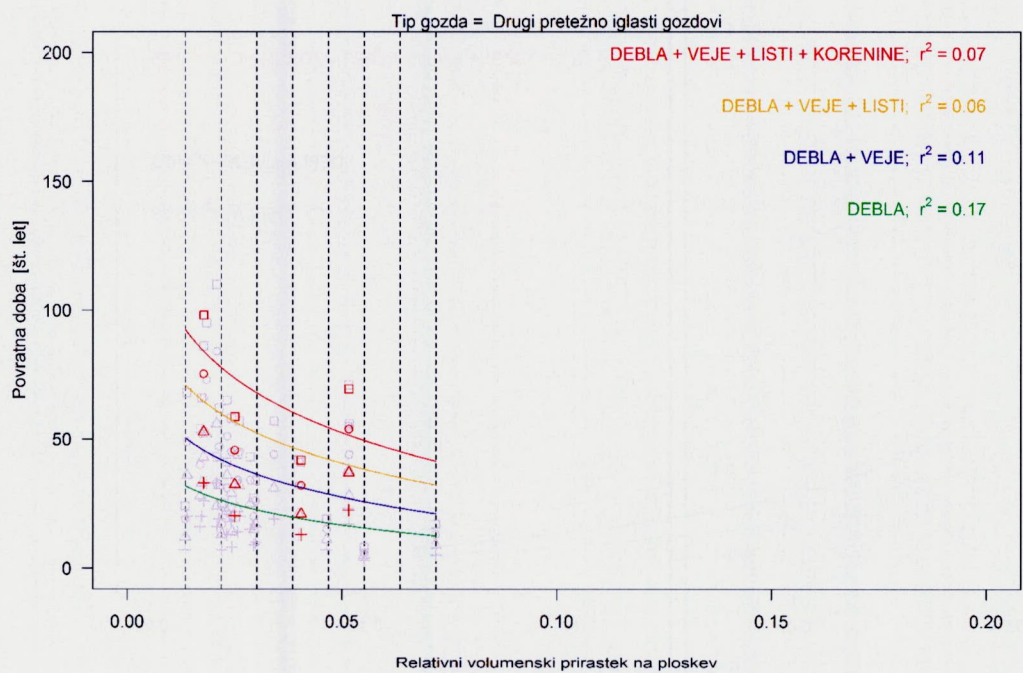
Preglednica 3: Sintezni podatki za povratne dobe za gozdne sestoj vzorčne ploskve 4x4 km mreže. Podatki so prikazani za tri scenarije sečnje (debla, debla in veje ter debla, veje in listi) in 4 intenzitete redčenja so navedene povprečne, maksimalne in minimalne povratne dobe.

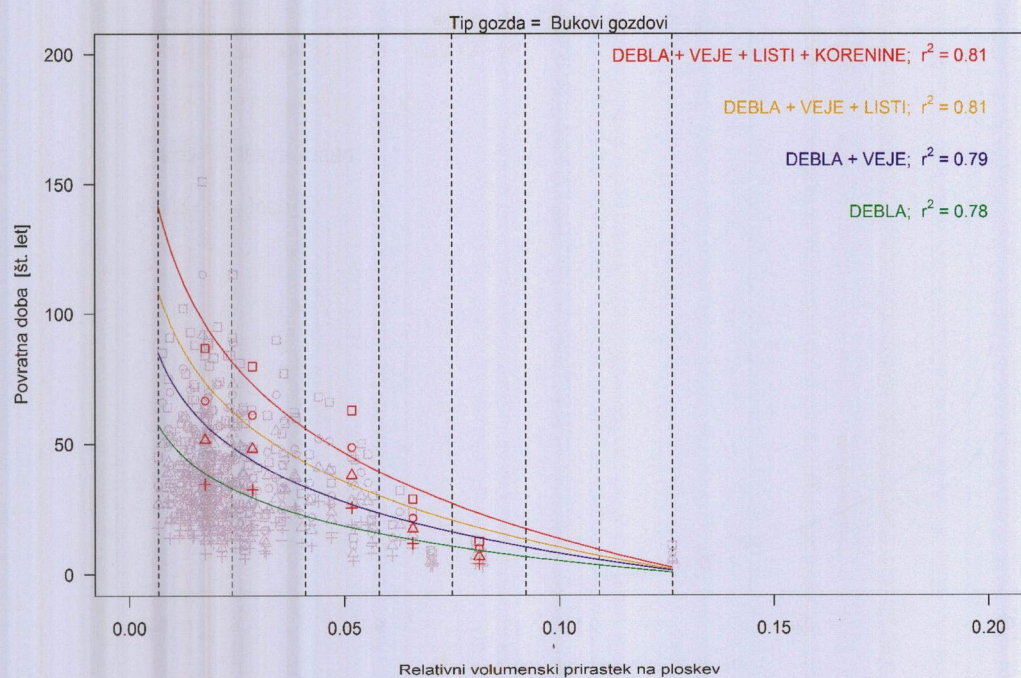
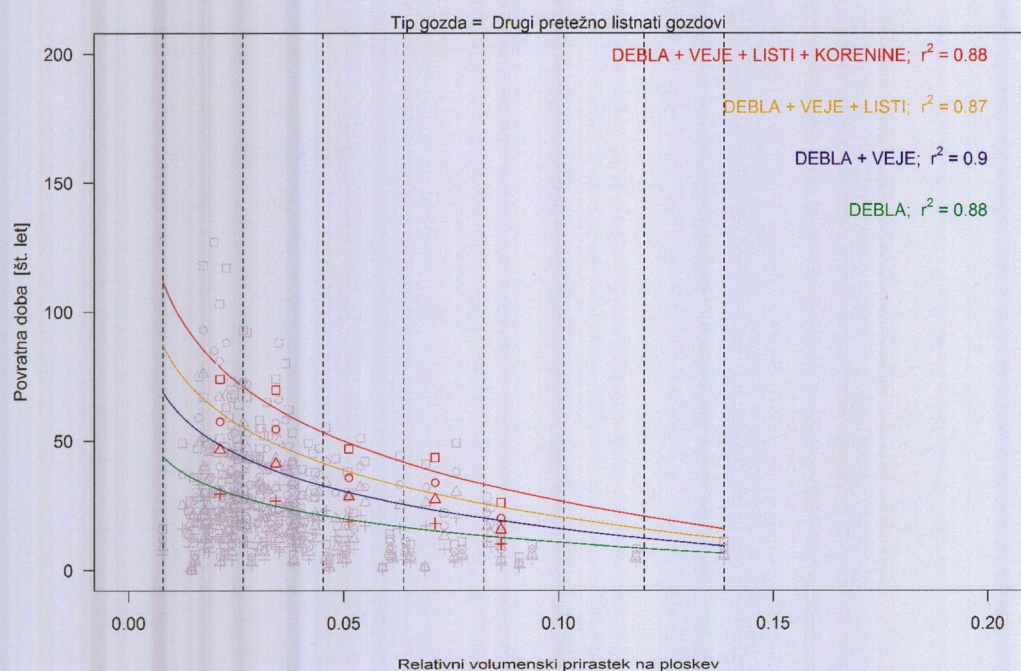
	Poprečna povratna doba [št. let]	Minimalna povratna doba [št. let]	Maksimalna povratna doba [št. let]
100% posek			
Debla	18.0	0.1	62.5
Debla, veje	27.7	0.2	92.2
Debla, veje, listi	37.5	0.2	135.6
50% redčenje			
Debla	9.0	0.1	31.3
Debla, veje	13.9	0.1	46.1
Debla, veje, listi	18.7	0.1	67.8
20% redčenje			
Debla	3.6	0.0	12.5
Debla, veje	5.5	0.0	18.4
Debla, veje, listi	7.5	0.0	27.1
10% redčenje			
Debla	1.8	0.0	6.3
Debla, veje	2.8	0.0	9.2
Debla, veje, listi	3.7	0.0	13.6

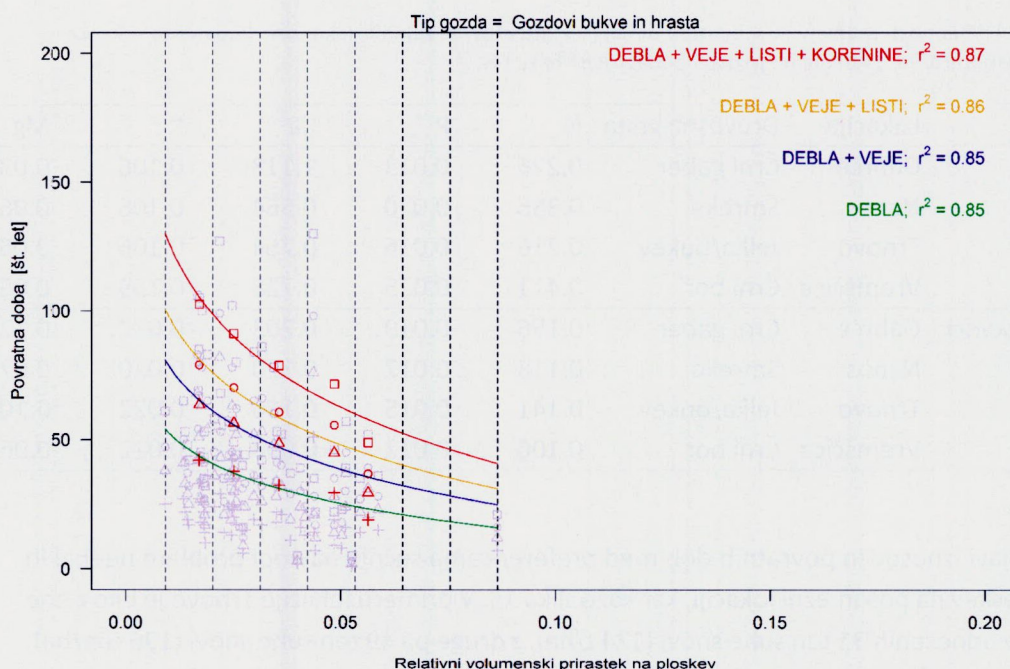












Slika 14: Povezava med povratnimi dobami in relativnim volumenskim prirastkom sestoja po osnovnih tipih gozda. Večji relativni prirastek imajo mladi sestoji. Povratne dobe upadajo s starostjo sestoja. Črtkane črte pomenijo razrede relativnih prirastkov, rdeče točke pa 3. kvartil povratnih dob vsakega razreda prirastka, kar odstrani vpliv preredčenih sestojev (gre proti ciljni lesni zalogi).

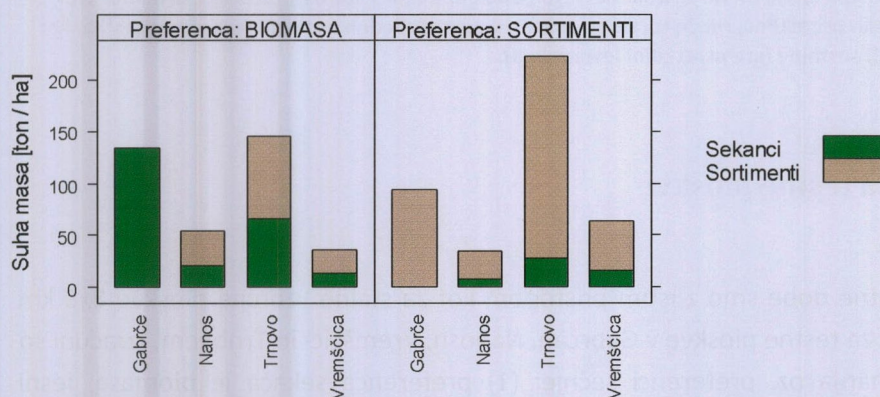
1.1.9 Rezultati za testne ploskve

Iznos hranil in povratne dobe smo z istim pristopom kot za stalne vzorčne ploskve 8x8 km mreže izračunali tudi za testne ploskve v Gabrčah, Nanosu, Vremščici in Trnovem. Izračuni so izdelani za dva scenarija oz. preferenci sečnje: (1) preferenca sekača je biomasa, lesni sortimenti drugotnega pomena in (2) preferenca so sortimenti (do končnega premera 8 cm), biomasa drugotnega pomena. Pri obeh scenarijih sečnje nastajata dva proizvoda: lesni sekanci (zeleni) in lesni sortimenti, vsota obeh proizvodov z določene ploskve je skupna iznesena biomasa iz testne ploskve.

Preglednica 4: Vsebnosti hranil (v %) v biomasi debel (sortimentov) in zelenih sekancev. Podatki za sekance izmerjeni v laboratoriju, za debela na podlagi podatkovne baze EFI.

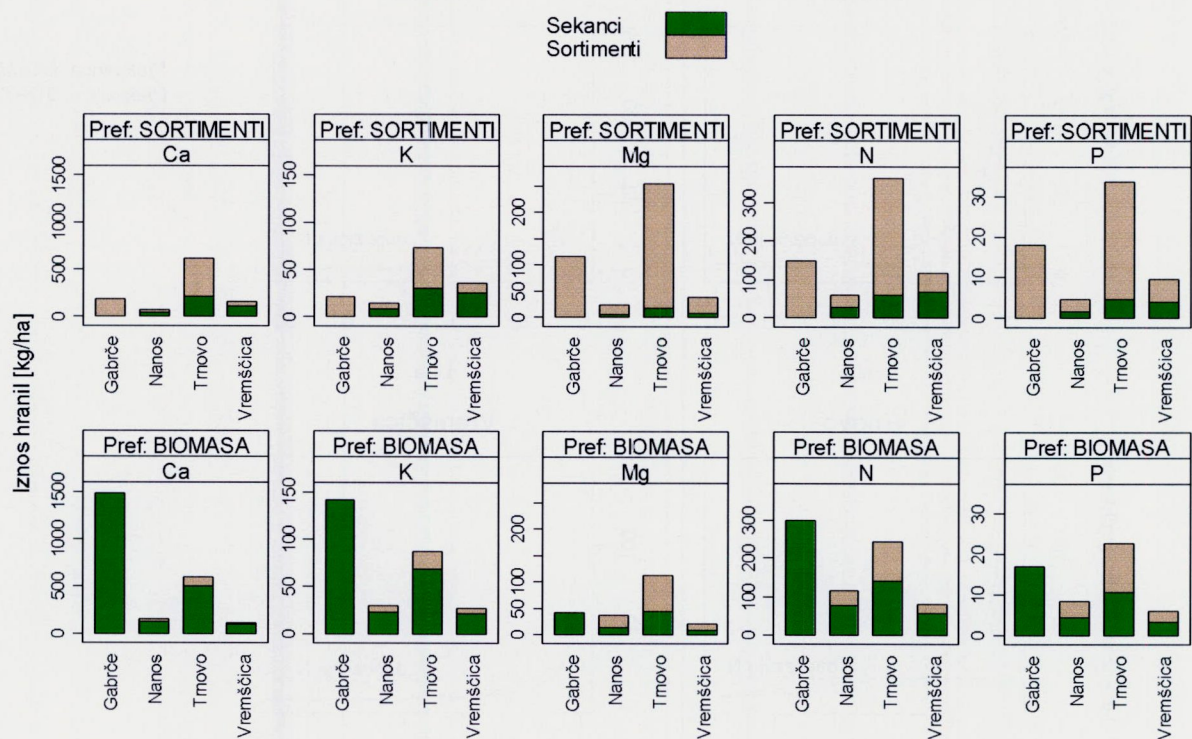
	Lokacija	Drevesna vrsta	N	P	Ca	K	Mg
Debla	Gabrče	Črni gaber	0.226	0.013	1.113	0.106	0.030
	Nanos	Smreka	0.356	0.020	0.564	0.106	0.063
	Trnovo	Jelka/bukev	0.216	0.016	0.764	0.106	0.065
	Vremščica	Črni bor	0.411	0.025	0.728	0.159	0.050
Zeleni sekanci	Gabrče	Črni gaber	0.156	0.019	0.203	0.022	0.123
	Nanos	Smreka	0.118	0.012	0.120	0.020	0.073
	Trnovo	Jelka/bukev	0.141	0.015	0.166	0.022	0.106
	Vremščica	Črni bor	0.106	0.012	0.098	0.022	0.063

Pri primerjavi iznosov in povratnih dob med preferencama sečnje nastopi problem neenakih testnih ploskev na posamezni lokaciji, kar kaže slika 15. V primeru lokacije Trnovo je bilo z ene od ploskev odnešenih 31 ton suhe snovi (124 t/ha), z druge pa 49 ton suhe snovi (196 ton/ha), zaradi česar so neenaki tudi iznosi hranil in povratne dobe.



Slika 15: Suha snov sekancev in sortimentov, odnesena iz štirih testnih lokacij pri dveh preferencah sečnje.

Iznosi posameznih hranil so med obema preferencama sečnje bolj primerljivi za dušik in fosfor, medtem ko so iznosi za bazične katione precej različni, posebej na lokaciji Gabrče. Vzrok je precej visoka vsebnost Ca in K v zelenih sekancih iz te lokacije, kar je lahko tudi posledica zaprašnosti lesnih sekancev ob laboratorijski analizi z apnenčevim prahom.

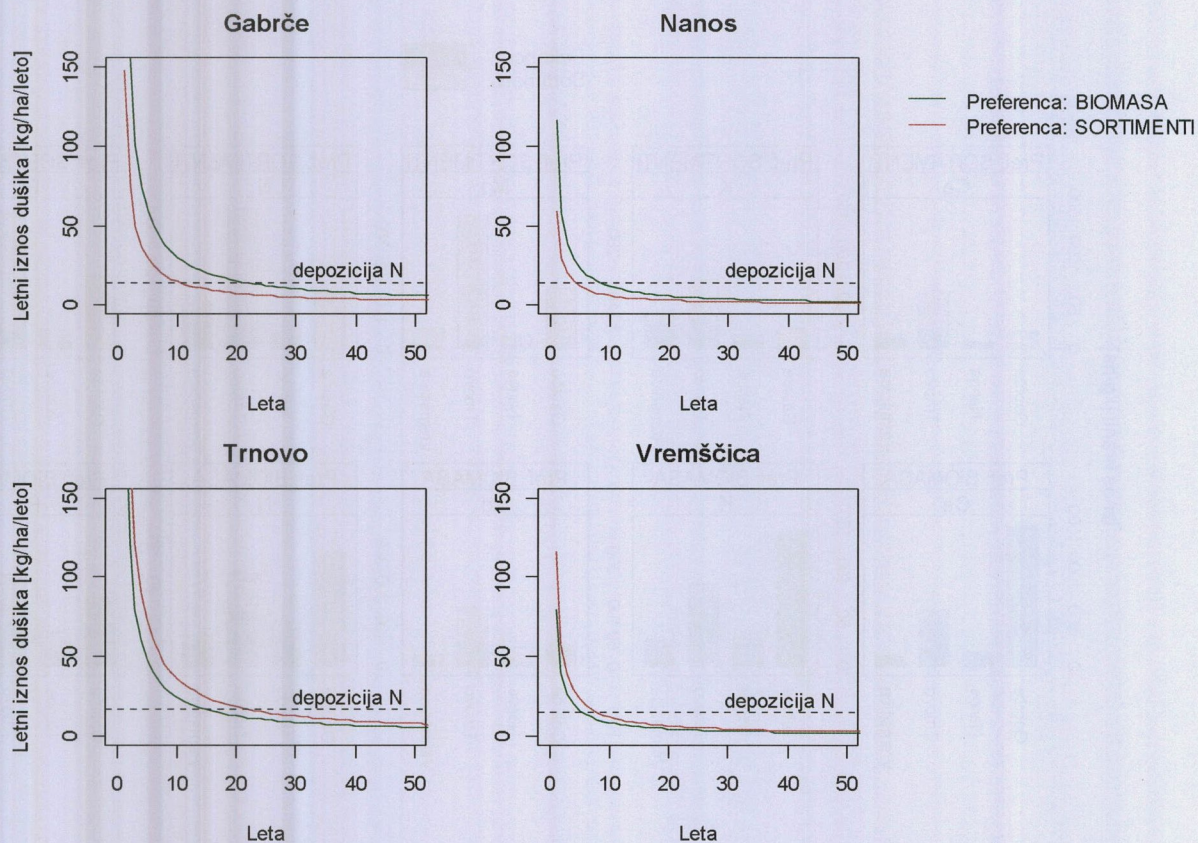


Slika 16: Iznos posameznih hranil s sekanci in sortimenti pri dveh preferencah sečnje na štirih lokacijah.

Povratne dobe smo lahko zaradi že omenjenih omejitev izračunali le za dušik. Depozicije smo pridobili prav tako na podlagi koncentracij dušika v mahovih.

Preglednica 5: Skupni iznosi dušika s sečnjo, letna depozicija dušika in ocenjena povratna doba za izravnano bilanco med iznosom s sečnjo ter depozicijo za štiri testne ploskve in dve preferenci sečnje.

Lokacija	Drevesna vrsta	Ploskev	Preferenca	Iznos N [kg / ha]	Depozicija [kg/ha/leto]	Povratna doba [leta]
Gabrče	Črni gaber	P1	Biomasa	301.9	14.5	20
		P2	Sortimenti	147.9	14.5	10
Nanos	Smreka	P1	Biomasa	116.4	14.1	8
		P2	Sortimenti	59.8	14.1	4
Trnovo	Jelka/bukev	P1	Biomasa	242.4	16.5	14
		P2	Sortimenti	363.0	16.5	21
Vremščica	Črni bor	P1	Biomasa	79.9	14.5	5
		P2	Sortimenti	116.3	14.5	8



Slika 17: Krivulje letnih iznosov za testne ploskve pri obeh preferencah sečnje.

1.1.10 Literatura

Arróniz-Crespo, M., Leake, J.R., Horton, P., Phoenix, G.K., 2008. Bryophyte physiological responses to, and recovery from, long-term nitrogen deposition and phosphorus fertilisation in acidic grassland. *New Phytologist* 180, 864-874.

Binkley, D., Cromack, K., Baker, D.D., 1994. Nitrogen fixation by red alder: Biology, rates and controls, in: Hibbs, D., DeBell, D., Tarrant, R. (Eds.), *The Biology and Management of Red Alder*. Oregon State University Press, Corvallis, pp. 57–72.

Boring, L., Swank, W., 1984. Symbiotic nitrogen fixation in regenerating black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) stands. *For. Sci.* 30, 528–537.

Bormann, F. H., and G. E. Likens. 1979. *Pattern and process in a forested ecosystem*. Springer-Verlag, New York, New York, USA.

Chapin III, F., Matson, P., Vitousek, P., 2011. *Principles of terrestrial ecosystem ecology*, 2nd ed. Springer, New York. 529p.

CLRTAP, 2004. *Manual on Methodologies and Criteria for Modelling and Mapping Critical Loads and Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends*. UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (http://icpmapping.org/Mapping_Manual)

De Vries W, Reinds GJ, Van Kerkvoorde MA, Hendriks CMA, Leeters EEJM, Gross CP, Voogd JCH, Vel EM, 2000. *Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe*. Technical Report 2000, UN/ECE, EC, Forest Intensive Monitoring Coordinating Institute, 193 pp

Eler, K., Batič, F., Kobal, M., Kutnar, L., Simončič, P. Slovenia. V: Posch, M. (ur.), Slootweg, J. (ur.), Hettelingh, J-P. (ur.). *Modelling critical thresholds and temporal changes of geochemistry and vegetation diversity : CCE status report 2011*. Bilthoven, The Netherlands: CCE Coordination Centre for Effects, cop. 2011, str. 141-146

Hagen-Thorn, A., Armolaitis, K., 2004. Macronutrients in tree stems and foliage: a comparative study of six temperate forest species planted at the same sites. *Ann. For.* 61, 489–498.

Harmens, H., Norris, D.A., Cooper, D.M., Mills, G., Steinnes, E., Kubin, E., Thöni, L., Aboal, J.R., Alber, R., Carballeira, A., Coskun, M., De Temmerman, L., Frolova, M., González-Miqueo, L., Jeran, Z., Leblond, S., Liiv, S., Mankovská, B., Pesch, R., Poikolainen, J., Rühling, Å., Santamaria, J.M., Simončič, P., Schröder, W., Suchara, I., Yurukova, L., Zechmeister, H.G., 2011. Nitrogen concentrations in mosses indicate the spatial distribution of atmospheric nitrogen deposition in Europe. *Environmental Pollution* 159, 2852-2860.

Hedin LO, Armesto JJ, Johnson AH. 1995. Patterns of nutrient loss from unpolluted, old-growth temperate forests: evaluation of biogeochemical theory. *Ecology* 76:493-509

Raulund-Rasmussen K., Stupak I., Clarke N., Callesen I., Helmisaari H.-S., Karlton E., Varnagiryte-Kabasinskiene I. 2008. Effects of very intensive forest biomass harvesting on short and long term site productivity. V: *Sustainable Use of Forest Biomass for Energy, A Synthesis*

with Focus on the Baltic and Nordic Region, Röser D., Asikainen A., Raulund-Rasmussen K. (ur.). Springer, Dordrecht, The Netherlands, 29-78.

Salemaa, M., Makipaa, R., Oksanen, J., 2008. Differences in the growth response of three bryophyte species to nitrogen. *Environmental Pollution* 152, 82-91.

Schelhaas MJ, Eggers J, Lindner M, Nabuurs GJ, Pussinen A, Paivinen R, Schuck A, Verkerk PJ, Van der Werf DC, Zudin S, 2007. Model documentation for the European Forest Information Scenario Model (EFISCEN 3.1.3). Alterra Report 1559, Wageningen

Schulze, E.-D., Beck, E., Müller-Hohenstein, K., 2005. *Plant Ecology*. Springer, Berlin, Heidelberg. 702p.

Sverdrup H, Warfvinge P (1988) Weathering of primary silicate minerals in the natural soil environment in relation to a chemical weathering model. *Water, Air and Soil Pollution* 38: 387-408.

Woolgrove, C.E., Woodin, S.J., 1996. Current and historical relationships between the tissue nitrogen content of a snowbed bryophyte and nitrogenous air pollution. *Environmental Pollution* 91, 283-288.

1.2 Poškodbe tal

(Matevž Mihelič)

Deli tega poglavja poročila so objavljeni v doktorski disertaciji Matevža Miheliča, univ.dipl.inž.gozd. z naslovom »Gospodarnost in okoljski vidiki tehnologij pridobivanja lesnih sekancev za energetske rabo«.

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 posebna 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.

1.2.1 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 R., 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 (Potočič Z., 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 A. in Hambleton J. P., 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 T. 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 I., 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 T. 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 J. C. in Ligon J. T., 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 M., 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 T. in sod., 2006; Šušnjar M. 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 A., 1986). Metod ugotavljanja navidezne gostote tal je več, lahko jo ugotavljamo z kopeckijevimi cilindri, izkopom, potapljanjem ali uporabo radiacije (Klute A., 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 utrjujejo (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 H. A. in McNabb D. H., 1984). Navidezna gostota (ki vpliva na odpornost tal) s povečevanjem vsebnosti vode v tleh sicer upada (Vaz C. M. P., 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 veča 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 H. A. in McNabb D. H., 1984).

Vlažnost tal je ena izmed najpomembnejših lastnosti tal z vidika prevoznosti in poškodb tal (Saarilahti M., 2002a). Za ugotavljanje vlažnosti tal obstaja več postopkov (Klute A., 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 M. G., 1960), niti na globino kolesnic (Froelich H. A. in McNabb D. H., 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 H. A. in McNabb D. H., 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 M. G., 1960). Vlažnost ima v takšnih tleh malo vpliva (Froelich H. A. in McNabb D. H., 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 M. in sod., 2006)

Skelet ali kamninski drobir 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 B., 2010b).

Talni skelet deluje kot ojačitev tal. Vplival pa naj bi tudi na strižno trdnost tal, zmanjševal obremenitve in povzročil manjšo zbitost tal (Wronski E. B., 1984). Odgovora na vprašanje, v kolikšni meri, pa še nismo našli (Wästerlund I., 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 M. 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 M. 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 B., 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 I., 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 E. G., 1929; Wronski E. B., 1984). Natezna trdnost korenin znaša med 10 in 60 N/mm², a je njihova trdnost in elastičnost najverjetneje odvisna od drevesne vrste in kvalitete 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 I., 1994). Nekatere raziskave nakazujejo, da se trdnost tal poveča proporcionalno glede na koncentracijo ali površino preseka vseh vlaken v tleh (Gray D. H. in Ohashi H., 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 H. A. in McNabb D. H., 1984)

1.2.2 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 M. G., 1960) temelji na teoriji elastičnosti in plastičnosti tal (Atterberg A., 1911) cit. po (Poršinsky T. 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 torej različen ugrez v tla 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 T. in Horvat D., 2005; Saarilahti M., 2002a; Wronski E. B. in Humphreys N., 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 pa lahko razumemo kot direktni indikator nosilnosti tal (Saarilahti M., 2002a). Drugi raziskovalci so v enačbah vlečnih lastnosti tal konusni indeks uporabljali kot mero za trdnost tal (Hayes J. C. in Ligon J. T., 1981). Konusni indeks je zelo uporaben, saj ga lahko uporabljamo kot mero za trdnost, nosilnost ter zbitost tal (Bygdén G. in sod., 2004). Rezultati tehnike penetriranja v tla imajo močno odvisnost z ugrezom vozila (vehicle sinkage) in silami s katerimi tla nasprotujejo vožnji (Poršinsky T. in sod., 2006).

Odpornost tal na terenu ugotovimo s pomočjo penetrometra. Definirana je kot povprečna sila penetriranja na zgornjih 150 mm tal (using P. f., 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/in²). 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 J. in sod., 1977).

Poznamo več vrst penetrometrov. Delimo jih na statične in dinamične ter penetrometre, ki jih spustimo na tla (drop penetrometer) (Jones D. in Kunze M., 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 oz. vršnim kotom igle (Mali B. in Košir B., 2007). V zadnjem času raziskovalci razvijajo tudi kombinirane penetrometre, s katerimi lahko naenkrat ugotavljamo več parametrov (Vaz C. M. P., 2003)

1.2.3 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.

1.2.3.1 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 operacije. 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 M., 2002a).

1.2.3.2 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 polprikolničarja in nosilno kapaciteto tal so na projektu Ecwood, po raziskavah drugih avtorjev, sestavili spodnjo preglednico (Saarilahti M., 2002a).

Preglednica 6: Razponi nosilnosti tal (Saarilahti M., 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 M. G., 1960; Saarilahti M., 2002a).

1.2.3.3 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.

Slaba lastnost konusnega indeksa je močna odvisnost od več drugih lastnosti tal (Motavalli P. P. 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 gline ter prisotnost večjih kamnov (Motavalli P. P. in sod., 2003; Saarilahti M., 2002c). Ti dejavniki imajo največji vpliv na meritve, nekateri avtorji pa navajajo tudi vpliv vodnega potenciala v tleh, agregacije in cementacije (Vaz C. M. P., 2003). Poleg tal lahko na konusni indeks vpliva tudi vrsta penetrometra in njegovo upravljanje, pa tudi frikcijske sile v tleh (Freitag D. R., 1968; Mulqueen J. in sod., 1977; Young G. D. in sod., 2000).

V eni izmed ameriških raziskav je bilo ugotovljeno, da je konusni indeks v povezavi z navidezno gostoto tal (Miller R. E. 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 J. in sod., 1977).

Obstaja več študij odpornosti tal na penetracijo. Večina teh modelov ima 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 gline in vsebnost talne vlage. Tro-vhodni modeli so redkost, vhodi v te modele pa so talna vlažnost, gostota tal in vsebnost gline ali globina tal (Saarilahti M., 2002a).

Konusni indeks se razlikuje med vrstami tal, v splošnem pa 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 B., 2010b; Saarilahti M., 2002b). Tudi najtežja vozila ne vplivajo na tla globlje kot 0,61 do 0,91 m - odvisno od tipa tal (Bekker M. G., 1960). Za finske razmere ima odpor tal izmerjen na globini 0,15 m največjo napovedovalno moč za modeliranje globine kolesnic (Anttila T., 1998)cit. po(Saarilahti M., 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 B., 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.

1.2.4 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.

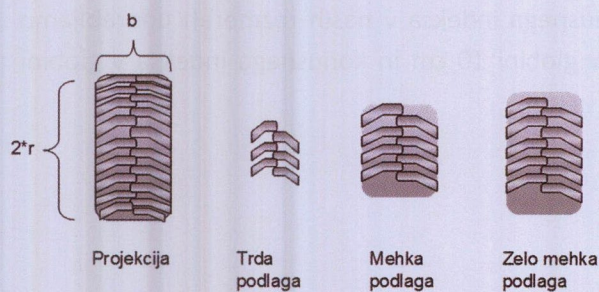
1.2.4.1 Modeliranje deformacije kolesa

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 kategorijo 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.

1.2.4.2 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 poenostavljeno prikazujemo vpliv podlage na velikost kontaktne površine (Košir B., 2010b).



Slika 18: Oblike kontaktne površine glede na različno trdnost tal (Košir B., 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 B., 2010b) in tuji avtorji (Sundberg U. in Silversides C. R., 1988).

1.2.4.3 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 B., 2010b; Mellgren P. G., 1980; Poršinsky T. in sod., 2011; Saarilahti M., 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 P. G., 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 M. in Ryans M., 2010). Razporeditev pritiska pod gosenico ni enakomerna, zato so raziskovalci na podlagi semi-empiričnih modelov namesto NGP predlagali uporabo povprečnega maksimalnega pritiska (Rowland D., 1972) cit. po (Wronski E. B. in Humphreys N., 1994).

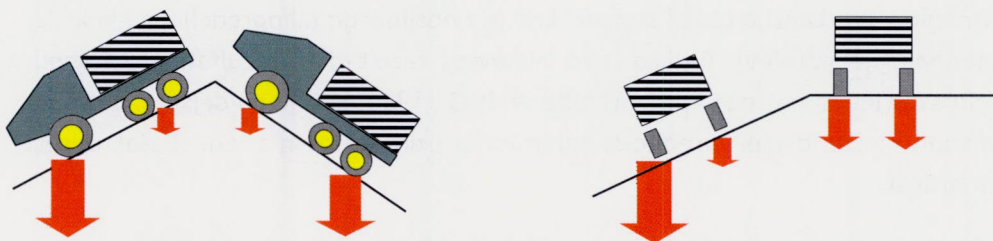
Tako izračunani tlak je manjši kot po drugih izračunih, kar pomeni, da je ocenjevanje prehodnosti terena, v povezavi z ocenjevanjem možnih posledic na tla, optimistično (Košir B., 2010b). Drugi avtorji pravijo, da je NGP v realnosti najmanjši možni tlak na tla, ki ga lahko vozilo ustvari v pogojih zmanjšane nosilnosti tal (Poršinsky T. 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. Pomanjkljivost 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*) pa je preprostost, zato imajo široko uporabo ne le pri proizvajalcih gozdarskih strojev, temveč celo v znanstveno raziskovalni literaturi (Košir B., 2010a; Poršinsky T. in sod., 2011; Saarilahti M., 2002a).

1.2.4.4 Pritisk kolesa na tla

Iz teramehanike (Bekker M. G., 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 polprikoličarju, kjer se teža spreminja glede na natovorjenost. Če primerjamo stroje med seboj na tlak vpliva predvsem teža celega stroja in število koles (Vossbrink J. in Horn R., 2004). Dotikalna površina kolesa je odvisna od dimenzij kolesa ter tlaka v njem, popolnoma pa se spremeni ob opremljenosti kolesa z goseničnimi verigami (Košir B., 2010a). Ne smemo pa 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 B., 2010a).



Slika 19: Povečanje tlaka stroja na tla zaradi spremembe naklona terena (Košir B., 2010a)

Trdimo lahko, da bo stroj ostal na površju, če sta tlak stroja in nosilnost tal 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 zamotani, 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 B., 2010a).

V svoji raziskavi je Košir (Košir B., 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 E. B. in Humphreys N., 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.

1.2.4.5 Ugotavljanje prevoznosti tal

Zavedati se je potrebno, da so bili principi NGP (Mellgren P. G., 1980) in ostale temeljne raziskave (Bekker M. G., 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 P. G., 1980) kažejo na dejstvo, da so na projektu Ecowood močno dvignili vrednosti parametrov trdnosti tal in s tem skušali doseči ekološko primernost.

Preglednica 7: Razdelitev razredov trdnosti tal na projektu EcoWood (Owende P. M. O. in sod., 2002)

Trdnost tal		Parametri trdnosti tal			Dovoljena obremenitev tal
		Konusni indeks	Modul elastičnosti	Strižna trdnost	
	Opis trdnosti tal	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 razmerah težko primerljiva s skandinavskimi.

1.2.5 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 prehodan ali ne oz. kakšne bodo posledice. Iščemo torej razmerja med konusnim indeksom, nosilnostjo tal in tlakom stroja na tla (Košir B., 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.

1.2.5.1 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 P. M. O. in sod., 2002; Poršinsky T. in Horvat D., 2005; Saarilahti M., 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 T. in Horvat D., 2005). Ima več pomanjkljivosti, vendar mnoge odtehta preprostost ugotavljanja indeksa kolesa in njegove uporabe.

1.2.5.2 Globina kolesnice po enkratnem prehodu stroja

Globino kolesnice po prvem prehodu kolesa (Maclaurin E. B., 1997) cit. po (Saarilahti M., 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.

1.2.5.3 Globina kolesnice po večkratnem prehodu stroja

Problem globine kolesnice, po večkratnem prehodu stroja so raziskovalci reševali delno teoretično, delno z opazovanji (Abebe A. in sod., 1989). Ta model uporabljajo tudi pri projektu Ecowood pod imenom splošni model (Saarilahti M., 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 B., 2010a).

Nekoliko drugače so se problema lotili v Avstraliji. Avtorji (Wronski E. B. in Humphreys N., 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 E. B. in Humphreys N., 1994) v svoji raziskavi vrne k preprostejšim enačbam (Freitag D. R., 1965) cit. po (Wronski E. B. in Humphreys N., 1994), za katere trdi, da bolje predstavljajo širši razpon tal.

1.2.6 Vpliv 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 J. T. 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.

1.2.6.1 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 ugreznejo pri tem pa nastanejo kolesnice. Globina kolesnic je priznan indikator, ki kaže usklajenost stroja in podlage oziroma prehodnost tal za mobilnost stroja (Košir, 2010).

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 E. E., 1991; Hildebrand E. E. in Schack Kirchner H., 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 E. B. in Humphreys N., 1994).

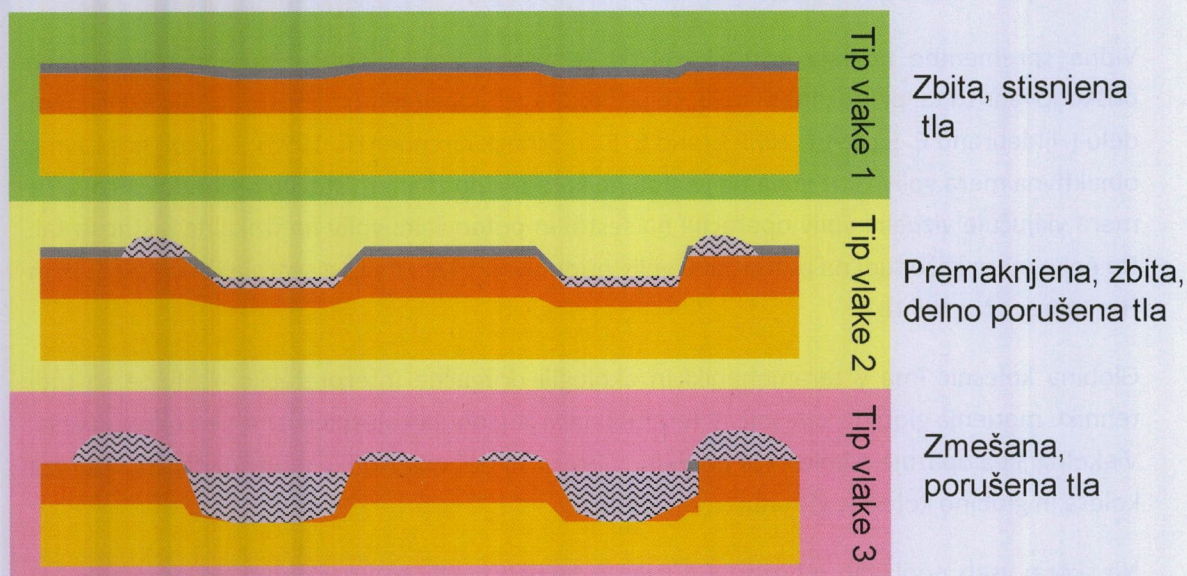
Globina kolesnic ima v teramehaniki in ekologiji drugačne interpretacije, različne so tudi tehnike merjenja globine kolesnic. V teramehaniki je globina kolesnice izmerjen ugrez kolesa. V ekologiji pa opazujejo kolesnice po delu. V praksi ni nobene razlike med konceptom ugreza kolesa in globino kolesnic (Saarilahti M., 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 B. in sod., 2006; Kremer J. in sod., 2003; Lüscher P. in sod., 2009), vendar smo jih za naše potrebe smiselno preoblikovali v naslednje tri razrede (cit.po(Košir B., 2010a):

- Tip vlake 1: Plitva kolesnica, je neizrazita in globoka ne več kot 10 cm (Lüscher P. in sod., 2009), včasih je kolesnica komaj zaznavna, prevladujejo elastične deformacije (Flechsigg B. 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 P. in sod., 2009). Kolesnica je izrazita, vendar globoka pretežno do 10 cm. Vrhni sloj tal je plastično deformiran (Flechsigg B. 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 je 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 P. 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 20: Prikaz tipov kolesnic (Košir B., 2010a)

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 J. in sod., 2007).



Tip vlake 1



Tip vlake 2



Tip vlake 3

Slika 21: Praktični test vlažnosti tal- metanje kepe tal ob čvrsto podlago (Kremer J. 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 B. in Robek R., 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 B. in Košir B., 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 B., 2011) v svojem delu poroča o nižjih globinah kolesnic. Na dveh objektih na Mariborskem in Mursko Soboškem poroča o globini kolesnic večji od 10 cm le v 9 % profilov.

1.2.6.2 Spremembe tal pri večkratnih prehodih

Wasterlund (Wästerlund I., 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 H. A. in McNabb D. H., 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 vlažnost tal, so pa vplivi na tla manjši, ko so tla suha (Rollerson T. P., 1990). Največje povečanje globine kolesnic se je pri traktorskem spravlilu pojavilo pri prvem prehodu stroja (McDonald T. P. in Aust W. M., 1995).

1.2.6.3 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 rpeko nepoškodovanih korenin na drugi strani drevesa (Nadezhdina N. in Cermak J., 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 vlakih, po kateri se je nazadnje vozilo pred 24 leti debela 10 cm, medtem, ko je bila ta plast na nemotenih 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 K. in Schäffer J., 2006). Razlog zato, da se vpliv stiskanja tal širi izven vlake je način porazdeljevanja pritiska kolesa na tla (Schjonning P. 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 tudi, da se višinski prirastek zmanjša manj, kot volumenski (Froelich H. A. in McNabb D. H., 1984). Podobne odstotke izgub volumenskega prirastka (14 %) navajajo tudi Skandinavci (Wästerlund I., 1992). V smrekovih sestojih v Skandinaviji (Isomäki A. in Kallio T., 1974) cit. po (Vasiliasukas R., 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.

1.2.6.4 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 T. W. 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 H. A. in McNabb D. H., 1984).

Avtorji opažajo, da se tla v bolj milih klimah težje in kasneje vrnejo v prvotno stanje (Froelich H. A. in McNabb D. H., 1984; Wästerlund I., 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 J., 1981) cit. po (Froelich H. A. in McNabb D. H., 1984). Drugi raziskovalci (Thorud D. B. in Frissell S. S., 1976) so ocenili, da se bo zgornjih 0-8cm peščeno meljastih tal v prvotno navidezno gostoto vrnilo v 5 - 9 letih. Drugače je bilo v globljih plasteh. Ugotovili so, da sprememb v plasti 15 - 25 cm, v trajanju poskusa skoraj ni bilo, zato sklepajo, da naravni mehanizmi globlje delujejo počasneje.

1.2.6.5 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 kvaliteto izdelave 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 G. in Wästerlund I., 2007).

1.2.7 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 preveč podobne, saj lahko trdimo, da večino leta delamo v odjugu (Košir B., 2010a).

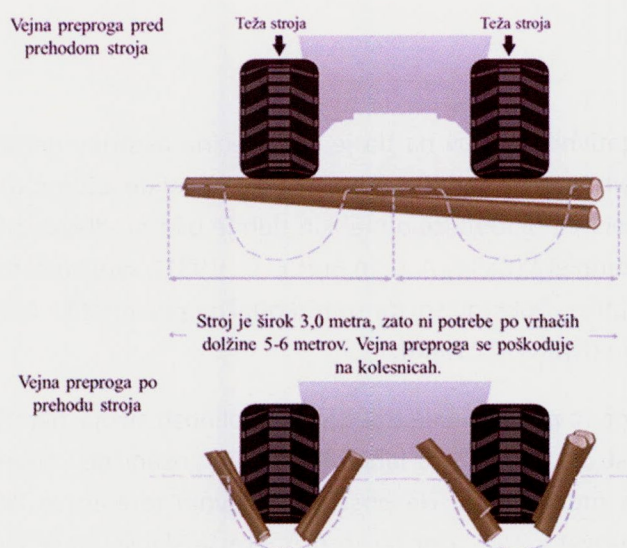
Prilagoditev časa sečnje je zelo odvisna od vremenskih razmer in jo v naših razmerah precej težko predvidimo, saj mora biti temperatura zelo nizka (pod 10°C) vsaj nekaj dni. Kljub temu pa je to omejitvev, ki jo načrtovalci vse pogosteje postavljajo izvajalcem.

1.2.8 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 ostale netržne hlodovine ima še poseben pomen na občutljivih tleh (McDonald T. P. in Seixas F., 1997; Nugent C. in sod., 2003; Tiernan D. 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 L. in Wästerlund I., 2007; Jakobsen B. F. in Greacen E. L., 1985). Zanimivo je, da dobre rezultate daje že relativno tanka preproga sečnih ostankov, debela 20 cm (Eliasson L. in Wästerlund I., 2007). Preproga iz sečnih ostankov je boljša kot preproga iz sekancev, ali žagovine (Akay A. E. 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 M. J. 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 pa dajejo zrezani 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. Prežagovanje na manjše kose nima večjega vpliva na produktivnost. Avtorji tudi ugotavljajo, da stroj za sečnjo lahko naredi zelo kvalitetne 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 slabe. Pomembno je tudi, da preprogo ob morebitnih poškodbah hitro popravimo (Murgatroyd I. in Saunders C., 2005).



Slika 22: Prikaz »W« efekta (Murgatroyd I. in Saunders C., 2005)

Vendar pa je količina sečnih ostankov v 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 A. J. in sod., 2006)

Schäfer (Schäfer V. T. in Sohns D., 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 pa so opazili pri debelini sečnih ostankov med 15 in 25 cm, kjer so opazili 59 % zmanjšanje višine.

McDonald in Seixas (1997) sta ugotavljala vpliv sečnih ostankov na zbitost tal. Rezultati so pokazali, da po enem prehodu zgibnega polprikolničarja 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 J. in sod., 1991) cit. po (von Wilpert K. in Schäffer J., 2006).

1.2.9 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 A. C. in Burt E. C., 1981), svoje mesto pa so si izborile tudi nizkotlačne pnevmatike. Dokazali so, da so nizkotlačne pnevmatike boljše, kot navadne pnevmatike za kmetijstvo (Ryans M., 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 pa so razmere še slabše pa se lahko uporabljajo tudi posebne, flotacijske gosenične verige s širšimi členi (Bygdén G. in sod., 2004; Murgatroyd I. in Saunders C., 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 J. 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 C. in sod., 2003) (Nugent in sod., 2003). V novejši raziskavi pa avtorji zaradi močno zmanjšanih učinkov avtorji odsvetujejo uporabo zmanjšane tovora, kot uporabne možnosti, saj je takšen način dela neučinkovit, poškodbam na tleh pa se še zmeraj težko izognemo (Poršinsky T. 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 E. B. in Humphreys N., 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 nebi 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 nebi 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 tal. Ugotovili so, da je uporabnost goseničnih verig za preprečevanje zbijanja tal zelo velika (Sakai H. in sod., 2008).

1.2.10 Rezultati

Deli tega poglavja poročila so objavljeni v doktorski disertaciji Matevža Miheliča, univ.dipl.inž.gozd. z naslovom »Gospodarnost in okoljski vidiki tehnologij pridobivanja lesnih sekancev za energetske rabo«.

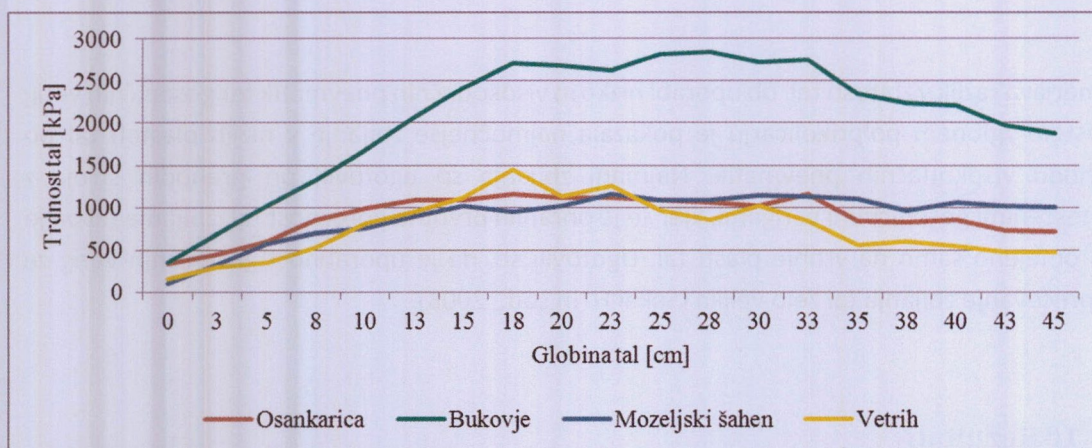
V tem delu poročila podajamo ugotovljene vplive tehnologij na gozdna tla. Metoda za ugotavljanje poškodb tal je bila predstavljena na delavnici v Moravcih (Košir B. in Mihelič M., 2010) in v diplomskem delu (Cerjak B., 2011).

Objekti zajeti v analizi so:

- Osankarica in Vetrih, objekta sta locirana na Pohorju, z globokimi tlemi. Sestoji so močno spremenjeni, na njih prevladuje smreka v razvojni fazi letvenjaka in mlajšega debeljaka,
- Bukovje- objekt je lociran v bližini Dobrovnika. Tla na objektu so globoka sestoj pa je bukov letvenjak,
- Mozelski Šahen in Trije križi sta objekta na apnenčasti podlagi, s plitvimi tlemi. Sestoji na obeh objektih so mlajši smrekovi debeljaki.

1.2.11 Konusni indeks

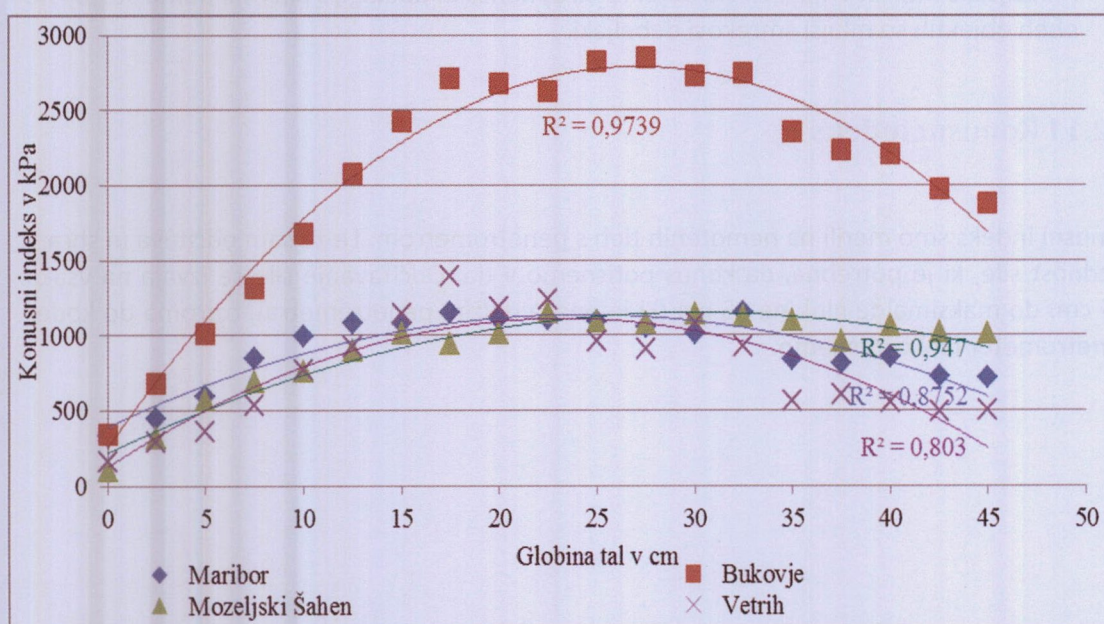
Konusni indeks smo merili na nemotenih tleh s penetrometrom. Le-ta sam odčitava in shrani vrednost sile, ki je potrebna, da konus potisnemo v tla. Odčitavanje sile se izvaja na vsaka 2,5 cm, do maksimalne globine 45 cm (ki je enaka dolžini penetrometra), oziroma do koder penetrometer lahko vtisnemo.



Slika 23: Povprečne vrednosti CI po objektih

Slika prikazuje spreminjanje konusnega indeksa s povečevanjem globine tal po posameznih objektih. 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 B., 2010a; Saarilahti M., 2002a).

Konusni indeks je bil v povprečju največji na Bukovju, kjer smo na določenih globinah izmerili vrednosti, ki so presegale 2500 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. 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. 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.



Slika 24: Trendi upadanja konusnega indeksa z globino tal

Pri vseh objektih z globino tal trdnost najprej narašča, nato pa začne upadati, kar prikazujemo na zgornji sliki. Trend naraščanja in upadanja konusnega indeksa je primerljiv z ugotovitvami tujih raziskav (Nugent C. in sod., 2003).

Najtrdnjša tla smo namerili v Prekmurju, na ostalih treh objektih pa je trdnost tal podobna. Poudarimo naj, da so bile meritve konusnega indeksa opravljene na raščenih tleh, kjer ni bilo vožnje. Zgornja slika torej predstavlja naraščanje konusnega indeksa v odvisnosti od globine tal na naravnih, nemotenih tleh.

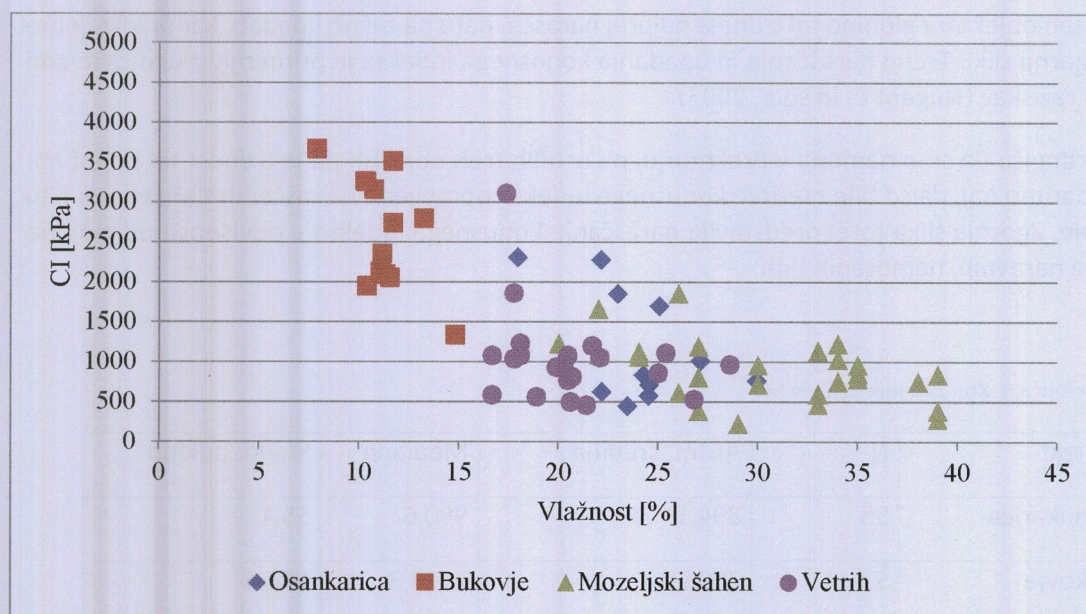
Preglednica 8: Konusni indeks tal v kPa

Objekt	N	Aritm. sredina	Mediana	Stand. odklon
Osankarica	38	894,1	990,6	55,4
Bukovje	57	2068,3	2228,3	172,6
Mozeljski Šahen	40	896,0	1009,1	66,4
Vetrih	24	767,0	772,1	80,6

Podatke smo prikazali še v preglednici, iz katere lahko vidimo da so tla najtrdnjša v Bukovju s povprečno vrednostjo nad 2000 kPa. Najnižji povprečni konusni indeks smo izmerili v Vetrihu, kjer povprečni konusni indeks ni presegel 800 kPa. Najnižji standardni odklon smo dosegli na Pohorju, ki je bil tudi najbolj homogen objekt.

1.2.12 Vlažnost tal

Na trdnost tal vpliva več dejavnikov, eden pomembnejših je vlažnost tal. Vlažnost na objektih smo merili na dva načina. Uporabljali smo vlagomer FieldScout, ki deluje na principu TDR (Time domain reflectometry) tehnologije. Na dveh objektih (Bukovje in Osankarica) smo uporabljali referenčno metodo s Kopeckijevimi cilindri za ugotavljanje navidezne gostote in vlažnosti tal. Meritve so bile izvedene v laboratoriju GIS. Kot ugotavlja Cerjak (Cerjak B., 2011) sta metodi primerljivi, do nekoliko večjega odstopanja je prišlo le na Goričkem. Metoda s cilindri je natančnejša, zato smo na objektih uporabili podatke, ki so bili zbrani po tej metodi. Na objektih, kjer vlažnosti nismo merili na ta način smo uporabili podatke merjene z vlagomerom. Na posameznem profilu smo primerjali izmerjeno vlažnost tal in CI kar prikazujemo na spodnji sliki.

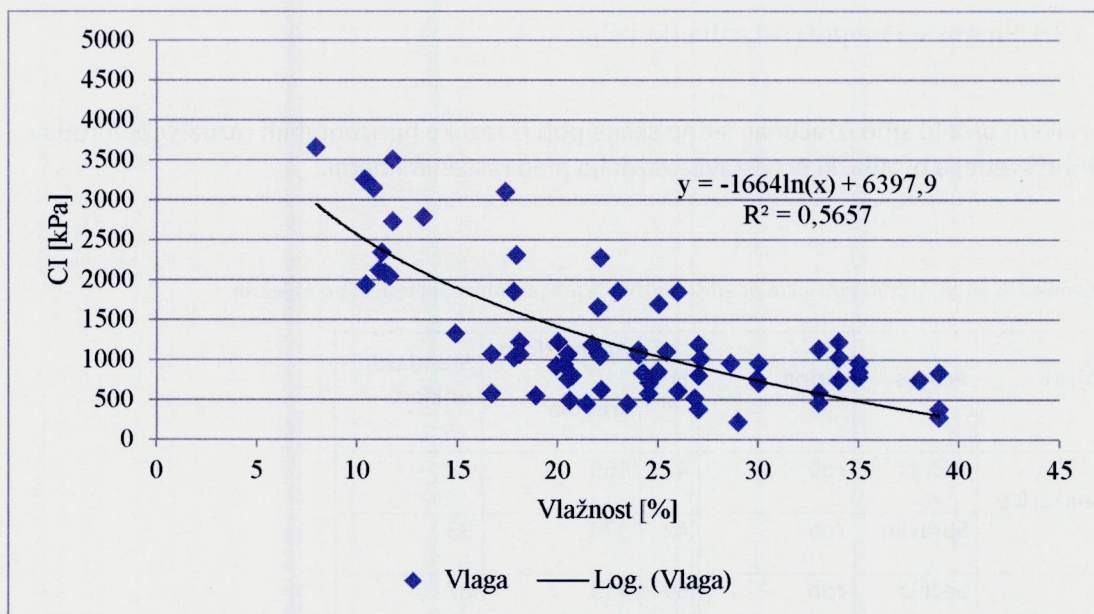


Slika 25: Vrednosti CI glede na vlažnost tal po posameznih objektih

Ugotovimo lahko, da konusni indeks tal s povečevanjem vlažnosti upada. Tla na Goričkem so bila najmanj vlažna in najbolj trdna, sledijo tla v Mislinji in na Pohorju. Najbolj vlažna tla smo namerili v Mozelskem Šahnu, kjer so imela tla tudi najnižjo vrednost CI. V Mozelskem Šahnu je opazen tudi največji raztros vrednosti vlage v tleh pri razmeroma majhnih razlikah v trdnosti tal.

Na nobenem objektu nismo zasledili 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 celo leto lahko trdimo, da je pomanjkanje objektov, spremljanih v mokrem delu leta glavna pomanjkljivost naše baze. V našem podnebnem pasu 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.

V tujih raziskavah ugotavljajo, da sta konusni indeks in vlažnost tal v precej tesni korelaciji (ASAE, 1994; Saarilahti M., 2002a). To odvisnost smo preverili tudi z podatki iz naših objektov.



Slika 26: Vrednosti ugotovljenega konusnega indeksa glede na vlažnost tal

Na zgornji sliki smo podatke vseh izmerjenih konusnih indeksov in vlažnosti na vseh objektih združili v en niz in dodali trendno črto. Že z relativno majnim številom podatkov smo dosegli dobro prilagajanje. Ugotovimo lahko, da se trdnost tal zmanjšuje, če vlažnost tal narašča.

1.2.13 Širina sečne poti

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.

1.2.13.1 Širina sečne poti od roba do roba

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

Preglednica 9: Širine sečnih poti v cm po posameznih fazah pridobivanja lesa in po objektih

Objekt	Proces	Širina	N	Aritmetična sredina	Standardni odklon
Osankarica	Sečnja	rob	42	369	38
	Spravilo	rob	42	370	33
Bukovje	Sečnja	rob	59	415	87
	Spravilo	rob	58	417	75
Mozeljski	Sečnja	rob	31	376	81
Šahen	Spravilo	rob	30	391	98
Trije križi	Sečnja	rob	68	350	79
	Spravilo	rob	75	353	57
Vetrih	Sečnja	rob	82	295	34
	Spravilo	rob	83	314	56

Iz zgornje preglednice je razvidno, da širine sečnih poti nihajo, kljub temu, da je uporabljena mehanizacija enaka. Najširše izmerjene sečne poti so bile v Bukovju. Tla so bila tu najbolj trdna (CI 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 naštetih razlogi zagotovo pripomorejo k povečanju širine sečne poti. Na Osankarici so širine sečnih poti močno manjše, kot v Bukovju, čeprav so na obeh objektih delali isti stroji ter isti strojnik.

Na terenu s trdo matično podlago (Mozeljski 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. Zaradi vseh teh razlogov je razlika med povprečno širino poti na Mozelskem Šahnu (povečanje za 15 cm po sečnji in spravilu) precej večja, kot na Treh križih (povečanje za 3 cm). Vplivov na povečanje širine sečne poti je več, vsekakor močno vpliva priprave objekta (trasiranje sečnih poti in odkazilo) ter razliki 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, vso spravilo pa drugi- na celotnem objektu sta torej delala le dva človeka. Naj še omenimo, da so strojniki na Mozelskem Šahnu bili manj motivirani za dobro delo, kot na Treh križih.

Sečne poti v Vetrihu so od vseh objektov najožje, a tu je delal tudi najmanjši stroj, zato je tudi širina najmanjša.

Sečne poti na večini objektov so v povprečju širše po pravilu, kot po sečnji. Na objektu Osankarica je sečna pot po pravilu v povprečju širša za 1 cm, v Bukovju za 2 cm, na Treh križih za 3 cm, v Mozelskem Šahnu pa za 15 cm. Na Vetrihu je razlika največja, sečna pot se je po pravilu v povprečju razširila za 19 cm. Razlike lahko razložimo z več vplivi. 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 Mozelskem 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 polprikolničar, ki je manj okreten dodal pomemben delež k končni širini poti.

Z linearno regresijo smo preverili vpliv števila prehodov obeh strojev na globino kolesnic po obeh procesih. Testi niso pokazali statistično značilnih razlik ($R=0,108$).

V nadaljevanju smo preverili, kakšne spremembe širine poti se dogajajo znotraj posameznih profilov.

Preglednica 10: Deleži s profilov s spremembo širine sečne poti po posameznih delovnih fazah

Objekt	Širina	Enaka	Manjša	Večja
Osankarica	rob	64%	21%	14%
Bukovje	rob	20%	46%	34%
Mozelski Šahen	rob	6%	52%	42%
Trije križi	rob	1%	59%	40%
Vetrih	rob	1%	62%	37%

Kot je razvidno iz zgornje preglednice se lahko izmerjena širina poti poveča, ali pa zmanjša. Prikazana je sprememba širine sečne poti med delovnimi fazami. Primerjali smo torej širino po sečnji s širino poti po pravilu lesa. Največ enakih profilov na objektih lahko zasledimo na Osankarici in Bukovju, 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 pravilu lesa, deleži profilov, ki so večji ali manjši 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 (Mozelski Šahen, Trije križi in Vetrihu) lahko vidimo, da je zelo malo profilov, ki so ostali nespremenjeni. Delež profilov, ki so ostali nespremenjeni je na vseh treh objektih majhen. Zanimivo je, da je na vseh treh objektih več profilov, ki so ožji po pravilu lesa, kot profilov, ki so po pravilu širši, čeprav v povprečju prevlada večja širina sečnih poti. Delež takšnih profilov je najvišji v Vetrihu.

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.

Zaradi boljše preglednosti in lažjega predstavitve podatkov smo izračunali tudi koeficiente širine sečnih poti glede na širino stroja.

Preglednica 11: 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 zgornje preglednice 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 vrednosti širine sečnih poti po sečnji in spravilu so na vseh objektih večje po spravilu, kot po sečnji. Minimalne povprečne vrednosti koeficienta širine poti presegajo širino stroja na Osankarici, v Bukovju in v Mozeljskem Šahnu, medtem ko so bili ožji profili opaženi na Treh križih in v Vetrihu. Odstopanja od širine stroja navzdol so majhna in se pojavljajo na istih profilih. Na večini teh profilov se pojavijo štori, ki lahko povzročijo manjšo širino sečne poti.

Pri koeficientih maksimalnih širin vrednosti lahko ugotovimo, da so na nekaterih profilih sečne poti lahko zelo razširjene, čeprav je povprečna širina sečne poti bistveno manjša.

Primerjava širine povprečnega profila po spraviu z najširšim profilom na objektu pokaže, da je širina sečne poti na najširšem profilu vedno večja kot povprečna širina sečne poti na objektu. Največje razlike 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.

Če primerjamo širino povprečnega profila po spraviu z najširšim profilom v Bukovju lahko ugotovimo, da je širina sečne poti na najširšem profilu za 1,25 večja kot povprečna širina sečne poti na objektu. Enako razliko lahko opazimo tudi v Mozeljskem Šahnu. Ti razliki sta hkrati največji od vseh objektov. Zanimivo je, da smo enake razpone širin sečnih poti na dveh zelo različnih objektih- v Mozeljskem 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 neposrečeno 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 poizkusil premagati strmino.

1.2.13.2 Širina svetlega profila

Širine svetlega profila se na vseh objektih po vsaki spravilni fazi 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 12: Širine svetlega profila po posameznih fazah pridobivanja lesa in po objektih

Objekt	Proces	Širina	N	Aritmetična sredina v cm	Standardni odklon
Osankarica	Sečnja	svetli profil	42	764	144
	Spravilo	svetli profil	42	792	100
Bukovje	Sečnja	svetli profil	59	693	106
	Spravilo	svetli profil	58	720	103
Mozeljski Šahen	Sečnja	svetli profil	31	685	109
	Spravilo	svetli profil	30	673	115
Trije križi	Sečnja	svetli profil	80	432	211
	Spravilo	svetli profil	76	494	108
Vetrih	Sečnja	svetli profil	82	459	76
	Spravilo	svetli profil	83	483	107

V nasprotju s širino sečne poti je 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 %, večjih širin 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. Mozelski Šahen in Vetrih imata najmanj širin svetlih profilov, ki so ostale enake po naslednji fazi dela. Povečanje svetle širine profilov je največje v Mozelskem Šahnu (45 %), zmanjšanje svetlih profilov pa je največje na Vetrihu (60 %).

Preglednica 13: Deleži s profilov s svetlih profilov po posameznih procesih

Objekt	Širina	Enaka	Manjša	Večja
Osankarica	svetli profil	93%	7%	0%
Bukovje	svetli profil	49%	36%	15%
Mozelski Šahen	svetli profil	26%	29%	45%
Trije križi	svetli profil	53%	24%	24%
Vetrih	svetli profil	12%	60%	28%

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 spravi lesa kar 45 %. Razumljivo je, da zgibni polprikoličar v svetli profil posega manj, kot stroj za sečnjo, saj ima tudi bistveno krajše hidravlično dvigalo.

1.2.13.3 Primerjave širine sečnih poti

V nadaljevanju smo skušali bolj natančno obdelati podatke. Naredili smo test normalnosti porazdelitve in test homogenost varianc, z namenom, da izberemo primerno metodo za obdelavo podatkov. Test normalnosti je pokazal nenormalno porazdelitev podatkov glede na fazo in glede na raziskovani objekt. Ko smo testirali homogenost varianc glede na tehnološko fazo, smo ugotovili, da so variance homogene, kar pa ni držalo za podatke, razporejene glede na fazo. Zato smo se odločili za uporabo neparametričnih testov.

Zanimalo nas je ali obstajajo statistično značilne razlike med širinami sečnih poti po sečnji in po spravi. Z Wilcoxon-ovim testom smo ugotovili, da so razlike v širini robov sečnih poti po sečnji in po spravi statično značilne na objektih Trije križi ($Z = -2,249$, $p < 0,05$) in Vetrih ($Z = -3,272$, $p < 0,001$). Razlike na ostalih objektih niso bile značilne.

Preglednica 14: Testiranje razlik v širini robov sečnih poti po sečnji in po spravilu z Wilxon-ovim testom

Objekt	Širina sečne poti	N	Z	Značilnost
Osankarica	Sečnja-Spravilo	42	-0,511	0,609
Mozeljski Šahen	Sečnja-Spravilo	30	-1,196	0,232
Bukovje	Sečnja-Spravilo	58	-1,256	0,209
Trije križi	Sečnja-Spravilo	64	-2,249	0,025
Vetrih	Sečnja-Spravilo	81	-3,272	0,001

Test značilnosti razlik med svetlimi profili je pokazal statistično značilne razlike v širinah na objektih Bukovje ($Z = -2,630$, $p < 0,05$) in Vetrih ($Z = -3,573$, $p < 0,0001$). Na ostalih objektih razlike niso bile statistično značilne.

Preglednica 15: Testiranje razlik v širini svetlega profila po sečnji in po spravilu

Objekt	Širina svetlega profila	N	Z	Značilnost
Osankarica	Sečnja-Spravilo	42	-1,633	0,102
Mozeljski Šahen	Sečnja-Spravilo	30	-0,748	0,454
Bukovje	Sečnja-Spravilo	58	-2,630	0,009
Trije križi	Sečnja-Spravilo	64	-0,980	0,328
Vetrih	Sečnja-Spravilo	81	-3,573	0,000

Zanimalo nas je tudi, ali konusni indeks vpliva na širino sečne poti. To smo preverili z analizo variance in ugotovili, da konusni indeks ne vpliva na širino sečnih poti. Rezultate analize prikazujemo v spodnji preglednici.

Preglednica 16: Vpliv konusnega indeksa na širino poti

Model	Nestandardizirani koeficienti		Standardizirani koeficienti	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
Konstanta	345,433	11,649		29,655	0,000
CI	0,020	0,007	0,235	2,979	0,003

1.2.14 Motena površina na objektih

Kot smo že omenili nas zanima tudi delež motene površine. Delež motene površine se spreminja v glede na način gojenja gozdov (pri golosečnih sistemih je ponavadi motena površina večja), intenzitete posegov in uporabljene tehnologije. Načina dela, priprave dela in izkušenosti ter motivacije delavcev seveda ne gre zanemariti.

V spodnji preglednici 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 17: Delitev kolesnic na tipe glede na njihovo globino

Objekt	Proces	Povp. širina sečne poti [m]	Dolžina prometnice [m]	Motena površina [m ²]	Motena površina [m ² /ha]	Površina [%/ha]
Osankarica	Sečnja	3,69	477	1760	1467	14,67
	Spravilo	3,7	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	3,5	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 oziroma 20,6 % površine. Sledijo Trije križi, kjer je bilo motene površine po sečnji 20,8 %, po spravilu pa 21 %. 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.

Površina motenih tal v naši raziskavi manjša, kot to navajajo tuji avtorji. Wronski (Wronski E. B., 1984) ugotavlja, da je po tehnologiji sečne z motorno žago in spravila z zgibnim polprikoličarjem na objektu bilo motenih 23 % površine.

V drugi raziskavi (Wood M. J. in sod., 2003) tehnologije strojne sečnje in izvoza lesa z stroji, ki so bili manjši od naših navaja moteno površino na objektu v razponu od 33 - 55 %. O manjši moteni površini poroča le raziskava iz ZDA (Vidrine C. G. in sod., 1999), kjer poročajo o moteni površini med 10 in 12 %, a metodologije ugotavljanja poškodb nista primerljivi. Gre namreč za količino velikih poškodb.

Pri tehnologijah kratkega lesa so v ZDA (Bettinger P. in Kellogg L. D., 1993) po sečnji s strojem Timberjack 2518 in izvozu lesa z FMG910 ugotovili, da je bilo 22,5 % sestoja sečnih poti in cest. V drugi raziskavi (McNeel J. F. in Ballard T. M., 1992) pri delu s strojno sečnjo pa poročajo o uporabi 19,7 % površine sestoja za sečne poti. V ta odstotek niso vštete gozdne ceste.

1.2.15 Globina kolesnic glede na os profila

Globine kolesnice na posameznem profilu smo izračunali iz podatkov o vertikalnih razdaljah. Globine kolesnic smo izračunali 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 in prosti člen n pa smo izračunali iz podatkov.

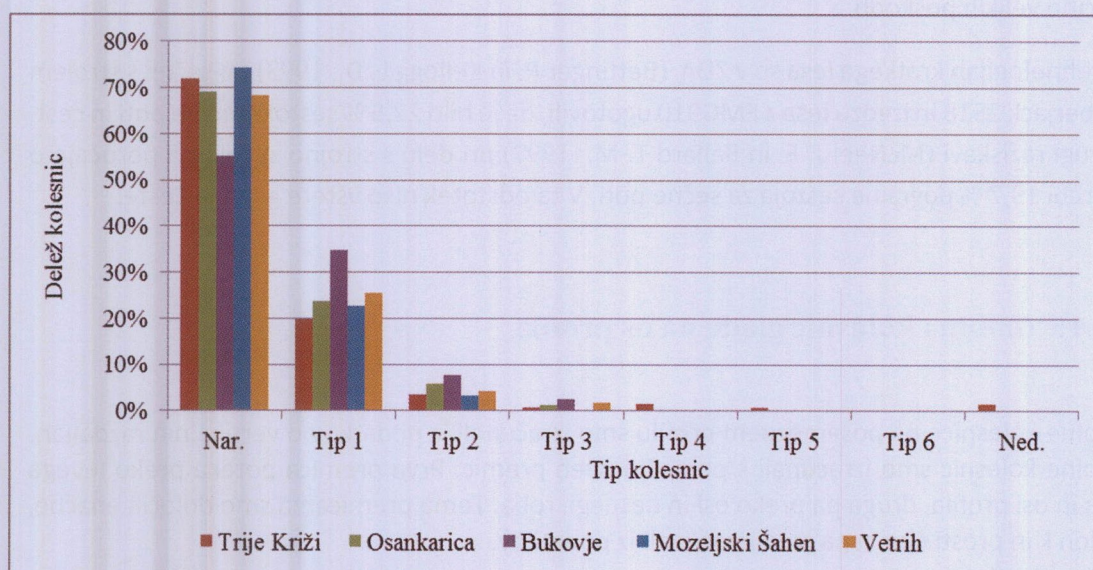
$$Y = k \cdot x + n$$

Ti dve premici sta na profilu predstavljalni 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. Prvi tip smo poimenovali narinjeno, kar pomeni, da je ta razred zajemal vse kolesnice z globino 0 in več. Zadnji tip smo označili kot nedovoljen, sem so padle vse vrednosti, nad in vključno s 30 cm.

Preglednica 18: Delitev kolesnic na tipe glede na njihovo globino

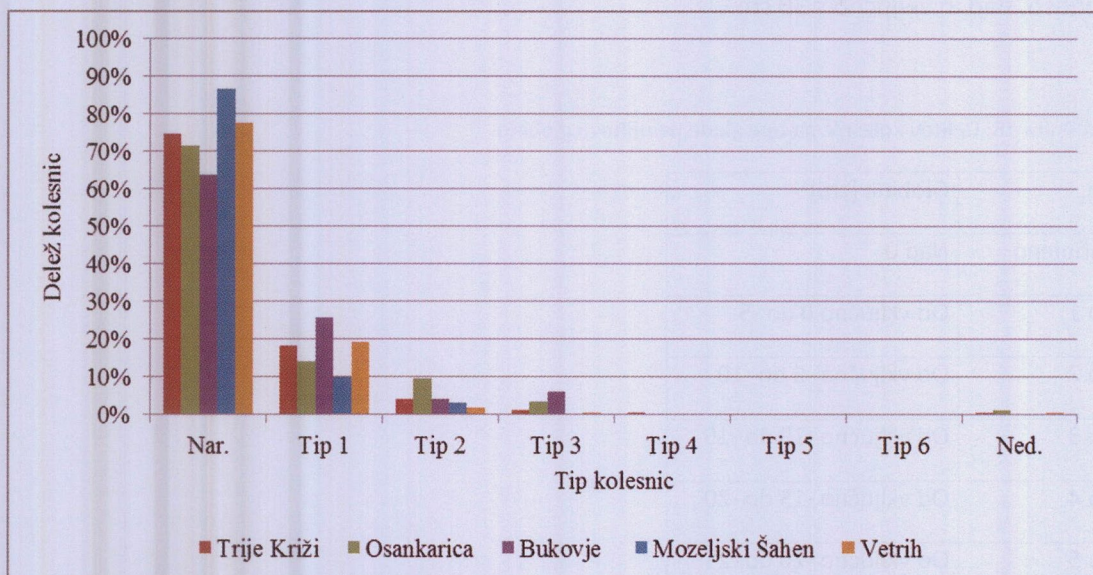
Tip	Globina [cm]
Narinjeno	Nad 0
Tip 1	Od vključno 0 do -5
Tip 2	Od vključno -5 do -10
Tip 3	Od vključno -10 do -15
Tip 4	Od vključno -15 do -20
Tip 5	Od vključno -20 do -25
Tip 6	Od vključno -25 do -30
Nedovoljeno	Manj od vključno -30

Na objektih izmerjene vrednosti smo nato razporedili po zgornjih tipih. Primerjavo med objekti prikazujemo na spodnjih slikah.



Slika 27: Primerjava globin kolesnic po objektih po sečnji

Razvidno je, da največji delež kolesnic pri večini objektov predstavljajo narinjene kolesnice. Tem sledita tip kolesnice 1 in 2, delež globnih kolesnic pa je nato vse manjši in pada vse do zadnjega, nedovoljenega tipa.

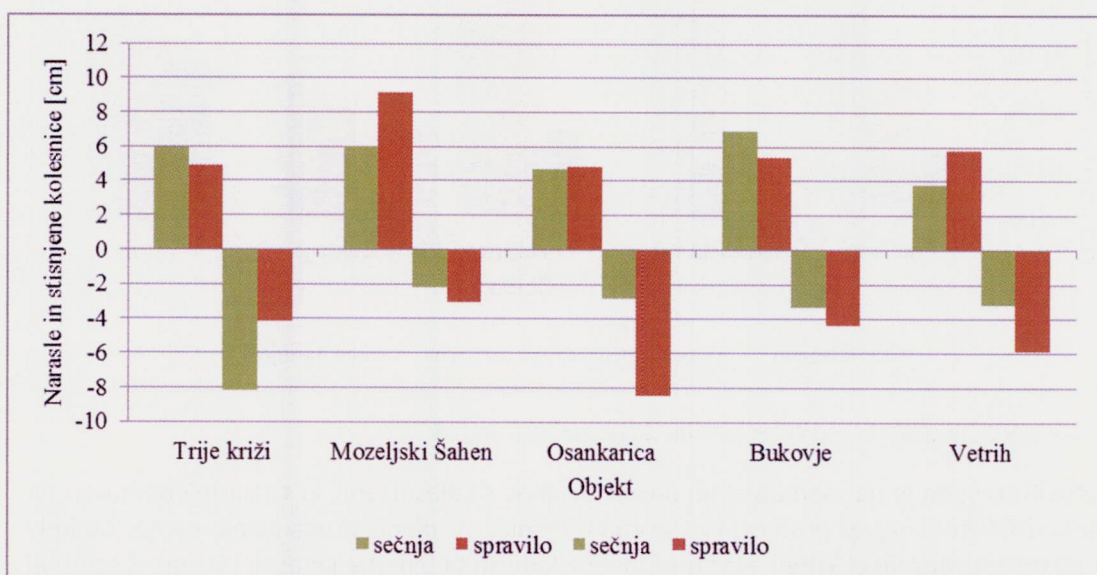


Slika 28: Primerjava globin kolesnic po objektih po spravilu

Primerjava podatkov o globinah kolesnic po sečnji in po spravilu kaže, da se delež narinjenih kolesnic po spravilo 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 po spravilu ni več. Zelo zanimiva je tudi razporeditev kolesnic, saj je velika večina kolesnic narinjena in ne stisnjena, kot bi morda pričakovali.

Iz slik 27 in **Error! Reference source not found.** 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 po tipih.



Slika 29: Povprečna narasla in stisnjena kolesnica na objektu glede na fazo delovne operacije

Iz zgornje slike je razvidno, da se povprečne velikosti narinjenih in stisnjenih kolesnic zelo različno spreminjajo.

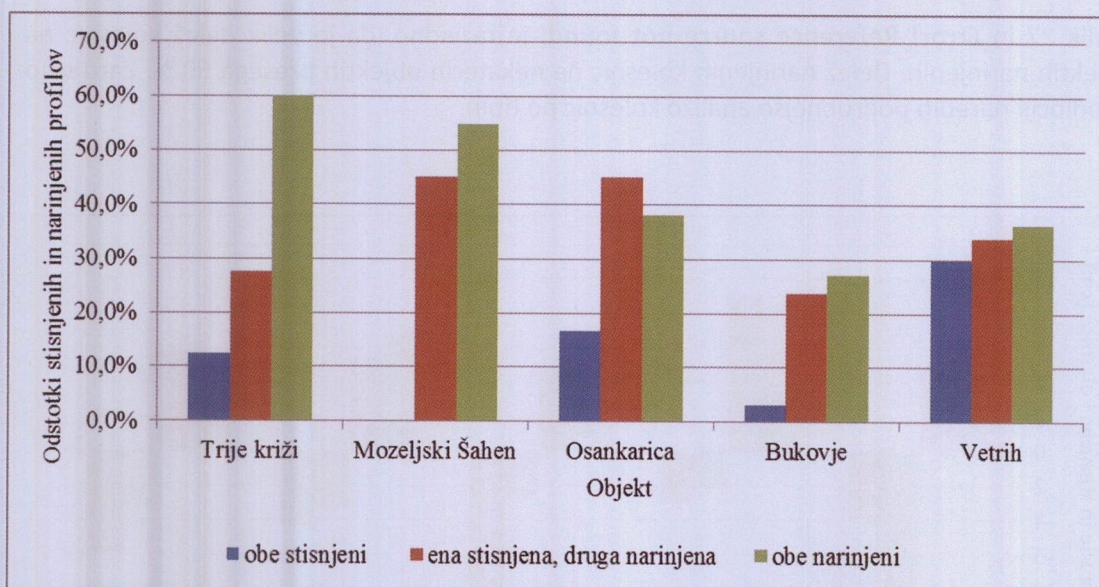
Na Treh križih je bila po sečnji povprečna kolesnica bolj stisnjena, kot narinjena, po spravilu pa se je situacija obrnila. Na Mozelskem Šahnu je po sečnji je bila povprečna kolesnica bolj narinjena, kot stisnjena, po spravilu pa se je ta razlika še povečala- na povprečna narinjena kolesnica na objektu 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 spravilu močno poveča. Na tem objektu je povprečna stisnjena kolesnica po spravilu bistveno globlja od višine narinjene kolesnice. Po sečnji razlika ni bila 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 spravilu, 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 spravilu enaki- narinjena je visoka 6 cm, medtem, ko je stisnjena globoka 6 cm.

Preverili smo še, kakšni so deleži stisnjenih in narinjenih kolesnic po posameznih profilih, saj smo domnevali, da je veliko profilov, ki se na eni kolesnici stisnejo, na drugi pa se narinejo.



Slika 30: Deleži stisnjenih in narinjenih kolesnic po posameznih profilih

Ugotovili smo, da je na vseh objektih največ profilov s kolesnicami, ki so narinjene, razen na Osankarici, kjer je največ profilov, kjer je ena kolesnica stisnjena, druga pa narinjena. Zanimiv je tudi objekt Mozeljski Šahen, kjer profilov, na katerih bi bili obe kolesnici stisnjeni sploh ni bilo. V splošnem lahko trdimo, da je največ profilov, na katerih sta obe kolesnici narinjeni, sledijo profili z eno stisnjeno in drugo narinjeno kolesnico, najmanj pa je profilov, kjer sta obe kolesnici stisnjeni.

Testirali smo tudi obstoj statistično značilnih razlik med globino kolesnic po sečnji in po spravilu. Spremembo v globini kolesnic smo testirali s pomočjo Wilcoxon-ovega testa. Test ni pokazal značilnih razlik v spremembi globini kolesnice po različnih delovnih fazah na nobenem od objektov. Rezultate testa prikazujemo v spodnji preglednici.

Preglednica 19: Testiranje razlik v globini kolesnic po sečnji in po spravilu z Wilcoxon testom

Objekt	Globina kolesnic	N	Z	Značilnost
Osankarica	Sečnja-Spravilo	84	-0,066	0,947
Mozeljski Šahen	Sečnja-Spravilo	60	-4,075	0,000
Bukovje	Sečnja-Spravilo	116	-0,313	0,755
Trije križi	Sečnja-Spravilo	123	-1,294	0,196
Vetrih	Sečnja-Spravilo	159	-3,646	0,000
Rog	Sečnja-Spravilo	68	-4,430	0,000

Rezultati meritev globine kolesnic pokažejo, da je na objektih večje število narinjenih, kot stisnjenih kolesnic. Na večini objektov je večina kolesnic narinjenih. V Mozelskem Šahnu je po spravilu bilo 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 pa 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 faktor (poleg vozila in tipa tal) najpomembnejši pri za tvorjenje kolesnic (Liu K. in sod., 2010).

Hrvaški poskusi ugotavljanja globin kolesnic (Poršinsky T., 2005) so potekali v psevdolgejih, 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 pa je znašal 38,5 %.

Iz tuje literature je znanih več primerov ugotavljanja globine kolesnic. Tudi tukaj so poizkuse izvajali v večjih vlažnostih tal (Bygdén G. in sod., 2004) so izvajali meritve pri 47,9 - 61,8 % vlažnosti. Konusni indeks tal je bil manjši, v povprečju med 350 in 450 kPa.

Na Irskem (Nugent C. in sod., 2003) so poizkuse 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 C. G. 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 Y. in Katarov V., 2010) so ugotavljali globino kolesnic v meljasto-ilovnatih tleh. Vlažnost tal je nihala med 80 in 93 %. Objekti med seboj niso primerljivi.

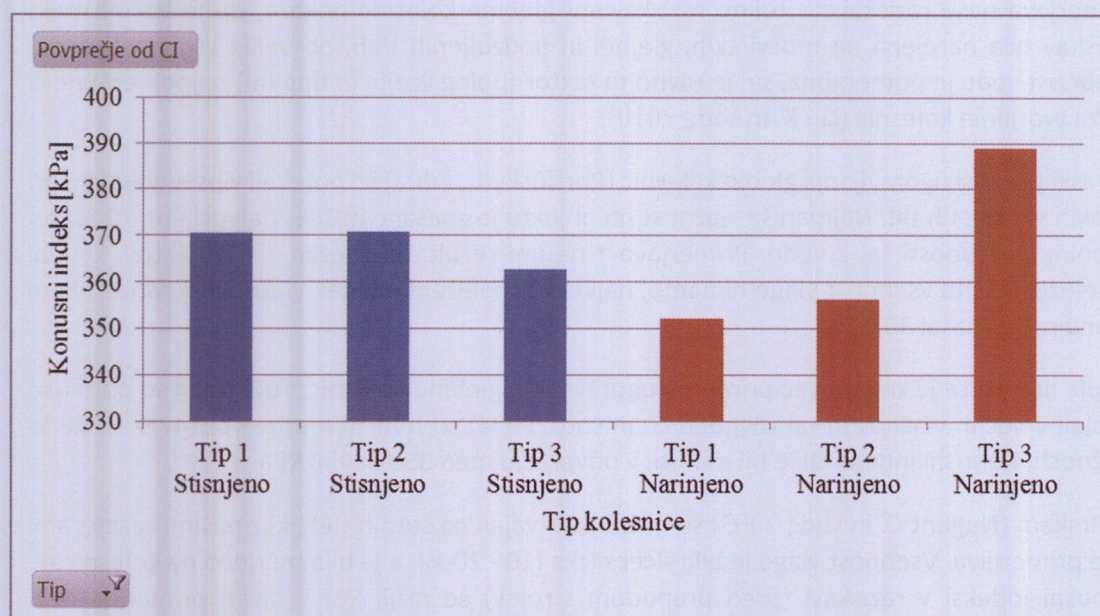
Povzamemo lahko, da so vse nam dostopne tuje raziskave narejene v tleh, ki so drugačna od naših objektov. Poleg tega so vsi poskusi iz tujine obravnavali poškodbe tal na zelo občutljivih tleh. Tla na naših objektih so sicer problematična, saj so globoka, niso pa tako mehka, kot je to v primerih iz tuje 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.

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 T., 2005; Saarilahti M., 2002a). Zato smo na spodnji sliki prikazali povprečni konusni indeks glede na posamezen tip kolesnice. Na sliki 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 - 5 cm), tip 2 (od 5 - 10 cm) in tip 3 (od 10 - 15 cm).



Slika 31: Povprečni konusni indeks na posameznem tipu kolesnice za vse objekte

Pri stisnjenih kolesnicah je razvidno, da konusni indeks z 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.

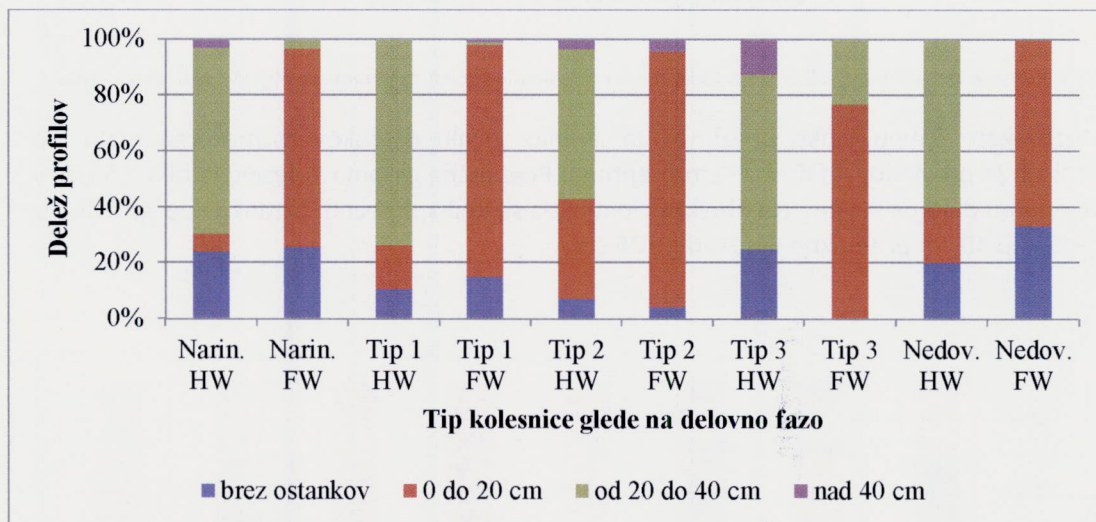
Pri narinjenih kolesnicah je situacija obrnjena. Pri narinjenih kolesnicah, ki ustrezajo tipu 1 je povprečni konusni indeks znašal le 352,3 kPa, pri tipu 2 356,3 kPa, pri tipu 3- torej najbolj narinjenih kolesnicah pa je bil povprečni konusni indeks največji in je znašal 389,0 kPa. Ugotovimo lahko, da se povprečni konusni indeks s povečevanjem narinjenosti tal povečuje. Sledeči rezultat podpira našo trditev o nastanku narinjenih kolesnic.

1.2.16 Vpliv sečnih ostankov na globino kolesnic

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.

1.2.16.1 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 spodnji sliki prikazujemo tipe kolesnic po sečnji in po spraviu z deleži različnih debelin sečnih ostankov. Tipe kolesnic 4, 5, 6 smo izločili iz obdelave podatkov, saj je takšnih profilov premalo.



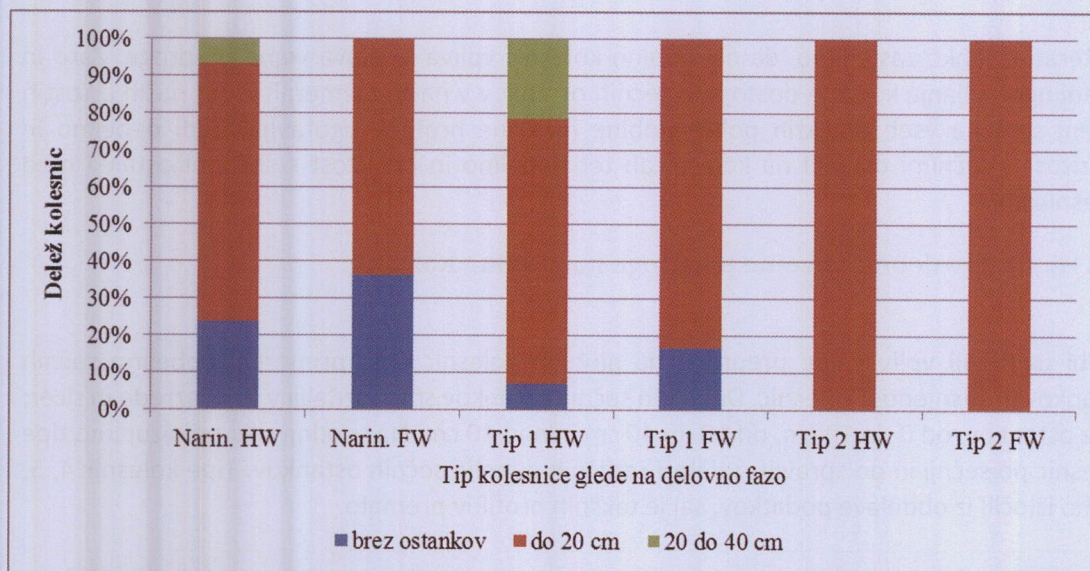
Slika 32: Porazdelitev globine kolesnic po tipih glede na debelino sečnih ostankov (skupaj)

Prevladujoča debelina sečnih ostankov na vseh objektih po sečnji je v razredu od 20 - 40 cm, sledi mu razred od 0 – 20 cm. Razreda nad 40 cm je malo, pojavlja se samo po sečnji. Po spraviu se razmerje spremeni. Največ je sečnih ostankov v razredu od 0 – 20 cm. Pri sečnji prevladujoči razred od 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 pravih sredstva sečni ostanki zbirajo in zato padejo razred nižje, torej v razred med 0 in 20 cm. Debelina vejne preproge se torej z večanjem števila prehodov zmanjšuje.

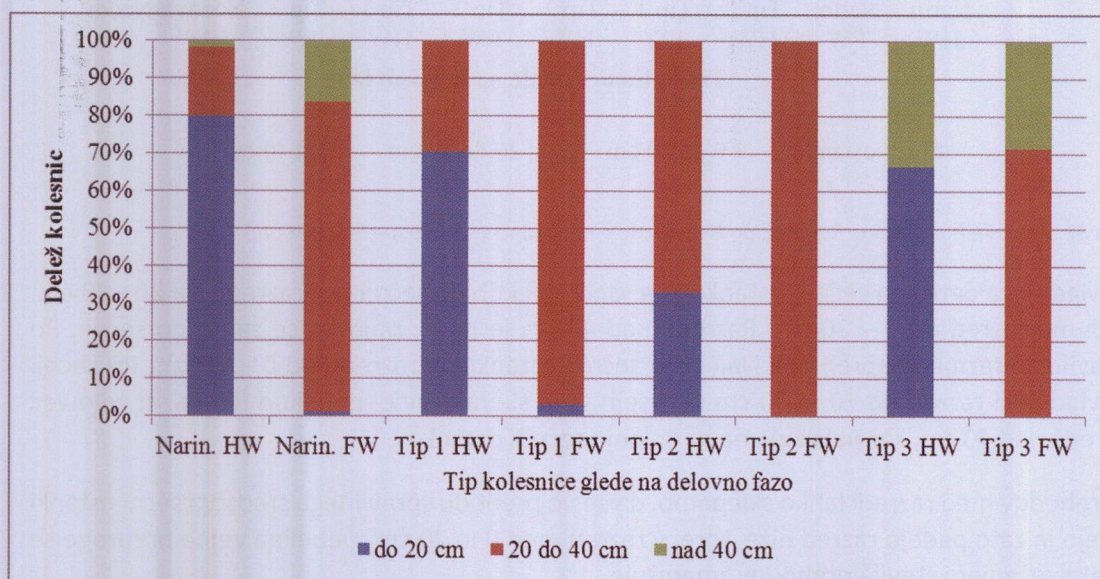
Delež kolesnic brez sečnih ostankov ostaja med obema fazama približno enak, kot je pričakovano, odkloni so najverjetneje posledica horizontalnih premikov po prometnici. Pri nedovoljenem tipu opazimo največ profilov brez sečnih ostankov in tudi relativno najmanjšo povprečno debelino odeje, kar je v skladu s pričakovanji.

Spreminjanje debeline sečnih ostankov smo se odločili bolj podrobno preveriti tudi na posameznih objektih, zato nas je zanimala porazdelitev sečnih ostankov na vsakem objektu posebej.



Slika 33: Porazdelitev globine kolesnic po tipih glede na debelino sečnih ostankov na objektu Mozeljski Šahen

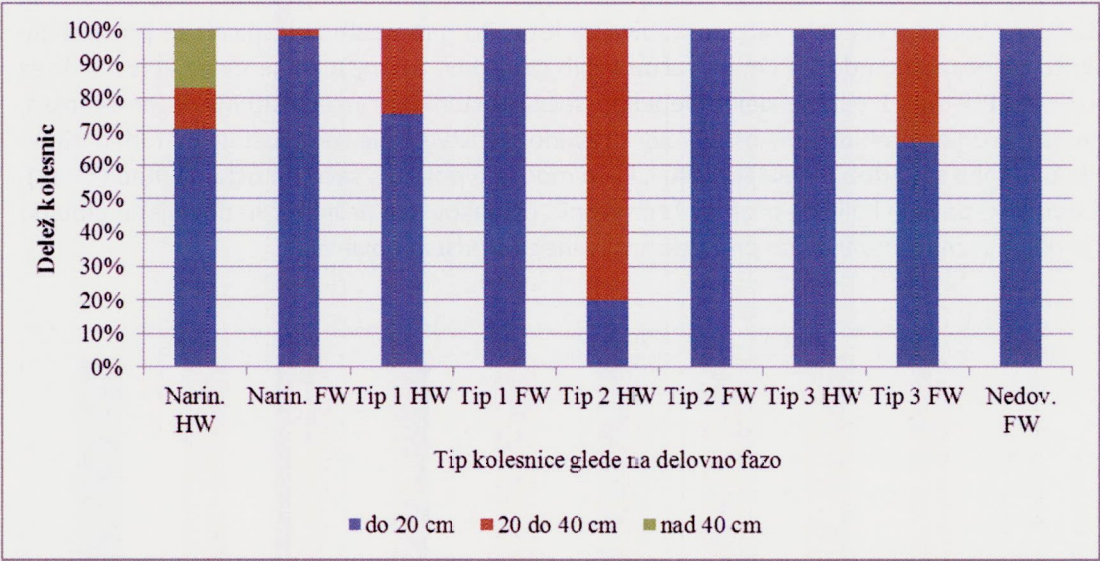
V Mozeljskem Šahnu lahko opazimo, da je bilo sečnih ostankov razmeroma malo, na kolesnicah je prevladovala do 20 - cm preproga. Povprečna globina kolesnic je bila 7,5 cm, v narinjenemu delu pa 9,1 cm. Na objektu vidimo, da se količina sečnih ostankov po spravi iz razreda nad 40 cm premakne v razred do 20 cm.



Slika 34: Porazdelitev globine kolesnic po tipih glede na debelino sečnih ostankov na objektu Bukovje

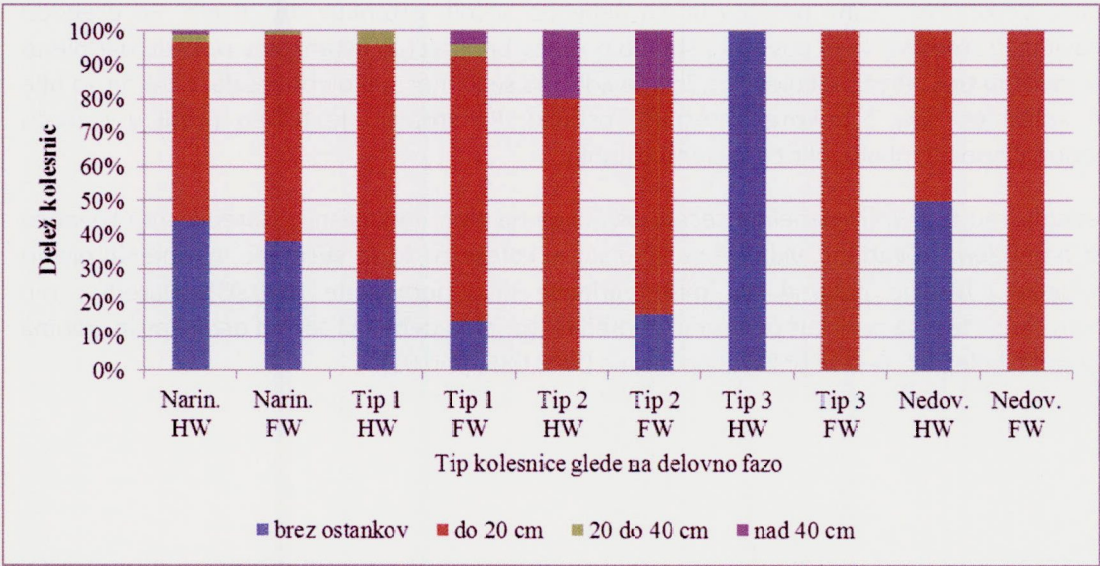
V Prekmurju je prevladovala vejnata preproga, debela do 20 cm. Sečnih ostankov je bilo dovolj, tako da golih tal skoraj ni bilo. Vidimo lahko, da so vejnate preproge po sečnji debelejšje kot po spravi. Debeline sečnih ostankov več kot 40 cm po spravi ni več, pojavijo pa se

profili, na katerih sečnih ostankov ni. Večji poškodbe tal na objektu ni, večina kolesnic na objektu je v tipu 1 in 2.



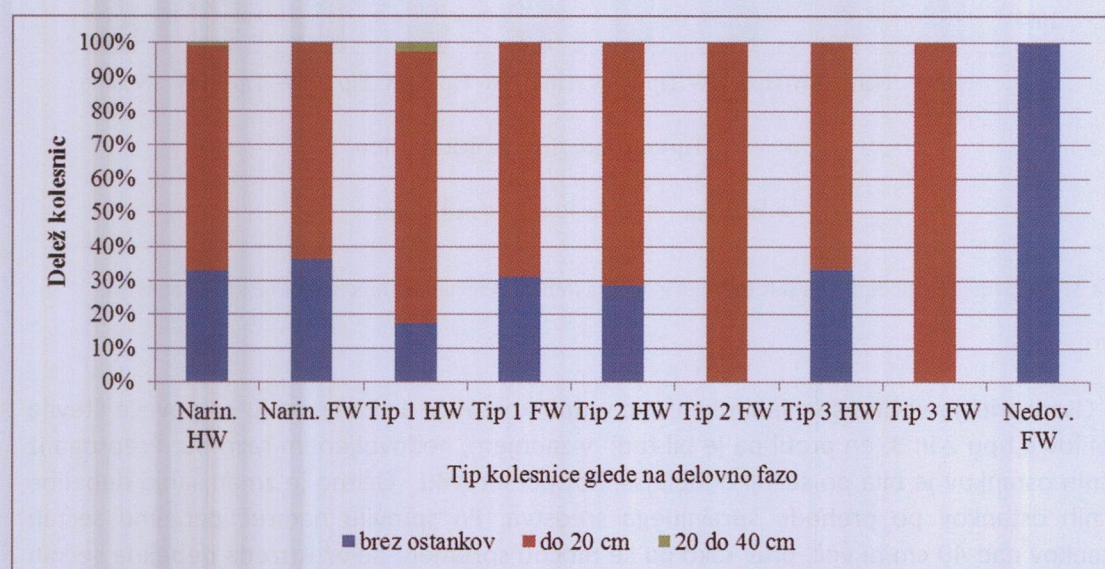
Slika 35: Porazdelitev globine kolesnic po tipih glede na debelino sečnih ostankov na objektu Osankarica

Na Osankarici je večina stisnjenih kolesnic v tipu kolesnice 1. Po spravi se poveča število profilov v tipu 2 in 3, en profil pa je bil tudi v zadnjem, nedovoljenem razredu. Preproga iz sečnih ostankov je bila po sečni debelejša, kot po spravi. Očitno je zmanjšanje debeline sečnih ostankov po prehodu spravnega sredstva. Po spravi namreč debeline sečnih ostankov nad 40 cm ni več, prav tako pa se močno spremeni delež razreda debeline sečnih ostankov od 20 - 40 cm. Le-ta se zmanjša, razen pri tipu kolesnice 3, kamor je stroj narinil ostanke iz drugih profilov.



Slika 36: Porazdelitev globine kolesnic po tipih glede na debelino sečnih ostankov na objektu Trije križi

Nekoliko bolj raznolik je prikaz debeline odeje sečnih ostankov na Treh križih, kar ni čudno, saj je to naš največji objekt. Tu najdemo več tipov kolesnic in več različnih debelin sečnih ostankov, kot na ostalih objektih. Tudi tukaj je opazen trend zmanjševanja debeline sečnih ostankov z vsako naslednjo fazo pridobivanja lesa. Pri narinjenih kolesnicah se po spravi poveča delež razreda do 20 cm na račun višjih razredov, zmanjša pa se delež kolesnic brez ostankov. Pri tipu 1 ostane delež debeline sečnih ostankov razreda 20-40 nespremenjen, zmanjša se delež profilov brez ostankov, pravilno sredstvo pa je nekaj ostankov tudi narinilo na kup in tako smo dobili nekaj profilov, ki so močnejše pokriti s sečnimi ostanki (nad 40 cm). Pri tipu 2 se poveča količina profilov brez sečnih ostankov. Na profilih z nedovoljeno globino se je delež sečnih ostankov po prehodu pravičnega sredstva povečal.



Slika 37: Porazdelitev globine kolesnic po tipih glede na debelino sečnih ostankov na objektu Vetrih

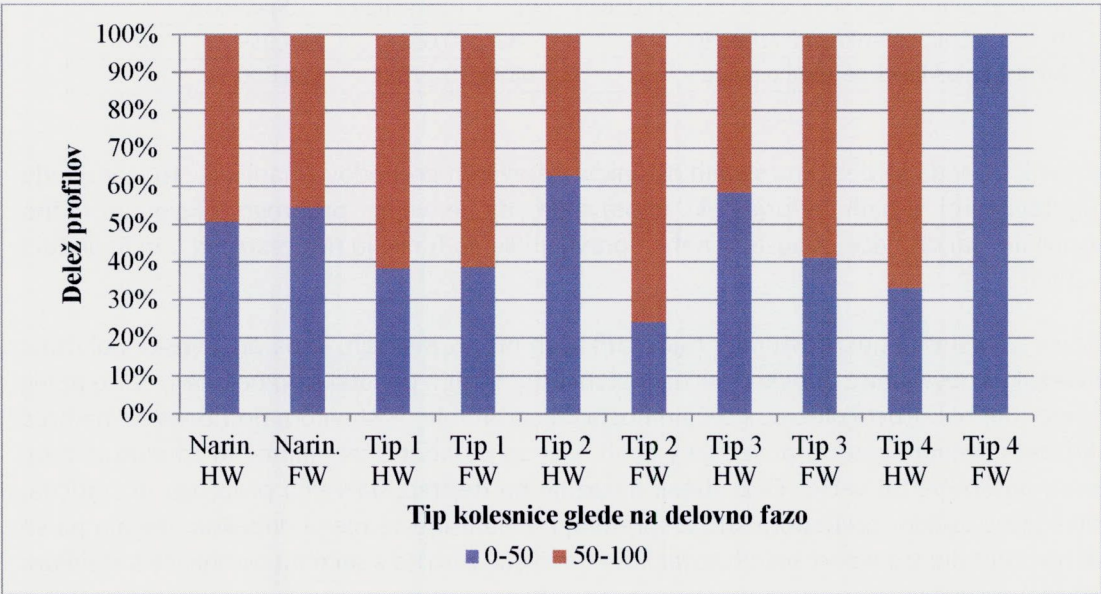
Tudi v Vetrihu je večina profilov imela debelino sečnih ostankov do 20 cm. Po prehodu pravičnega sredstva se je povečalo število profilov brez sečnih ostankov v razredu narinjeno in v razredu tip1. Pri tipu kolesnice 2 se je količina sečnih ostankov povečala, tako da so bile vse kolesnice tipa 2 pokrite s sečnimi ostanki. Po spravi je bil en profil v razredu »nedovoljeno« in ni bil pokrit s sečnimi ostanki.

Preverili smo tudi vpliv debeline sečnih ostankov na globino kolesnic. Naredili smo Levenov test homogenosti varianc, vključili pa smo samo kolesnice, ki so stisnjene, narinjenih nismo upoštevali. Test je pokazal, da naše variance niso homogene ($p > 0,05$). Naredili smo Spearmanov test za preizkus povezanosti med faktorjema debelina sečnih ostankov in globina stisnjenih kolesnic. Test ni pokazal povezave ($r = -0,085$, $p > 0,05$).

1.2.16.2 Vpliv pokritosti kolesnic na globino kolesnic

Zanimala nas je tudi povezava 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 vzeli za mero. Deleže smo nato združili v razrede 0 – 50% in od 50 – 100%.

Deleže profilov po pokritosti s sečnimi ostanki smo primerjali s tipom kolesnice, podatke smo prikazali na grafikonu.



Slika 38: Porazdelitev globine kolesnic po tipih glede na pokritost s sečnimi ostanki (skupaj)

Iz zgornjega grafikona lahko ugotovimo predvsem to, da se po spravi delež pokritosti kolesnic s sečnimi ostanki poveča. Izjema so tipi kolesnice 4, 5 in 6, kjer je pokritost kolesnice s sečnimi ostanki po spravi manjša kot po sečnji. Povečanje površine pokritosti kolesnic lahko pripišemo dejstvu, da se sečni ostanki po več prehodih razporedijo po večji površini. Po spravi 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 spravi 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.

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. Po temu 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 pa je tudi ta rezultat v skladu s pričakovanji, čeprav kaže manjšo povezanost.

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

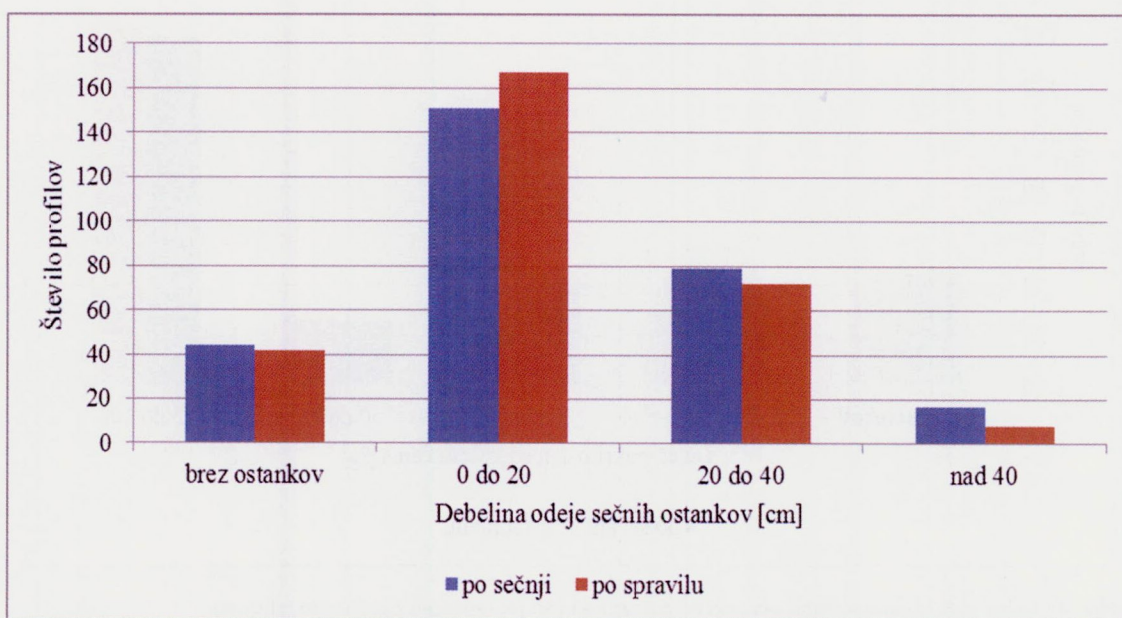
Ugotovili smo, da se debelina sečnih ostankov s številom prehodov zmanjšuje. To je v skladu z ugotovitvami drugih avtorjev, ki ugotavljajo, da je vejno preprogo potrebno redno popravljati, saj drugače popusti in neha opravljati svojo funkcijo (Murgatroyd I. in Saunders C., 2005).

Deležev površinske pokritosti tal v tujih razikavah nismo zasledili, je pa površinska pokritost tal vsekakor povezana z debelino sečnih ostankov. Z našimi podatki smo pokazali, da se poleg globine tudi pokritost kolesnic s sečnimi ostanki spreminja. 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 nakazuje na dejstvo, 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.

1.2.17 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.

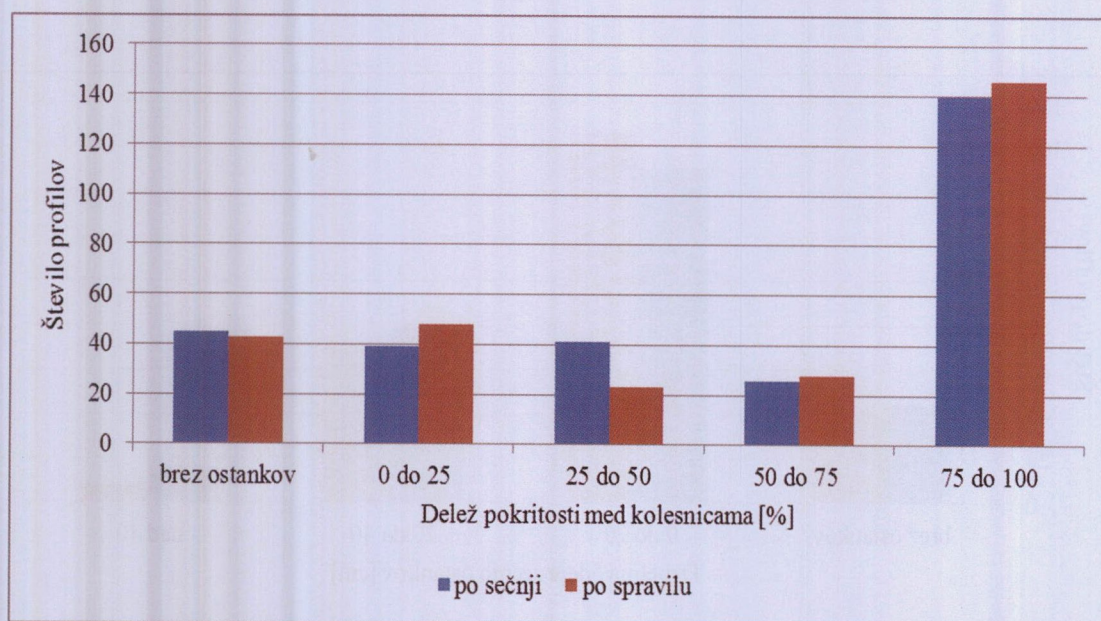
V ta namen smo prikazali debelino sečnih ostankov in njihov površinski delež med kolesnicama po posamezni fazi.



Slika 39: Debelina odeje sečnih ostankov na osi sečne poti, po delovnih operacijah (skupaj)

Debelina sečnih ostankov po sečnji in po spraviu 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 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 pri razredu od 0 do 20 cm. Faze delovnega procesa imajo torej na debelino sečnih ostankov na osi zelo majhen vpliv.

Precej pogosto se pojavlja očitek, da strojniki premalo sečnih ostankov zlagajo na kolesnice in preveč na os sečne poti. Kot lahko vidimo iz zgornjega grafikona je najpogostejša debelina vejne preproge na osi med 0 in 20 cm, kar velja za obe delovni fazi. Na kolesnicah se po sečnji najpogosteje pojavlja razred med 20 in 40 cm, po spraviu 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.



Slika 40: Delež pokritosti s sečnimi ostanki na osi sečne poti, po delovnih operacijah (skupaj)

Deleže 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. 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 spravilu na osi v razredu pokritosti od 0-50 40 % profilov, v razredu od 50-100 pa 60% profilov. Na kolesnicah je situacija nekoliko drugačna, v razredu od 0-50 je bilo 51 % profilov, v razredu od 50-100 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 debelina in pokritost osi sečne poti po med delovnima fazama reagirata podobno. Iz zgornje slike 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.

1.2.18 Vpliv ostalih dejavnikov na globino kolesnic

S Spearmanovim korelacijskim koeficientom smo preverili ali je CI povezan z globino kolesnice, vendar smo ugotovili, da razlike niso statistično značilne.

1.2.19 Razprava

Deli tega poglavja poročila so objavljeni v doktorski disertaciji Matevža Miheliča, univ.dipl.inž.gozd. z naslovom »Gospodarnost in okoljski vidiki tehnologij pridobivanja lesnih sekancev za energetske rabo«.

Zaradi preglednosti razprave in lažjega komentiranja smo razpravo razdelili na enaka poglavja, kot v rezultatih.

1.2.19.1 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 celo 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 na nosilnost tal iz naših ugotovitev ne moremo potegniti zaključkov, ki bi jih lahko aplicirali na celotno državo. Takšne zaključke bomo lahko potegnili šele, ko bomo imeli večje število objektov pod pogoji večje vlažnosti.

1.2.19.2 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 spravi. 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 spravi 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 priprave objekta (trasiranje sečnih poti in odkazilo) ter razliki v načinu dela strojnikov. V Mozelskem Šahnu sta delala dva delavca v stroju za sečnjo ter dva delavca v zgibnem polprikolničarju. 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 na 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 objekti Osankarica (370 cm). Objekta Mozelski Šahen z 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 spravi 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 spravi z najširšim profilom v Bukovju. Ugotovimo lahko, da je širina sečne poti na najširšem profilu za 1,25 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 razpore 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 neposrečeno 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 poizkusil 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 spravi lesa kar 45 %. Razumljivo je, da zgibni polprikoličar v svetli profil posega manj, kot stroj za sečnjo, saj ima tudi bistveno krajše hidravlično dvigalo.

1.2.19.3 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 % / ha. Ugotovimo lahko, da je površina motenih tal v naši raziskavi manjša, kot to navajajo tuji avtorji. Wronski (Wronski E. B., 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 M. J. in sod., 2003) tehnologije strojne sečnje in izvoza 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 C. G. 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 P. in Kellogg L. D., 1993) po sečnji s strojem Timberjack 2518 in izvozu lesa s strojem FMG 910 ugotovili, da je bilo 22,5 % sestoja sečnih poti in cest. Opisani objekt ima podobne odstotke motene površine, kot objekt Trije križi (21 %). V drugi raziskavi v umetnih sestojih duglazije z sodobno sortimentno metodo (McNeel J. F. in Ballard T. M., 1992) poročajo o uporabi 19,7 % površine sestoja 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 H., 1981; Fröding A., 1982; Wästerlund I., 1992; Wronski E. B., 1984), ki ugotavljajo, da je površina motenega objekta pri strojni sečnji med 12 in 25 %, in primerjajmo 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 B. in Robek R., 2000) ugotovimo, da ugotovljena vrednost za 1,5 % 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 sestoja v naklonih do 20 %.

1.2.19.4 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 po spravi bilo 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 pa 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 faktor (poleg vozila in tipa tal) najpomembnejši pri tvorjenju kolesnic (Liu K. in sod., 2010).

Hrvaški poskusi ugotavljanja globin kolesnic (Poršinsky T., 2005) 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 poizkuse izvajali v večjih vlažnostih tal (Bygdén G. in sod., 2004) so izvajali meritve pri 47,9 - 61,8 % vlažnosti. Konusni indeks tal je bil manjši, v povprečju med 350 in 450 kPa.

Na Irskem (Nugent C. in sod., 2003) so poizkuse 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 C. G. 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 Y. in Katarov V., 2010) so ugotavljali globino kolesnic v meljasto-ilovnatih tleh. Vlažnost tal je nihala med 80 in 93 %. Objekti med seboj niso primerljivi.

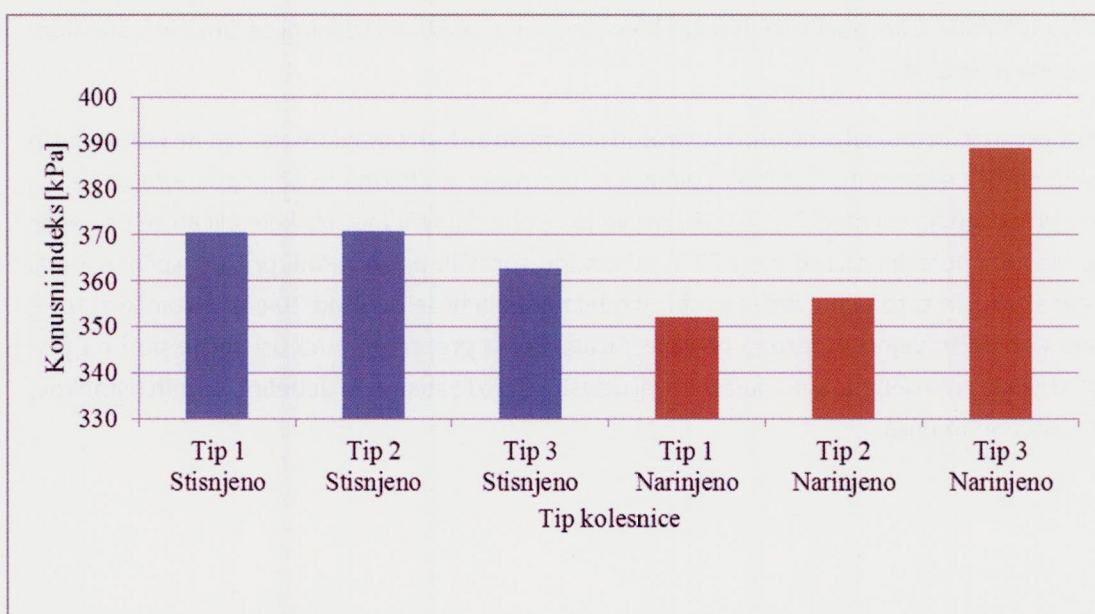
Povzamemo lahko, da so vse nam dostopne tuje raziskave narejene v tleh, ki so drugačna od naših objektov. Poleg tega so vsi poskusi iz tujine obravnavali poškodbe tal na zelo občutljivih tleh. Tla na naših objektih so sicer problematična, saj so globoka, niso pa tako mehka, kot je to v primerih iz tuje 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 B. in Robek R., 2000) ugotovili povprečno globino kolesnice na sečni poti 3,7 cm in na sekundarni vlaki 4,8 cm.

Primerjava z objektoma Mozeljski Šahen in Trije križi pokaže, da so globine kolesnic na apnenčasti matični podlagi po spravilu 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 T., 2005; Saarilahti M., 2002a). Zato smo na spodnji sliki prikazali povprečni konusni indeks glede na posamezen tip kolesnice. Na sliki 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 - 5 cm), tip 2 (od 5 - 10 cm) in tip 3 (od 10 - 15 cm).



Slika 41: Povprečni konusni indeks na posameznem tipu kolesnice za vse objekte

Pri stisnjenih kolesnicah je razvidno, da konusni indeks z 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. Sledeči rezultat podpira našo trditev o nastanku narinjenih kolesnic.

1.2.19.5 Sečni ostanki

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 I. in Saunders C., 2005).

Deležev 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 nakazuje na dejstvo, da vejna preproga ni statična, temveč se z vsakim preходом 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 očitek, da strojniki premalo sečnih ostankov zlagajo na kolesnice in preveč na os sečne poti. Kot lahko vidimo iz zgornjega grafikona 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.

1.2.19.6 VIRI

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

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

Anttila T. 1998. Metsämaan raiteistumisen ennustaminen WES-menetelmää käyttäen. Helsinki, University of Helsinki, Department of forest resource management, 53 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*, 10-34 str.

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

Bekker M. G. 1960. Off-the-road locomotion; research and development in terramechanics. (ur.) Ann Arbor, University of Michigan Press: 220 str.

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

Bodenschutz und Holzernte. 2008. Erfurt, Landwirtschaft T. M. f. 27 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 / Metsäanduslikud Uurimused*, 46, 5: 5-12

Cerjak B. 2011. Poškodbe tal po strojni sečnji in spravilu lesa v redčenjih: (Univerza v Ljubljani, Biotehniška Fakulteta). Ljubljana: 86 str.

Cheyney E. G. 1929. A study of roots in a square yard of of jack pine forest. *Journal of Forestry*, 27, 546-549

Drescher A., Hambleton J. P. 2010. Proceedings of the UMN 58th Annual Geotechnical Engineering Conference. V: Conference theme. St. Paul, USA, Department of Civil Engineering, University of Minnesota: 23-31

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, 7 str.

FAO, UNESCO. 2003. Digital Soil Map of the World and Derived Soil Properties. Information Division, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italy.

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, Missisipi, US army Waterways experimental station 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, The swedish university of agricultural sciences D. o. o. e. 47 str.

Froelich H. A., McNabb D. H. 1984. Minimizing Soil Compaction in Pacific Northwest Forests. V: Conference theme. 158-192

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

Gray D. H., Ohashi H. 1983. Mechanics of fiberreinforcement in sand. Journal of Geotechnical Engineering, 109, 3: 335-359

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

Hildebrand E. E. 1991. The chemical analysis of undisturbed forest soil cores. Methods and results. 0931-2749. 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

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

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

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.

Klute A. 1986. Methods of soil analysis, Part 1: Physical and mineralogical methods V: Agronomy. (ur.). (Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America: 1173 str.

Košir B. 2010a. Gozdna tla kot usmerjevalne tehnologije pridobivanja lesa. (ur.) Ljubljana, Biotehniška fakulteta pri Univerzi v Ljubljani, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 80 str.

Košir B. 2010b. Gozdna tla, kot usmerjevalec tehnologij pridobivanja lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta O. z. g. i. o. g. v. 80 str.

Košir B., Mihelič M. 2010. Poškodbe sestojev ter sečnih vlak po strojni sečnji v zgodnjih redčenjih- predavanje na delavnici. V: Conference theme. Moravci, 13. in 14. oktober 2010,

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

Kremer J., Matthies D., Wolf B., Ohrner B. 2003. Impact on soil and roots - wheeled versus tracked forest harvesting machines. V: Conference theme. 197-207

Kremer J., Wolf B., Matthies D., Borchert H. 2007. Bodenschutz beim Forstmaschineneinsatz. Freising, (LWF) B. L. f. W. u. F. 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

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: Conference theme. Ferrara, Italy, 8-10 October 1997, 391-398

Mali B., Košir B. 2007. Poškodbe tal po strojni sečnji in spravi lesa z zgibnim polprikolničarjem. Gozdarski vestnik, 65, 3: str. 131-142

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. (ur.) Canadian Pulp and Paper Association: 13 str.

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., 16 str.

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

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.

Nadezhdina N., Cermak J. 2000. Changes in sap flow rate in tree trunks and roots after mechanical damage. V: Conference theme. European Forest Institute (EFI), European Forest Institute (EFI): 167-175

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

Owende P. M. O., Lyons J., Ward S. M. 2002. Operations Protocol For Eco-Efficient Wood Harvesting On Sensitive Sites. V: (ur.). 74

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.

Poršinsky T. 2005. Djelotvornost i ekološka pogodnost forvardera Timberjack 1710 pri izvoženju oblovine iz nizinskih šuma Hrvatske: (Sveučilište u Zagrebu). Zagreb: 170 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. 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

Potočić Z. 1987. Šumarska enciklopedija II. izdaja. V: (ur.).

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

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. (ur.) Ljubljana, [R. Počkar]: 132 str.

Rollerson T. P. 1990. Influence of wide-tire skidder operations on soils. *Journal of Forest Engineering*, 2, 1: 23-30

Rowland D. 1972. Tracked vehicle ground pressure and its effect on soft ground performance. V: Conference theme. Stockholm, Sweden, 8

Saarilahti M. 2002a. Soil interaction model; Development of a protocol for ecoefficient wood harvesting on sensitive sites (ECOWOOD): Quality of Life and Management of Living Resources Contract. Helsinki, University of Helsinki, Department of Forest Resource Management, University of Helsinki D. o. F. R. M. 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.

Saarilahti 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.

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 Reisigauflage. 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

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 BC-X-301, 24 str.

Sundberg U., Silversides C. R. 1988. Operational efficiency in forestry. (Volume 1: Analysis, (ur.) Dordrecht, Kluwer academic publishers: 219 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

Thorud D. B., Frissell S. S. 1976. Time changes in soil density following compaction under an oak forest. (ur.) School of Forestry, University of Minnesota: 4 str.

Tiernan D., Zeleke G., Owende P. M. O., Kanali C. L., Lyons J. in sod. 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

using P. f. 1999. Procedures for Using and Reporting Data Obtained with the Soil Cone Penetrometer (ASAE EP572 FEB 99). 986-989

Vanderheyden J. 1981. Chronological variation in soil density and vegetative cover of compacted skidtrails in clearcuts in the Western Oregon Cascades: (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.

Vidrine C. G., DeHoop C., Landford B. L. 1999. Assessment of site and stand disturbance from cut-to-length harvesting. V: Conference theme. Shreveport, Los Angeles, USA, February 16.-18., 288-292

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

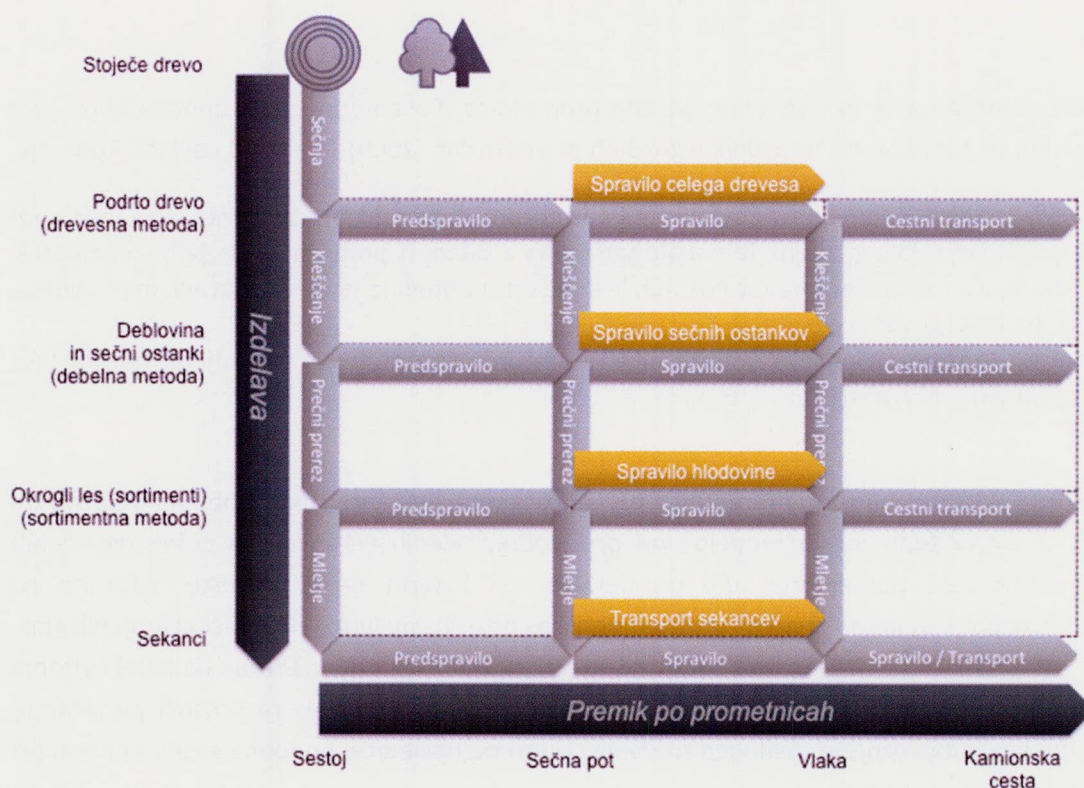
- Vossbrink J., Horn R. 2004. Modern forestry vehicles and their impact on soil physical properties. *European Journal of Forest Research*, 123, 4: 259-267
- Wästerlund I. 1989. Strength components in the forest floor restricting maximum tolerable machine forces. *Journal of Terramechanics*, 26, 2: 177-182
- 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
- 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
- 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
- Zupan M., Grčman H., Kočever H. 2010. Navodila za vaje iz pedologije- Tekstura tal. (ur.) str.

Za kakovostno izbiro tehnološkega modela izdelave lesnih sekancev potrebujemo nazorne in primerljive opise možnih tehnologij. Večino prikazanih tehnoloških modelov predstavlja kombinacijo pridobivanja okroglega lesa in zelenih sekancev. Z uvajanjem strojne sečnje se je razvoj tehnologij precej pospešil, s tem se tudi pri nas pri proizvodnji lesnih sekancev pojavljajo nove tehnološke rešitve. Podrobnost tehnološkega modela mora omogočiti prikaz njegovih posebnosti, prav tako mora zajeti tehnologije, ki so relevantne za naš prostor v obdobju naslednjih 5-7 let.

Namen prispevka je predstaviti nov pripomoček za praktično odločanje pri izbiri najustreznejše tehnologije pridobivanja zelenih sekancev v Sloveniji, ki v največji možni meri upošteva splošne danosti (geologija, relief) in tudi pričakovane delovne razmere (vlažnost, infrastruktura) v delovišču.

2.2 Opis tehnoloških modelov

Osnovno orodje za opise tehnoloških modelov je matrika (tipa 5x4). Matrika, ki simbolizira sečnjo in spravilo od stoječega drevesa v sestoji do izdelanih sekancev na gozdni (kamionski) cesti. Na ordinatni osi so tako nanizane spremembe v stanju predelave drevesa (stoječe drevje, deblovina in sečni ostanki, okrogli les (sortimenti), sekanci). Na abscisni osi pa je opredeljen potek spravila oz. transporta od stoječega drevesa preko različnih tipov gozdnih prometnic do skladišča na gozdni (kamionski) cesti. Zavedamo se, da se gozdno lesna veriga ne zaključi na gozdni cesti, tako moramo za popoln prikaz na absciso dodati še končnega uporabnika (kurilnica, biomasni logistični center, žagarski obrat...). Za potrebe te študije se z končnim uporabnikom ne bomo ukvarjali in bomo predvidevali, da so cilj izdelani sortimenti in zeleni sekanci na gozdni (kamionski cesti).



Slika 43: Osnovna matrika za pripravo tehnoloških modelov

Presečišča v matriki nakazujejo mesto kjer se izvrši določen proces oziroma se stanje v predelavi drevesa/sortimenta spremeni (npr. kleščanje ali prežagovanje lahko opravimo v sestoji na vlaki ali celo na kamionski cesti). S piko v presečišču označimo mesto, kjer v tehnološki verigi pride do spremembe stroja, tehnologije dela ali oblike gozdnega proizvoda. Pri uporabi tehnoloških modelov se velikokrat srečujemo z različnimi tehnološkimi rešitvami za izdelava oziroma spravilo okroglega lesa ter sečnih ostankov, zato svetlo zelena barva simbolizira sečno in spravilo okroglega lesa, medtem ko temno zelena barva simbolizira spravilo in predelavo sečnih ostankov.

Ideja vizualizacije tehnološkega modela ni nova. V zadnjem času jo je uporabil prof. Joern Erler (Erler, Weiß 2003; Erler, Dög 2009) za potrebe medsebojne primerjave pravih metod. Osnovna predloga matrike za tehnološke modele v tem prispevku temelji na prej omenjeni.

2.3 Osnovna klasifikacija prometnic

Pri opisovanju tehnoloških modelov bomo uporabljali v Sloveniji uveljavljeno izrazje na področju gozdnih prometnic. Gozdne prometnice so poleg strojev in opreme osnovna infrastruktura za izvajanje proizvodnih procesov pridobivanja lesa in lesne biomase. To velja v celoti za tehnološke modele pri katerih poteka faza spravila po tleh in delno za tiste, pri katerih poteka spravilo iz sestoja do kamionske ceste po zraku.

Razlikujemo grajene in negrajene gozdne prometnice. Posamezni izrazi, uporabljeni v tem besedilu se nanašajo na "Pravilnik o gozdnih prometnicah (2009)" in imajo naslednji pomen:

- Gozdna cesta (Kamionska cesta) je grajena gozdna prometnica, ki je namenjena predvsem gospodarjenju z gozdom, je nekategorizirana v skladu s predpisi, ki urejajo javne ceste, omogoča racionalen prevoz gozdnih lesnih sortimentov, je javnega značaja, in je vodena v evidenci gozdnih cest;
- Vlaka (gozdna vlaka) je grajena ali negrajena gozdna prometnica, namenjena spravilu lesa s pravnimi sredstvi;

Pojem vlaka se nanaša na prometnico po kateri s pravnimi sredstvom obli les vlačimo po tleh. Z vidika tehnoloških modelov pri proizvodnji zelenih sekancev so poleg navedenih prometnic zelo pomembne tudi prometnice, pri katerih sečne ostanke naložimo na prikolico/polprikolico in jih vozimo do kamionske ceste. Temu lahko služi večina grajenih vlak, kjer pa terenske razmere to omogočajo se stroji gibljejo po terenu in zbirajo (kupajo) oziroma vozijo praviloma do vlake in po njej do ceste. Ker so sečni ostanki razprostrti po sestoji, nastajajo zaradi vožnje pravnega sredstva po terenu posledice, podobne sečnim potem pri strojni sečnji.

Izraz »Sečna pot« v omenjenem pravilniku ni definiran. O sečnih poteh smo pri nas začeli govoriti pri uvajanju strojne sečnje ob prelomu stoletja. Sprva smo jih v Sloveniji imenovali vlake za sečnjo (Košir, Robek 2000) in so pomenile »krajše in manj obremenjene odcepe sekundarnih vlak« nastale predvsem zaradi premikanja stroja za sečnjo po sestoji. S povečevanjem obsega strojne sečnje pri nas se je izkazalo, da je obseg vlak za sečnjo lahko zelo velik in kot tak lahko predstavlja tudi znatno ekološko breme tehnologije strojne sečnje. Ob pripravah različnih strokovnih podlag za izvajanje strojne sečnje pri nas je bil izraz vlake za sečnjo preimenovan v sečne poti oziroma sečno-spravilne poti. V delovnem gradivu za vodila dobrega ravnanja pri izvajanju strojne sečnje (Mihelič in sod 2013) so sečne poti definirane kot:

- trasa v gozdu, po kateri se gibljeta stroj za sečnjo in zgibni polprikoličar. Za sečnjo in spravilo uporabljamo sečne poti in obstoječe ali na novo pripravljene/zgrajene gozdne vlake. Gozdna vlaka je lahko sečna pot, sečna pot pa ne more biti gozdna vlaka.

Poudariti je potrebno, da v nadaljevanju predpostavljamo, da so sečne poti oz. sečno-spravilne poti namenjene vsem sečno-spravnim tehnologijam v gozdu in niso namenjene zgolj gibanju stroja za sečnjo in zgibnega polprikoličarja, kot to predvideva delovno gradivo za vodila dobrega ravnanja pri izvajanju strojne sečnje. Omenili smo že, da je razvoj tehnologija danes precej hitrejši kot nekoč, tako so na trgu na voljo priključki za kmetijski traktor (gozdarska prikolica, procesor), ki pa že predstavljajo strojno sečnjo.

2.4 Opredelitev sečnih metod

Danes je poznanih več tehnologij pridobivanja okroglega lesa in lesnih sekancev. To pomeni, da nekatere tehnologije ali oblike strojev zahtevajo posebne kombinacije med oblikami sečnje in spravila. Tehnologije izdelave proizvodov pri panju, ob cesti, izven gozda najdemo v tehnoloških sistemih kratkega in dolgega lesa. Sisteme kratkega lesa razumemo kot tehnologije izdelave sortimentov v sečišču, sistemi dolgega lesa pa obsegajo tehnologije z drevesno ali debelno metodo (Košir, 2010). Predstavljeni tehnološki modeli temeljijo na različnih predpostavkah glede na metodo dela (sortimentna debelna, drevesna).

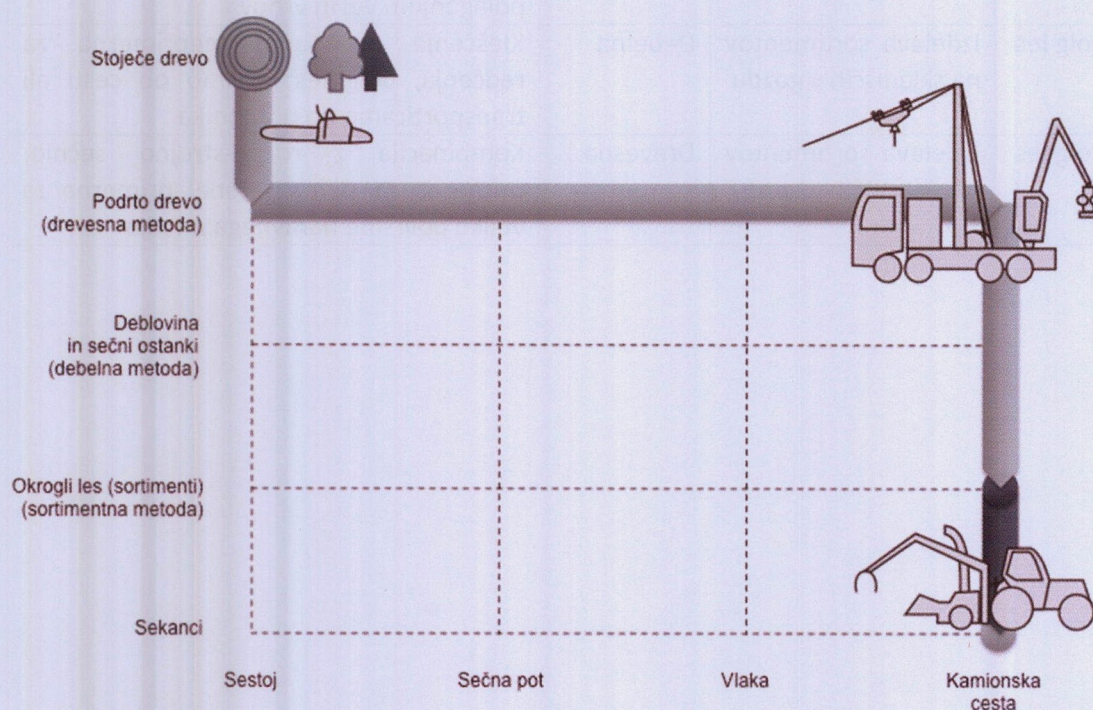
Preglednica 20: Pregled tehnoloških sistemov, tehnologij in metod (povzeto po Košir, 2010)

Sistem	Tehnologija	Metoda	Opomba
Kratek les	Izdelava sortimentov v sečišču	Sortimentna, klasična	Krojenje pri panju, izdelava lesnih proizvodov pri panju, prevzem lesa po fazah, pri panju in kamionski cesti, lupljenje iglavcev pri panju
Kratek les	Izdelava sortimentov v sečišču	Sortimetna, sodobna	Optimalno krojenje za znanega kupca, sortiranje ob cesti, nepoškodovan les, primerna za redčenja, sečni ostanki ostanejo v gozdu, tla varujemo s polaganjem vej in vrhov
Dolg les	Izdelava sortimentov na skladiščih v gozdu	Debelna	Kleščenje ob panju, neprimerna za redčenja, dolg les krojimo ob cesti ali transportiramo do porabnika
Dolg les	Izdelava sortimentov na skladiščih v gozdu	Drevesna	Kombinacija z ročno-strojno sečnjo, primerna za strma terene, primerna za velike površine naravnega mladja

3 Opisi predlaganih tehnoloških modelov

3.1 Model 1 – Spravilo z žičnim žerjavom - drevesna metoda

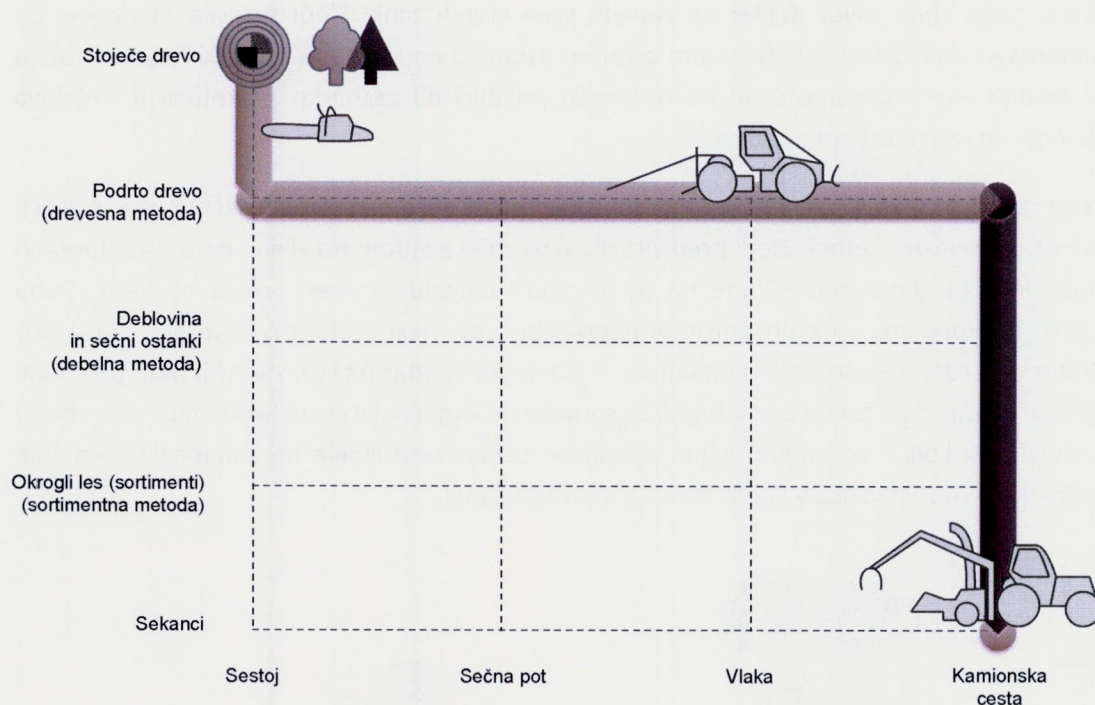
Model št. 1 (slika 44) predstavlja sodoben način pridobivanja lesa z drevesno metodo in žičničnim spravilom. Drevesa gozdni delavec z motorno žago podre in ne izdela v celoti (drevesna metoda). Sledi spravilo z žičnim žerjavom, kar pomeni, da je na kamionsko šasijo vgrajena žična naprava z zložljivim, vrtljivim in nagibnim stolpom, namenjena za spravilo po žični liniji na gozdno prometnico v smeri navgor, navzdol ali po ravnem. Takšne naprave se ponašajo z nosilnostjo 30 – 40 kN in so primerne za spravilne razdalje do 800 m. Zaradi potreb po nadaljni obdelavi dreves je dodana nakladalna naprava opremljena s procesorskim agregatom za sečnjo, izdelavo in sortiranje. Pri omenjeni procesorski glavi se del glave s podajalnimi valji prepogne nazaj, tako da ne ovira prijetanja hlodovine (Klun in sod., 2009). Po samem spravilu je tako vsa drevnina (hlodovina, sečni ostanki) ustrezno razporejena tik ob kamionski cesti. Nadaljni transport hlodovine iz gozdne ceste do končnega porabnika poteka klasično z različnimi različicami gozdarskih transportnih kompozicij. Po končanem spravilu in transportu hlodovine sečne ostanke, ki so shranjeni tik ob cesti, v sekance predela ustrezen sekalnik. Ustreznost sekalnika je opredeljena z ekonomsko upravičenostjo, ta pa je odvisna od več dejavnikov (npr. količina, dimenzija sekalnika in drugih stroškov povezanih s proizvodnjo).



Slika 44: Shema modela 1 – spravilo z žičnim žerjavom (drevesna metoda)

3.2 Model 2 - Motorna žaga - drevesna metoda

Model 2 (slika 45) prikazuje sečnjo po drevesni metodi (sekač drevo samo podre in ga ne izdela do konca). Sečnji sledi spravilo z večjim zgibnim traktorjem namenjenim za gozdarsko proizvodnjo in je kot takšen opremljen z (dvobobenskim) vitlom in stalnim štirikolesnim pogonom. Spravilo celih dreves (vključno s krošnjo) iz sestoja poteka po gozdni vlaki do kamionske ceste, kjer se nadaljno izdela drevesa v sortimente in sečne ostanke. Sečni ostanki se v tem primeru, brez posebnih dodatnih postopkov, zbrani ob kamionski cesti in tako primerni za nadaljno obdelavo v sekance. V posebnih primerih, kjer to dovoljuje ekonomika, pa je priporočeno celotna drevesa predelati v sekance (npr. panjevski sestoji, napad borove ogorčice, zgodnja 1. redčenja...).



Slika 45: Shema modela 2 – motorna žaga (drevesna metoda)

Primer izdelave lesnih sekancev iz celih dreves je predstavljen kot eden izmed testnih primerov in sicer primer 3: Vremščica-črni gaber (glej podroben opis rezultatov iz testnih primerov). Najpomembnejši rezultat študije porabe časa je, da je produktivni čas (preračunan na ekvivalent okroglega lesa) tako pri sečnji kot tudi pri spravilu za skoraj polovico nižji na ploskvi 1, kjer je bila uporabljena drevesna metoda (opisana v tehnološkem modelu) kot na ploskvi 2 kjer je bila uporabljena sortimentna metoda.

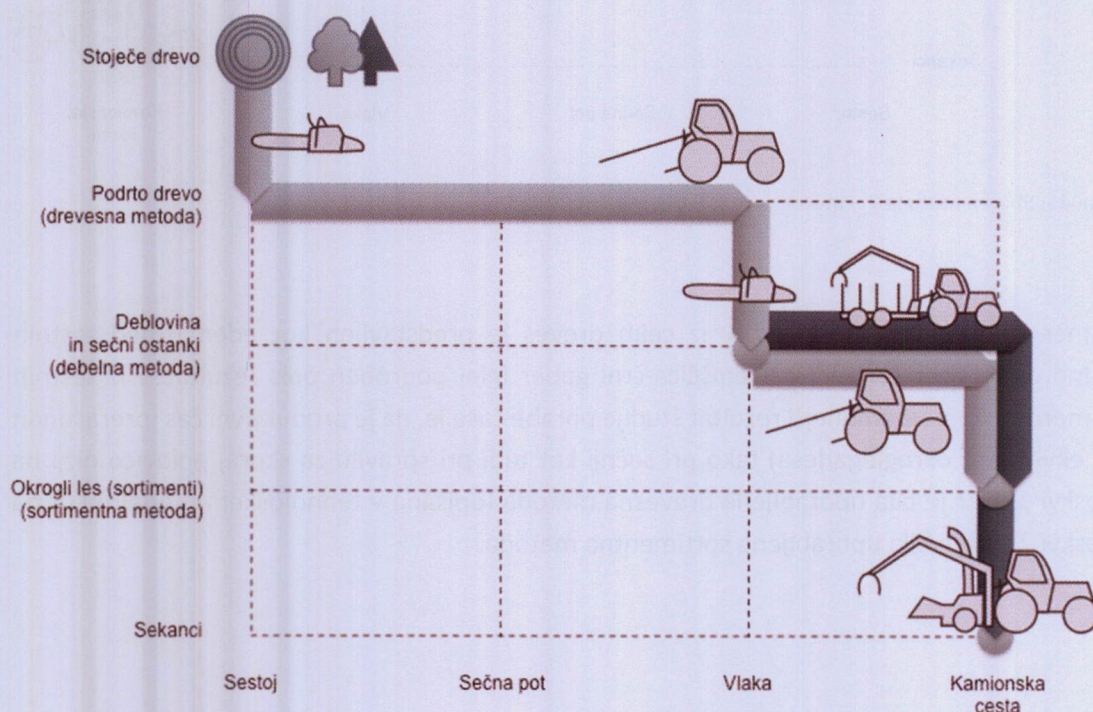
3.3 Model 3 - Motorna žaga - drevesna metoda do vlake

Model št. 3 smo razdelili na dve različici:

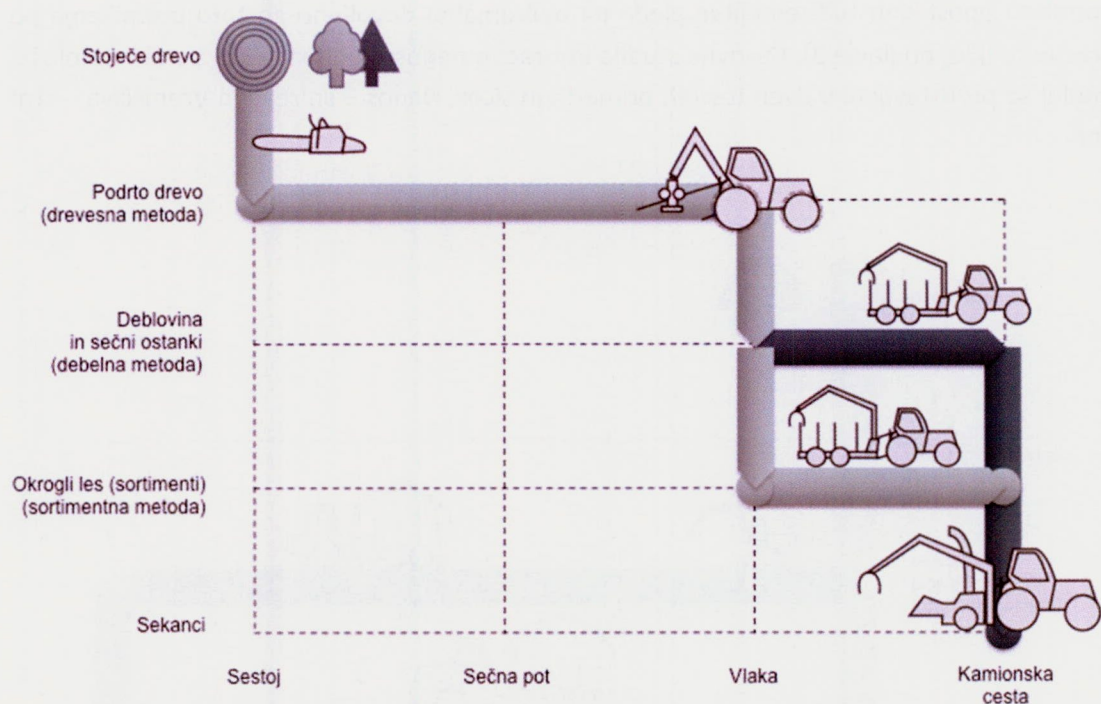
- Različica 1: drevesna metoda do vlake, nato debelna
- Različica 2: drevesna metoda do vlake, nato sortimentna

Prva različica (slika 46) predstavlja vsem dobro poznano kombinacijo klasičnega poseka z motorno žago in spravilom s prilagojenim kmetijskim traktorjem. Gre za skupinsko delo, kjer sekač podira drevesa po drevesni metodi, medtem ko jih traktorist z gozdarskim vitlom povleče do roba vlake in oklesti (sečni ostanki torej ležijo neposredno ob vlaki). Traktorist na takšen način zbira tovor dokler ne zapolni vseh vrstnih zank. Sledi spravilo hlodovine do kamionske ceste. Sečni ostanki v tem primeru ostanejo neposredno ob vlaki in so v dosegu nakladalne naprave nameščene na traktorski prikolici ali zgibnem prikoličarju. Izdelava sekancev se izvrši na kamionski cesti.

Druga različica (slika 47) nakazuje kombinacijo klasične sečnje in strojne sečnje. Sekač drevo podre po drevesni metodi. Sledi predspravilo (zbiranje) z vitlom do vlake, nato pa z uporabo procesorske glave (nameščene na traktorskem dvigalu) drevesa izdela ob vlaki. Sečni ostanki in hlodovina so skoncentrirani neposredno ob vlaki. Take procesorske glave kot traktorski priključek še niso uveljavljene v Sloveniji, vendar pa se v zadnjih letih povečuje povpraševanje tudi po tej tehnologiji. Za spravilo do kamionske ceste lahko nato uporabimo traktorsko prikolico ali manjši zgibni prikoličar. Sekance se izdela na kamionski cesti šele potem, ko so na skladišču v kupih zbrani vsi sečni ostanki.



Slika 46: Shema modela 3/različica 1 – drevesna metoda do vlake, nato debelna



Slika 47: Shema modela 3/različica 2 – drevesna metoda do vlake, nato sortimentna

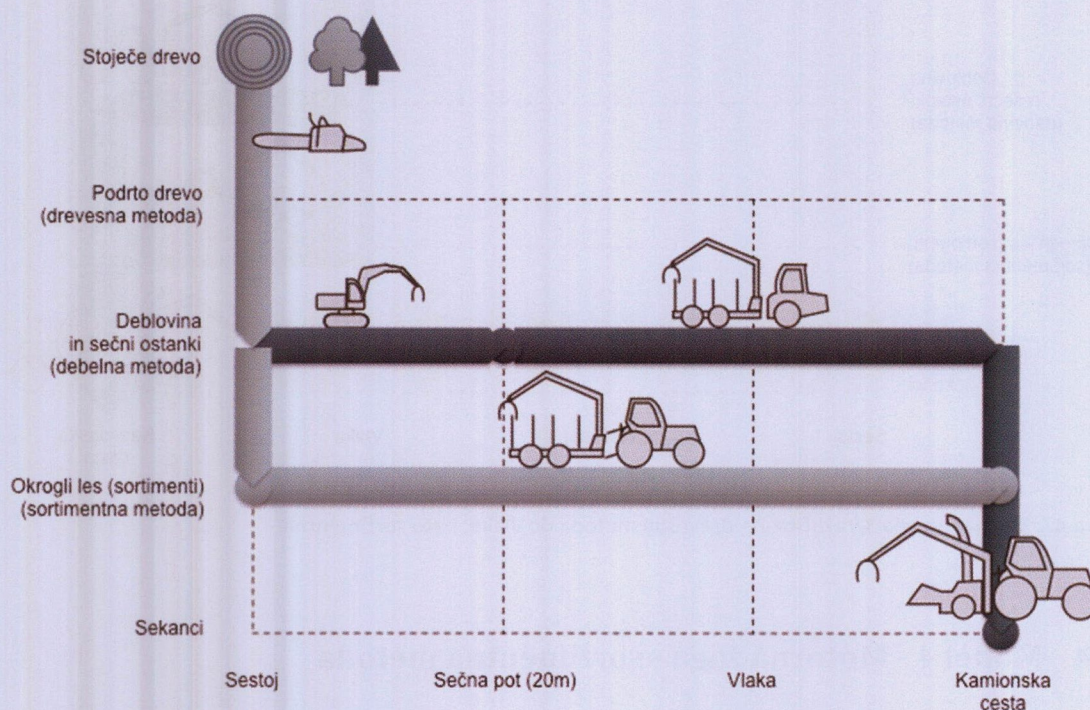
3.4 Model 4 - Motorna žaga - sortimentna metoda

Tudi model št. 4 smo razdelili na dve različici:

- Različica 1: zbiranje sečnih ostankov z manjšim goseničarjem opremljen s teleskopsko roko
- Različica 2: usmerjeno podiranje in izvoz sečnih ostankov z zgibnim prikoličarjem

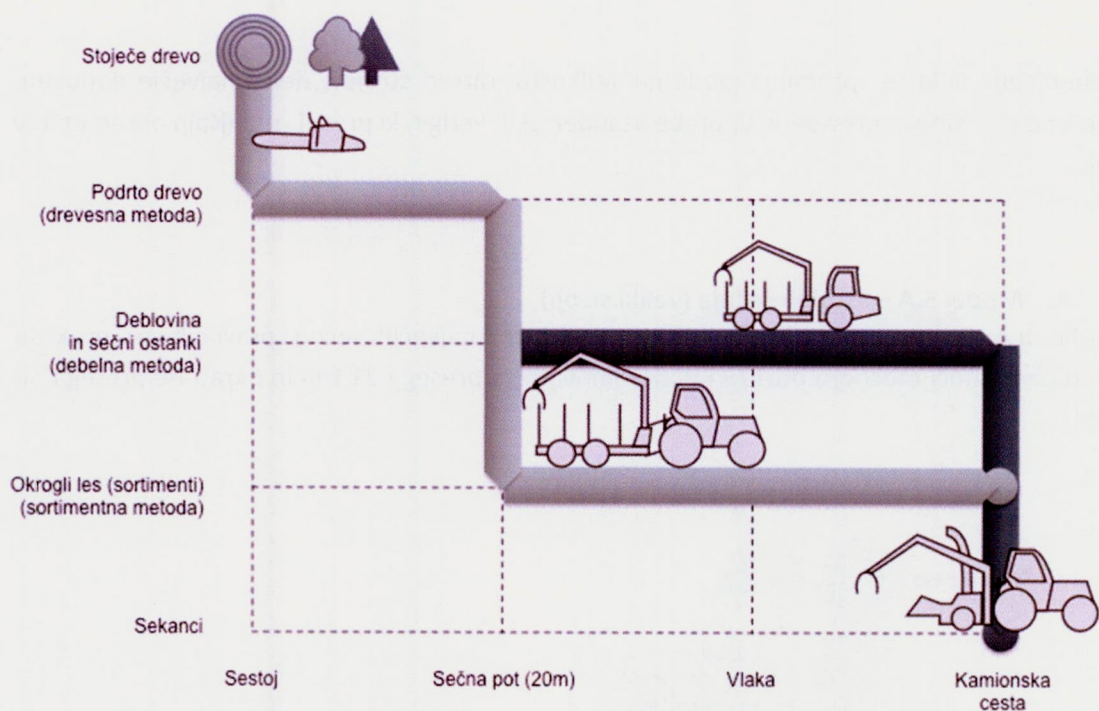
Prva različica modela 4 (slika 48) predstavlja v zadnjem času vse pogostejše uporabljeno proizvodno verigo za spravilo sečnih ostankov. V tem tehnološkem modelu gre za sistem kratkega lesa, kjer izdelava sortimentov poteka v sečišču (sortimentna metoda) s sečnjo z motorno žago. Sekač drevo podre in oklesti, zadnji prečni prerez opravi pri nekoliko višjem premeru kot običajno in tako maksimira količino sečnih ostankov na račun celuloznega oziroma manj kakovostnega lesa. S tem povečuje učinke celotne verige in hkrati povečuje količino sečnih ostankov, ki bodo ekonomsko upravičili samo proizvodnjo sekancev. Po sečnji tako sledi spravilo hlodovine po sečni poti in vlaki z manjšim zgibnim prikoličarjem ali traktorsko prikolico z dvigalom. Za sečne ostanke, ki so v tem primeru razpostrti širom sestoja, je predvideno zbiranje z manjšim goseničarjem opremljen s teleskopsko roko. Goseničar sečne ostanke zbira v kupe ob sečnih poteh, pri tem se giblje po terenu izven utrjenih prometnic. Spravilo sečnih ostankov od sečnih poti do kamionske ceste poteka z uporabo zgibnega prikoličarja ali s traktorsko prikolico z dvigalom. Izdelava sekancev je predvidena na kamionski cesti, kjer se na skladišču v kupih koncentrira sečne ostanke.

Glede na to, da model predvideva vožnjo po brezpotju, v primeru zbiranja sečnih ostankov, je potrebno upoštevati tudi omejitve glede na maksimalno dovoljeno gostoto premikanja po brezpotju (glej poglavje 3). Časovna študija in izračun neposrednih stroškov za ta tehnološki model so predstavljeni v dveh testnih primerih in sicer: Nanos – smreka in Vremščiva – črni bor.



Slika 48: Shema modela 4/različica 1 – zbiranje sečnih ostankov z manjšim goseničarjem opremljenim s teleskopsko roko

V drugi različici modela 4 (slika 49) se izognemo vožnji po sestoji kar pomeni, da ostane vsa mehanizacija na sečno spravih poteh. Model je tako primernejši za bolj občutljive terene, kjer bi vožnja po brezpotju predstavlja nepovratne poškodbe tal in zato ni dopustna. Sečnja dreves se torej izvede z motorno žago z usmerjenim podiranjem proti sečnim potem. Potek sečnje spremlja traktor z nakladalnim žerjavom, ki drevesa potegne na sečno pot in jih obdela z motorno žago ali procesorskim agregatom. Ob takšnem modelu gospodarjenja so sečni ostanki in hlodovina zbrani tik ob sečni poti, tako da predspravilo ni potrebno. Spravilo sečnih ostankov in hlodovine iz sečne poti do kamionske ceste se izvede z manjšim zgibnim prikolničarjem ali traktorsko prikolico z nakladalno napravo. Izdelava sekancev je predvidena na kamionski cesti potem, ko so na skladišču v kupih zbrani vsi sečni ostanki.



Slika 49: Shema modela 4/različica 2 – usmerjeno podiranje in izvoz sečnih ostankov z zgibnim prikoličarjem

3.5 Model 5- Strojna sečnja

Model 5 predstavlja danes že uveljavljene oblike strojne sečnje. Strojno sečnjo zato predstavljamo glede na različne možne tehnološke rešitve, kjer obravnavamo stroje za sečnjo, sečno-spravlne zgibnike in kombinacije strojnega in klasičnega gospodarjenja z gozdovi. Delitev strojev za sečnjo glede na dimenzije smo povzeli po literaturi (FHP 2010) z nekaj popravki pri masah strojev.

Preglednica 21: Delitev sečnih strojev (vir: FHP 2010)

		Najmanjši stroji	Majhni stroji	Srednji stroji	Veliki stroji
Masa vozila	t	4 – 8	9 -15	15 - 21	21 - 50
Moč motorja	kW	< 70	71 - 140	141 - 175	175 - 300
Doseg dvigala	m	5 – 8	8,1 – 11,6	8,3 – 10,7	8,3 – 15,5

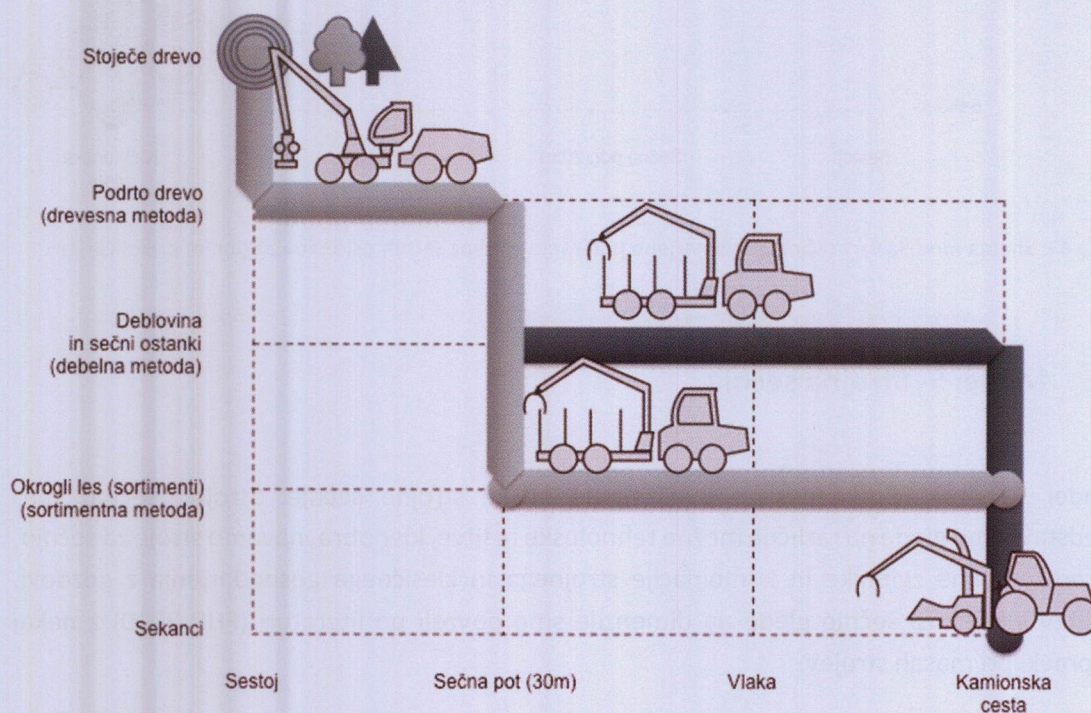
Preglednica 22: Razdelitev spravnih zgibnikov (vir: FHP 2010)

		Najmanjši stroji	Majhni stroji	Srednji stroji	Veliki stroji
Masa tovara	t	1 – 7	8 - 10	11 - 14	> 14
Masa vozila	t	1 - 9	9 - 15	12 - 18	15 - 23
Moč motorja	kW	10 - 50	50 - 140	80 - 175	140 - 220

Tehnologija dela se spreminja glede na velikostni razred strojev, delež največje dopustne motene površine in previdene uporabe »tandemskih verig«, ki precej zmanjšajo obremenitev tal.

A. Model 5.A – Strojna sečnja (veliki stroji)

Različica A strojne sečnje (slika 59) predstavlja razred največjih sečno spravilnih strojev, ki so po nazivni moči močnejši od 175 kW in njihova teža presega 21 ton in hkrati ne presega 50 ton.



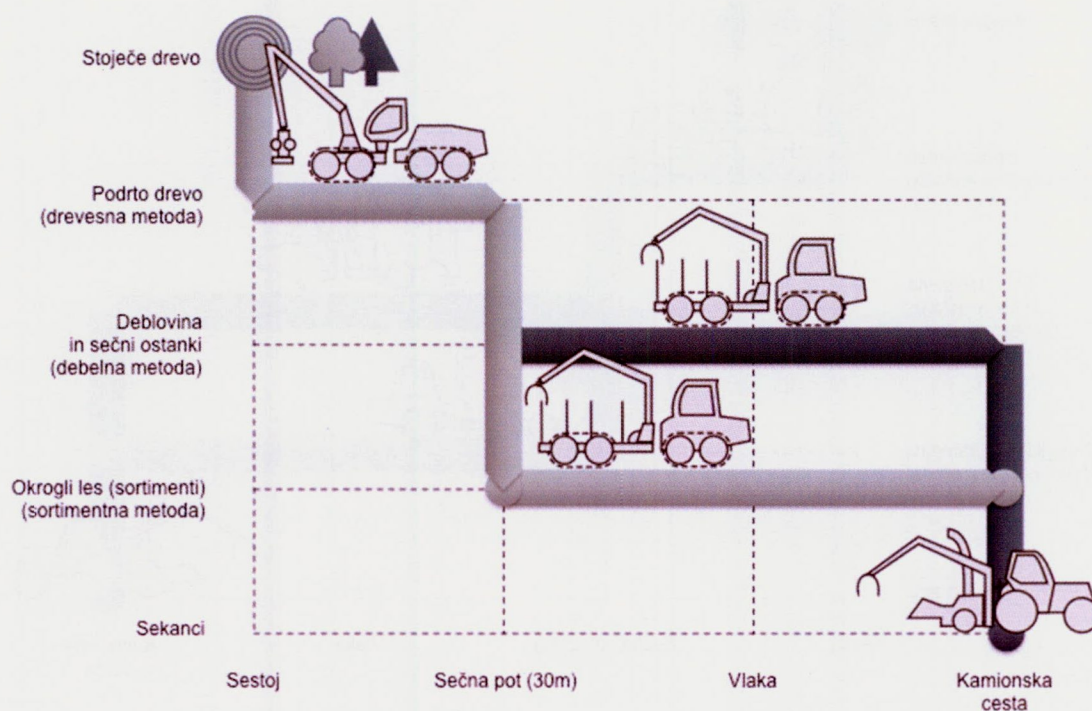
Slika 50: Shema modela 5/različica A – strojna sečnja (veliki stroji)

Dvigala strojev z nameščeno procesorsko glavo imajo v tem razredu največji doseg in lahko pričakujemo tudi najnižji delež motene površine zaradi nižje gostote prometnic. V modelu 5.A lahko torej predvidimo sečne poti v razmaku 30 metrov. V primeru debelega drevja v vmesnem pasu, ki je nedostopen za dvigalo stroja (med sečnimi potmi), je potrebna kombinacija s sekačem kateri drevesa usmerjeno podira proti sečnim potem. Sečnja in izdelava sortimentov poteka na sečni poti in jo izvede sečni stroj (»harvester«). Sečni sledi spravilo sortimentov in sečnih ostankov do kamionske ceste s sečno spravilnim strojem. Izdelava sekancev je po končanem spravilu predvidena na kamionski cesti.

Največji problem pri tem tehnološkem modelu je teža stroja in s tem povezana možnost poškodbe tal. Ta tehnologija je omejena predvsem na dobro nosilna in manj vlažna tla.

B. Model 5.B – Strojna sečnja (veliki stroji z nameščenimi verigami)

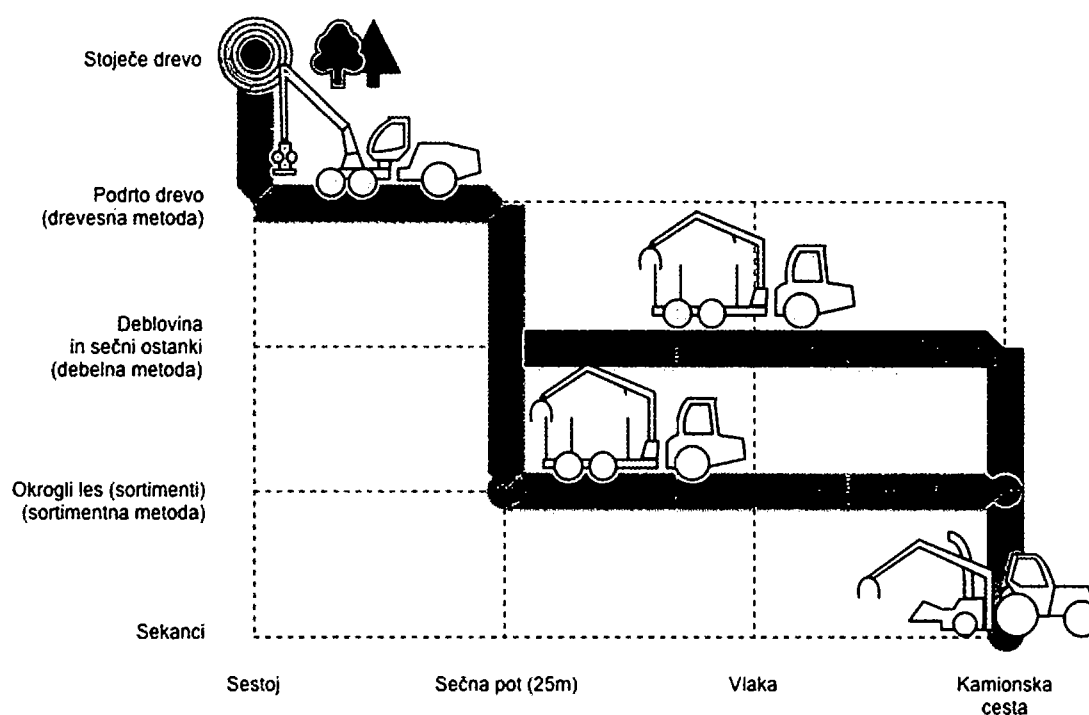
Različica 5.B (slika 51) se po samem tehnološkem poteku ne razlikuje od svoje predhodnice (5.A). Gre za nadgradnjo različice 5.A, kadar le-ta nastopi na razmočenih terenih z zmanjšano nosilnostjo tal. Z namestitvijo gosenic na tandemske osi se precej poveča naležna površina med strojem in tlemi. S tem ukrepom se občutno zmanjša nominalni tlak stroja na tla (glej prilogo 1), saj se masa stroja razporedi na večji dotični površini. Poudariti je potrebno, da namestitev gosenic ni ustrezen rešitev v primeru vožnje na velikih naklonih. Kajti obremenitev tal na osi je odvisna od razporeda mase na vozilu, ta pa je v ravnini povsem drugačen kot na velikih naklonih. Rezultati raziskav (Marenče 2000, 2005) kažejo zakonitosti prenašanja teže na zadnjo os pri spravi navzgor ter prenašanje obremenitev na sprednjo os pri spravi navzdol.



Slika 51: Shema modela 5/različica B – strojna sečnja (veliki stroji z nameščenimi verigami)

C. Model 5.C – Strojna sečnja (srednje veliki stroji)

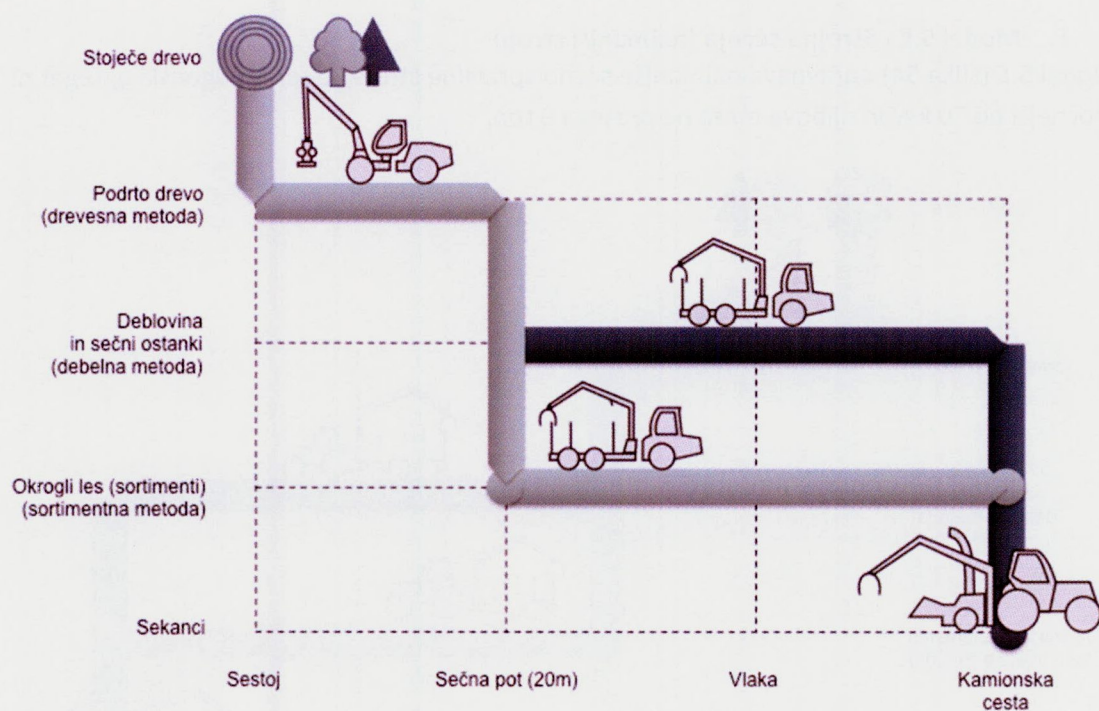
Model 5.C obravnava sečno spravilne stroje srednjega velikostnega razreda, ki po nazivni moči ne presegajo 175 kW in njihova masa ne presega 21 ton. Doseg dvigala pri teh strojih je nekoliko manjši, zato mora biti predvidena gostejša mreža sečno spravilnih poti. V modelu 5.C lahko predvidimo sečne poti v razmaku 25 metrov. V primeru debelega drevja v pasu nedostopnemu za dvigalo stroja (med sečnimi potmi) je potrebna kombinacija s sekačem, ki drevesa usmerjeno podira proti sečnim potem. Sečnja in izdelava sortimentov poteka na sečni poti in jo izvede sečni stroj (»harvester«). Sečnji sledi spravilo sortimentov in sečnih ostankov s sečno spravilnim strojem do kamionske ceste, kjer je po končanem spravilu predvidena izdelava sekancev.



Slika 52: Shema modela 5/različica C – strojna sečnja (srednje veliki stroji)

D. Model 5.D – Strojna sečnja (majhni stroji)

Model 5.D (slika 53) obravnava majhne sečno-spravilne stroje, katerih pogonski agregat ni močnejši od 140 kW in njihova masa ne presega 15 ton. Doseg dvigala v tem velikostnem razredu se ne razlikuje bistveno od strojev uporabljenih v modelu 5.C, ampak je glede na literaturo še celo nekoliko večji.

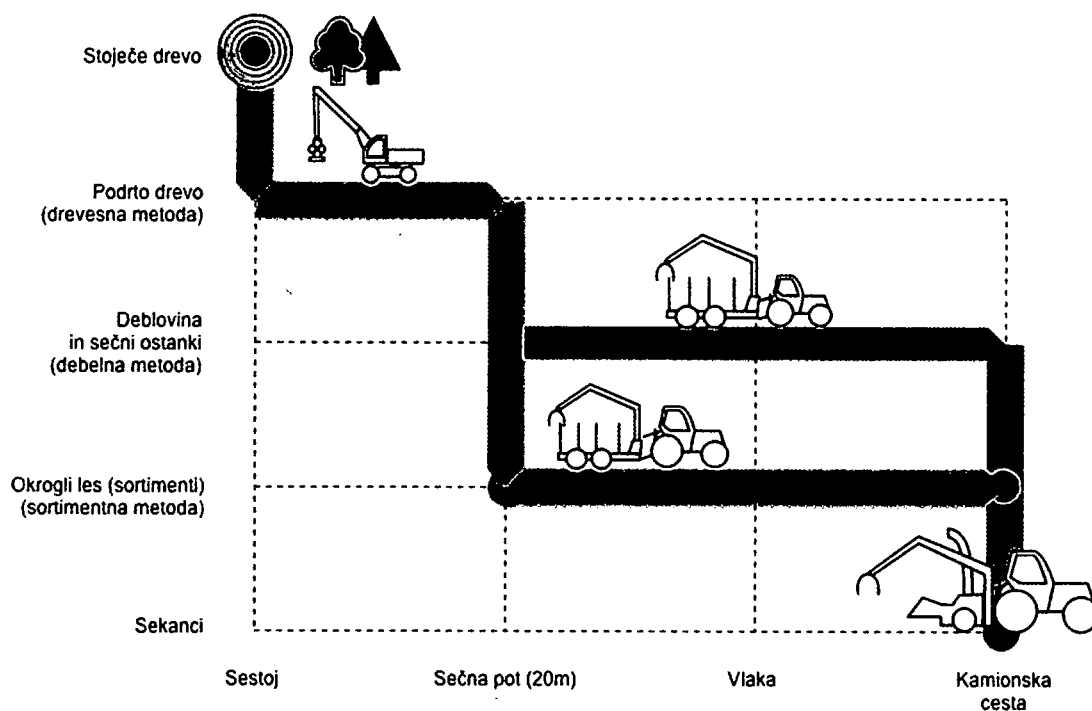


Slika 53: Shema modela 5/različica D – strojna sečnja (majhni stroji)

Glavna razlika je pri največji dovoljeni masi vozil kar pomeni, da model 5.D obravnava precej lažje stroje, ki so primerni za bolj občutljive terene. V modelu 5.D tako predvidevamo sečne poti v razmaku 20 metrov. V primeru debelega drevja v pasu nedostopnem za dvigalo stroja (med sečnimi potmi) je potrebna kombinacija s sekačem, ki drevesa usmerjeno podira proti sečnim potem. Sečnja in izdelava sortimentov poteka na sečni poti in jo izvede sečni stroj (»harvester«). Sečnji sledi spravilo sortimentov in sečnih ostankov s pravilnim zgibnikom do kamionske ceste, kjer je po končanem spravilu predvidena izdelava sekancev.

E. Model 5.E - Strojna sečnja (najmanjši stroji)

Model 5.E (slika 54) obravnava najmanjše sečno spravilne stroje, katerih pogonski agregat ni močnejši od 70 kW in njihova masa ne presega 9 ton.

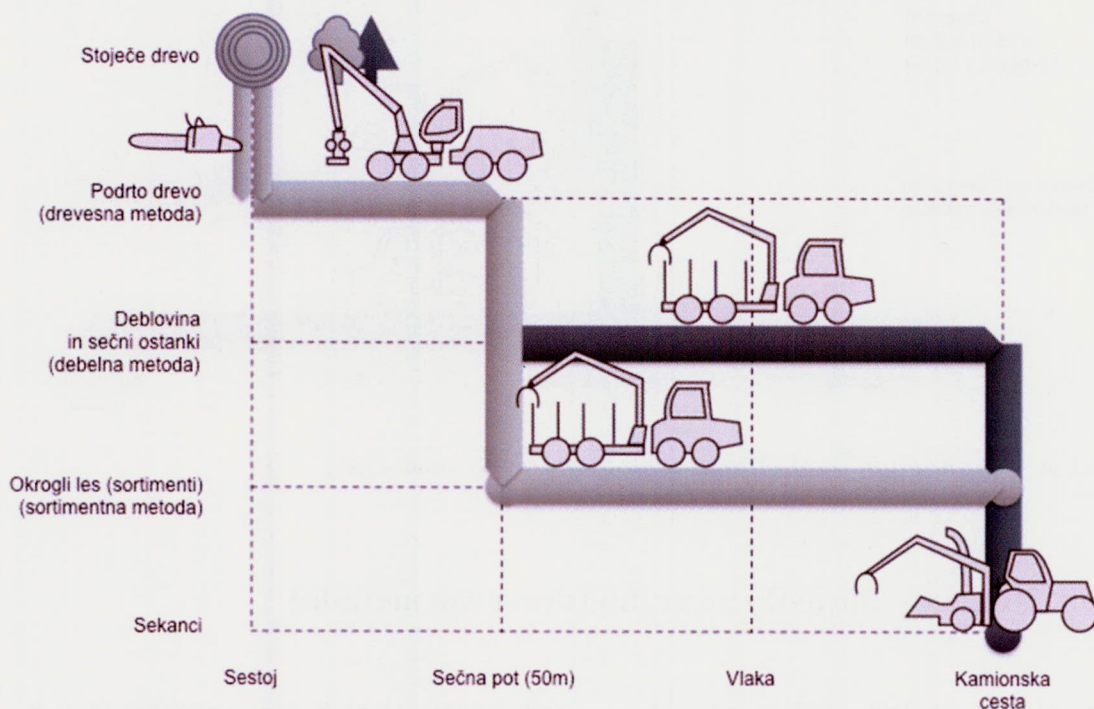


Slika 54: Shema modela 5/različica E – strojna sečnja (najmanjši stroji)

Ob današnji ponudbi na trgu se v tem razredu lahko znajdejo tudi traktorji s procesorsko glavo nameščeno na hidravličnem dvigalu. V primeru spravila pa traktorji z gozdarsko prikolico in dvigalom. Problem tega velikostnega razreda so prav dvigala, kajti dvigala teh strojev imajo majhen doseg (do 8 m) in je zato motena površina tu največja. V modelu 5.E tako predvidevamo sečne poti v razmaku 20 metrov. V primeru debelega drevja v pasu nedostopnemu za dvigalo stroja (med sečnimi potmi) je potrebna kombinacija s sekačem, ki drevesa usmerjeno podira proti sečnim potem. Sečnja in izdelava sortimentov poteka na sečni poti in jo izvede sečni stroj (»harvester« ali traktor prilagojen za strojno sečnjo). Sečnji sledi spravilo sortimentov in sečnih ostankov s pravilnim zgibnikom ali traktorjem z gozdarsko prikolico do kamionske ceste, kjer je po končanem spravilu predvidena izdelava sekancev.

F. Model 5.F – Kombinacija strojne in klasične tehnologije

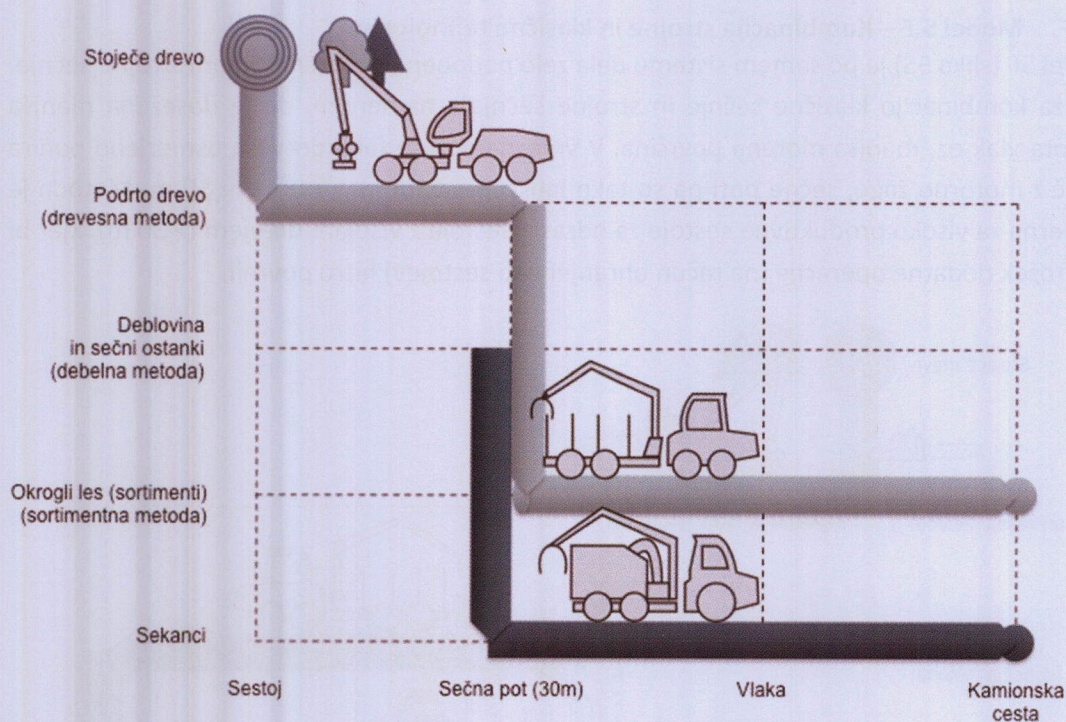
Model 5F (slika 55) je po samem sistemu dela zelo podoben ostalim modelom strojne sečnje. Gre za kombinacijo klasične sečnje in strojne sečnje z namenom, da je dosežena manjša gostota vlak oz. manjša motena površina. V vmesnem pasu tako drevesa usmerjeno podira sekač z motorno žago, sečne poti pa so tako lahko predvidene v razmaku 50 m. Metoda je primerna za visoko produktivne sestoje za odrasle sestoje z visokim drevjem (> 30 m), kjer bi se strošek dodatne operacije (na račun ohranjenosti sestojev) hitro povrnil.



Slika 55: Shema modela 5/različica F – kombinacija strojne in klasične tehnologije

G. Model 5.G - Strojna sečnja (sekalnik na sečnih poteh)

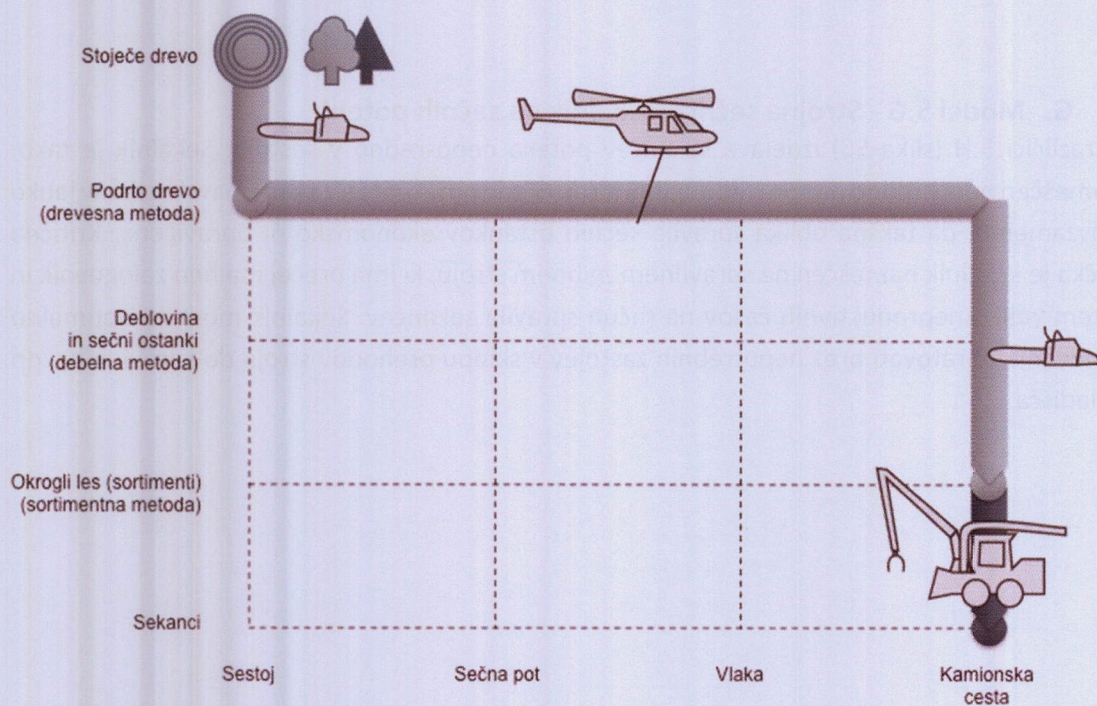
V različici 5.H (slika 56) izdelava sekancev poteka neposredno v sestoji. Sekalnik je tako, nameščen neposredno na pravilno zgibni stroj. Glede na izkušnje iz skandinavskih držav lahko povzamemo, da takšna oblika spravila sečnih ostankov ekonomsko ni upravičena. Kritična točka je sekalnik nameščen na pravilnem zgibnem stroju, ki ima precej majhen zalogovnik in s tem veliko neproduktivnih časov na račun spravila sekancev. Sekalnik mora za optimalno delovanje obratovati brez nepotrebnih zastojev v sklopu prehodov stroja do surovine oz. do skladišča.



Slika 56: Shema modela 5/različica G – strojna sečnja (sekalnik na sečnih poteh)

3.6 Model 6 – Spravilo po zraku (drevesna metoda)

Zračno spravilo (slika 57) je primerno na nedostopnih terenih, kjer se nahajajo večje koncentracije kakovostnega lesa.



Slika 57: Shema modela 6 – spravilo po zraku (drevesna metoda)

Tovrstna oblika spravila za seboj prinese visoke stroške in ni primerna zgolj za pridobivanje lesnih goriv lahko pa so ti dodana vrednost k proizvodnji visoko kakovostne hlodovine. Da je spravilo s helikoperji učinkovito, je v največji možni meri odvisno od organizacije del, ki se v marsičem razlikuje od klasičnih oblik spravila (Adamič, 2007). V Sloveniji največji problem omenjenega tehnološkega modela poleg visokih stroškov in zahtevne organizacije predstavlja pomanjkanje primernih terenov. Adamič (2007) ugotavlja, da je z upoštevanjem kriterijev naklona terena (nad 50%) in razdalje do prve prometnice (nad 1000m) potencialno primernih območij za helikoptersko spravilo v Sloveniji 20.872 ha kar znaša 1,87% celotne gozdne površine v Sloveniji.

3.7 Odstotek motene površine

V poglavju 2 je bilo predstavljenih 14 tehnoloških modelov, kjer ob sečnji in izdelavi okroglega lesa vzporedno ali neposredno po tem izdelujemo lesne sekance. Od predstavljenih modelov le dva (model 1 in model 6) ne zajemata gibanja strojev izven ceste. Vsi ostali modeli zahtevajo najmanj izgradnjo vlak.

Modeli 2, 3 koristijo samo stalne vlake, ki so v tem primeru načrtovane vnaprej v tehnološkem delu gozdnogojitvenega načrta. Pri načrtovanju omrežja grajenih in pripravljenih vlak je potrebno upoštevati tako splošne usmeritve za gradnjo vlak (2009a; 2009b), kot tudi podrobne usmeritve glede širine planuma vlake (do 3,5m v premi) in največje dovoljene gostote. Slednja se v odvisnosti od vrste terenov giblje med 130 m/ha in 180m/ha (2009a).

Grajene gozdne prometnice niso izločene iz gozdnih površin. Z njihovo izgradnjo načrtno spreminjamo naravne lastnosti gozdnih tal v smeri večje nosilnosti in varnejše vožnje namenskih vozil. Pri tem ne gre le za cestišče gozdne ceste in planum vlake, ampak za tlorisno površino celotne prometnice. V slovenskih gozdovih prevladujejo grajene prometnice z mešanim profilom, kjer je praviloma prisotna tako odkopna, kot tudi nasipna brežina.

Povprečna odprtost slovenskih gozdov s cestami je okoli 20 m/ha. Povprečna odprtost traktorskih terenov z grajenimi/stalnimi vlakami v slovenskih gozdovih je okoli 80 m/ha. Za praktične potrebe lahko ocenimo povprečno tlorisno širino celotne gozdne ceste na 7 metrov in stalne vlake na 5 metrov. Ob takih predpostavkah znaša povprečna obremenitev traktorskih terenov s trajno infrastrukturo 540 m/ha, kar je 5,40 % površine gozda. To je t.i. trajno žrtvovana površina gozda za potrebe pridobivanja lesa. Od tega je vpliv cest do 1 % (pri gostoti cest 20 m/ha in ob upoštevanju polovične dolžine ceste ob delovišču).

Tehnološki modeli izdelave sekancev, pri katerih sodelujejo stroji za sečnjo (modeli 5.A. – 5.G.) ter model 4 zajemajo poleg vožnje strojev po vlakih tudi vožnjo strojev po naravnih gozdnih tleh oziroma po brezpotju. Do uvajanja strojne sečnje v Sloveniji smo zakonsko v celoti prepovedovali vožnjo gozdarske mehanizacije izven gozdnih prometnic.

Vzrok temu je velika občutljivost naravnih gozdnih tal na statične, še bolj pa na dinamične obremenitve, ki nastajajo pri vožnji po brezpotju.

Neposredno ob vožnji prihaja do zbijanja tal in mešanja talnih horizontov, kasneje pa pod vplivom meteoroloških dejavnikov še do premeščanja tal (izpiranje, odlaganje). Zbijanje tal je ob gradbenih posegih zaželen postopek povečevanja nosilnosti in trdnosti tal, v pogojih koreninjenja in rasti gozdne vegetacije pa zelo neneželen pojav, ki spremlja božno po brezpotju. Govorimo o poškodbah tal. Študije o negativnih vplivih kolesa na gozdna tla spremljajo gozdarsko stroko praktično od druge svetovne vojne dalje, od pojava prvega traktorja v gozdu. Kljub obsežnemu strokovnemu delu na tem področju, modeli za napovedovanje deformacij in fizioloških posledic le teh ostajajo relativno nezanesljivi.

Na poškodbe tal pri vožnji po brezpotju vplivajo lastnosti in stanje tal v trenutku obremenitve ter lastnosti stroja in način njegovega obremenjevanja talnega profila. Zadnje ugotovitve novjših tujih (Labelle, Jaeger 2012; Majnounian, Jourgholami 2013) in domačih (Mali, Košir 2007; Cerjak 2011) študij potrjujejo pretekle raziskave na tem področju, ki so:

- Stroji za sečnjo in traktorji z dvakratno vožnjo po naravnih tleh (to odgovarja prazni vožnji do sortimentov in polni vožnji nazaj po istih kolesnicah) povzročijo med 50 in 70 % vseh deformacij v tistih okoliščinah (vlažnost, obtežba).
- Vplivno območje deformacij sega pod tloris kolesnic in tudi preko njega (Bousienesq-ov diagram deformacij), vendar se v praksi za deformirano območje šteje celoten pas znotraj zunanjih robov kolesnic.
- Pri danem tipu tal so poškodbe bolj izrazite pri večji vlažnosti tal in večjem naklonu terena.
- V danih naravnih pogojih so poškodbe tal istega stroja z manjšim statičnim pritiskom (širše pnevmatike, nižji tlaki v pnevmatiki, tandemske osi) manjše.
- Aktivno zmanjševanje negativnih posledic gozdarske mehanizacije je mogoče dosegati s skrbno izbiro stroja, strojnika, vremenskih/vlažnostnih razmer ter s polaganjem sečnih ostankov pod kolesa.

Z vidika pridobivanja drobne biomase v sestoji za izdelavo zelenih sekancev se pri aktivnem zmanjševanju negativnih posledic gozdarske mehanizacije na tla srečamo s konkurenčno rabo sečnih ostankov. Košir in Robek (2000) sta na primeru študije 'Žekanec' ugotovila, da je za dokazljivo zmanjšanje zbitosti v kolesnicah potrebno vsaj 10-15 cm potlačene debeline sečnih ostankov. Labelle in Jaeger (2012) v raziskavi, ki je podrobno preučevala učinke sečnih ostankov na zbitost, ugotavljata:

- Količina sečnih ostankov, potrebnih za učinkovito zaščito tal pred zbijanjem, je močno odvisna od vrste tal.
- Poleg debeline odeje sečnih ostankov je zelo pomembna tudi enakomerna razporeditev debelin vej, pri čemer maksimalne debeline naj ne bi presegle 7,5 cm.
- V razmerah, ko imamo pri danem poseku na voljo 130 m³/ha etatne mase, je mogoče pričakovati do 50 ton/ha sveže drobne biomase. Kar 70 % te drobne biomase je potrebno uporabiti na vlaki, za preprečitev deformacij, le 30 % jo je komercialno izkoristljive za izdelavo sekancev.
- Učinek preproge sečnih ostankov se z večanjem števila prehodov zmanjšuje, prav tako pa teh sečnih ostankov po koncu ni več mogoče pobrati in uporabiti za izdelavo zelenih sekancev (umazani, zdrobljeni in vtisnjeni v podlago).

V primerih izkoriščanja drobne biomase na delovišču je v realnih sečiščih v Sloveniji premalo sečnih ostankov za oba namena, kar pomeni, da je se je potrebno z izvedbo prilagoditi sušnim razmeram, izbrati velikost in opremljenost strojev za določene vrste tal ter večino sečnih ostankov predelati v sekance.

V zadnjih 13 letih je bilo v Sloveniji opravljenih več meritev obsega poškodovanih površin zaradi vlak in sečni poti. Košir in Robek (2000) sta ugotovila na kraškem terenu širino stalnih negrajenih vlak pri strojni sečnji 3,60 metra in sečnih poti 3,50 metra ter skupno gostoto vseh sečnih poti in vlak v višini 485 m/ha. Če predpostavimo, da je vsaka sečna pot trajna deformacija in upoštevamo povprečno vrednost širin prometnic ter njihovo skupno gostoto, dobimo 17,2 % motenih površin. Žlogar (2007) je za 77 ha veliko delovišče na območju Unca ugotovil povprečne širine sečnih poti pri traktorskem spraviu 2,90 m in pri strojni sečnji 3,50 m ter gostoto vseh vlak pri traktorskem spraviu 147 m/ha in gostoto vseh poti pri strojnih sečnji 359 m/ha. Izračunani odstotki motene površine so za traktorsko spraviu 4,30 %, za strojno sečnjo pa 12,6 %. Zadnje meritve motenih površin pri redčenjih in strojni sečnji na Pohorju in Goričkem je objavil Cerjak (2011). Njegove povprečne izmerjene širine sečnih poti so bile med 3,70 m in 4,20 m. Gostote sečnih poti so bile preko 500 m/ha, odstotki motene površine tal pa 19,4 % oziroma 21,9 %. Vse navedene raziskave so predpostavljale, da je vsaka vidna sečna pot (meritve opravljene neposredno po izvedbi del) trajna motnja in da so na deloviščih prisotne samo negrajene vlake oziroma vlake brez brežin. Deleža motenih površin cest, niso upoštevali. Razlike v vseh izmerjenih parametrih so relativno velike, največje seveda med traktorskim spraviu in strojno sečnjo.

Za ugotavljanje obsega po strojni sečnji poškodovanih tal je Wästerlund (2002) razvil, Košir (2010) pa poslovenil preglednico 23, v kateri je ustreznost poškodb tal prikazana v odvisnosti od obsega in jakosti poškodb tal. Kazalnik jakosti poškodb tal je povprečna globina kolesnic, kazalnik obsega poškodb tal pa delež motene površine (izražen v odstotku površine delovišča).

Preglednica 23: Obseg in jakost dopustnih motenj tal pri strojni sečnji (vir: Košir 2010 po Wästerlund 2002)

Globina kolesnic (cm)	Delež motene površine (%)			
	< 10	10 - 19,9	20 – 29,9	30 <
< 5	NE	NE	Zmerno	Veliko
5 - 9,9	NE	Zmerno	Veliko	Resno
10 – 14,9	Zmerno	Veliko	Resno	Resno
15 - 19,9	Veliko	Resno	Resno	Nesprejemljivo
20 <	Nesprejemljivo	Nesprejemljivo	Nesprejemljivo	Nesprejemljivo

Preglednico 23, ki se je v zadnjem času precej uveljavila v našem okolju, je po našem težko uporabiti za praktično rabo, saj za določitev povprečne vrednosti zahteva velik vložek v objektivno določanje povprečne globine kolesnic.

Ker za vsakodnevno izvajanje del potrebujemo mejne vrednosti poškodb tal, predlagamo za delovišča, kjer se poleg izdelave oblovine zbirajo tudi sečni ostanki za proizvodnjo zelenih sekancev, poenostavljeno preglednico mejnih vrednosti dopustnih odstotkov motene površine tal (preglednica 24), ki upošteva naslednje podmene:

- obstoječe gozdne in lokalne ceste v povprečju prispevajo k obsegu površin motenih tal v gozdu 1%;
- traktorski tereni v Sloveniji imajo danes v poprečju 80 m/ha (povprečni razmik 125 m) trajnih/grajenih vlak s povprečno širino 5 m, kar prispeva 4 % k obsegu površin motenih tal v gozdu;
- nadaljnja gostitev 'omrežja' poteka po ravnejših terenih bodisi z vožnjo po brezpotju ali s t.i. pripravo vlak (odstranitev večjih ovir), kjer privzamemo povprečno širino kolesnice oziroma planuma 3,50 m;
- posamezna vožnja stroja (kolesnik ali goseničar) po sečne ostanke je sestavljena iz prazne vožnje (brez tovara) do mesta pobiranja ter iz polne vožnje (s tovorom) praviloma po isti poti nazaj do vlake ali ceste;
- posamezna vožnja pri izvozu sečnih ostankov ne predstavlja dolgoročnega ekološkega tveganja, če je bila opravljena izven obdobja nasičenosti tal z vodo;
- ponavljajoče vožnje po istih koridorjih oblikujejo površine motenih tal zaradi gibanja strojev po brezpotju;
- pri izračunavanju površin motenih tal izven grajenih prometnic empirično upoštevamo 70 % delež sečnih poti, na katerih prihaja do ponavljajočih voženj po brezpotju in to ne glede na globino kolesnic.

Preglednica 24: Odstotek dopustne motene površine tal zaradi proizvodnih procesov

Razmik sečnih poti (m)	Površina poti* (m ² /ha)	Delež površine** (%)
20	1029	15
40	417	10
60	213	8
80	110	6

* upošteva 3,50 m za povprečno širino sečne poti, 70 % delež sečnih poti, na katerih prihaja do ponavljajočih voženj ter ne upošteva delež grajenih prometnic

** zaokroženo, vključno s 5 % povprečnim deležem motene površine zaradi grajenih prometnic

Praktična uporaba preglednice 23 je predvidena v primeru dvoma v primernost obsega poškodb tal tekom izvajanja del, neposredno po končanih delih oziroma najkasneje v roku 3 mesecev po koncu del. V takem primeru je potrebno ugotoviti tlorisno površino delovišča ter skupno dolžino vseh trajnih prometnic in sečnih poti ter izračunati dejanski obseg motenih površin za vse grajene prometnice in 70% motenih površin za sečne poti. Za povprečne širine posameznih skupin prometnic privzamemo zgoraj podane vrednosti. Globine kolesnic ne ugotavljamo. Rezultate je potrebno primerjati za dejanski tehnološki model in njemu pripadajoči nazivni razmik sečnih poti.

3.8 Odločitvena matrika ("Decision-making tool")

Tekom študije smo že spoznali, da na poškodbe tal pri vožnji po brezpotju najbolj vplivajo lastnosti in stanje tal v trenutku obremenitve ter lastnosti izbrane mehnizacije in način njegovega obremenjevanja talnega profila. Pri načrtovanju gozdno-lesnih verig gre torej za odločanje o tehnologijah po ustreznosti glede na dane terenske in vremenske razmere. Omenjeni vidiki so bili naše glavno vodilo pri oblikovanju odločitvene matrike (slika 58). Ta obravnava predlagane tehnološke modele razdeljene po primernosti glede na tip tal, vremenske razmere in naklon terena.

	do 35%		35% - 60%		nad 60 %	
Šota	6	6				
Globoka silikatna tla	2, 3	2, 3, 5.B, 5.F	1, 2, 3	1, 2, 3	1	1
Globoka karbonatna tla	2, 3, 5.B, 5.F	2, 3, 4, 5.A, 5.B, 5.C, 5.D, 5.E, 5.F, 5.G	1, 2, 3	1, 2, 3, 5.B*, 5.F*, (5.E??)	1	1
Plitva tla	2, 3, 4, 5.A, 5.B, 5.C, 5.D, 5.E, 5.F, 5.G	2, 3, 4, 5.A, 5.B, 5.C, 5.D, 5.E, 5.F, 5.G	2, 3, 4, 5.B, 5.C, 5.D, 5.F	2, 3, 4, 5.A, 5.B, 5.C, 5.D, 5.F	1	1
	vlažna tla	suha tla	vlažna tla	suha tla	vlažna tla	suha tla

* Tehnologije primerne samo na naklonih od 35 % - 40 %

Slika 58: Odločitvena matrika za izbor primerne tehnološkega modela

Ob pripravi matrike smo v prvi fazi razvrstili tla glede na nosilnost tal (sposobnost tal, da podprejo breme, ki pritiska na tla), tako obravnavamo štiri povsem različne tipe tal. Za potrebe tega projekta nosilnih kapacitet tal v Sloveniji nismo proučevali, temveč smo jih povzeli po literaturi (Owende 2009) in jih na podlagi dosedanjih spoznanj prilagodili našim razmeram. Za potrebe odločitvene matrike tako obravnavamo naslednja tla (od mehkih tal do trdnih tal):

- Šotna tla (zelo mehka tla),
- Globoka silikatna tla (mehka tla),
- Globoka karbonatna tla (povprečna tla) in
- Plitva tla (trda tla).

Zavedati se moramo, da se z vremenskimi pogoji (daljša deževna obdobja, suše...) precej spreminjajo tudi lastnosti tal. Predvsem trdnost tal se ob nasičenosti tal z vodo precej zmanjša in s tem tudi nosilna kapaciteta tal, zato obravnavane talne tipe obravnavamo tako v suhih kot v vlažnih razmerah (suha tla, vlažna tla).

V tej študiji smo že omenili, da so obremenitve tal na osi stroja močno odvisne tudi od naklona terena. Razporeditev mase na vozilu je v ravnini povsem drugačena kot na velikih naklonih. Rezultati raziskav (Marenče, 2000, 2005) kažejo zakonitosti prenašanja teže na zadnjo os pri spravi navzgor ter prenašanje obremenitev na sprednjo os pri spravi navzdol. Spremembe tehničnih lastnosti izbrane tehnologije so tako ključnega pomena pri odločanju o tehnološkem modelu in smo jih zato vključili tudi v odločitveno matriko.

Odločitvena matrika je torej pripomoček, s katerimi pristopimo k izvedbenemu načrtovanju oziroma kot jo v praksi imenujemo, k pripravi dela. Sodobna priprava dela ni le orodje za racionalizacijo proizvodnje (Košir 2004) in za povečevanje gospodarskih vidikov proizvodnje, pač pa tudi za obvladovanje okoljskih vidikov pridobivanja lesa in lesne biomase. V Sloveniji je v državnih gozdovih izvedbeno načrtovanje deljeno med naloge javne gozdarske službe ter med koncesionarje.

Javna gozdarska služba s pomočjo tehnološkega dela gozdnogojitvenega načrta opredeljuje robne pogoje za izbor tehnološkega modela. Razpolagajo z reliefnimi, geološkim in pedološkimi podatki ter s količino in strukturo grajenih (načrtovanih) gozdnih prometnic. Glede na predvidene količine in vrste gozdnih lesnih sortimentov je mogoče uporabiti odločitveno matriko za **okvirni izbor dovoljenih tehnoloških modelov**.

Izvedbeno načrtovanje je na strani izvajalcev del v državnih gozdovih (koncesionarjev) predpisano. Odločitveno matriko izvajalci del lahko uporabijo v fazi sečnospravnega načrtovanja, pri katerem je že znan rok izvedbe del in tekom samega izvajanja del. V obeh primerih je spremenljivka vlažnost tal, ki se krajevno in časovno zelo spreminja. Dodatni vplivni dejavnik je še vrsta ter opremljenost stoja. Slednja dva sta odvisna tudi od operativnega poteka del (kvart, dobavni roki), zato izvajalci del uporabljajo odločitveno matriko za **dejanski izbor tehnoloških modelov**.

3.9 Razprava

Naraščajoče cene fosilnih goriv so pripeljale do vse večje zahteve javnosti po izrabi naravnih potencialov. K temu z izvajanjem akcijskega načrta »Les je lep« (MKO in MGRT 2012) strmi tudi država, ki se je zavezala do leta 2020 povečati delež obnovljivih virov v energetske bilanci. Lastnikom gozdov se tako ponuja nova tržna niša s »postranskimi« gozdnimi proizvodi in se tako vse pogostejše odločajo tudi za gospodarjenje s sečnimi ostanki. Pojavljajo se nove tehnologije in z vsakim novim strojem v gozdu se odpira veliko vprašanj predvsem glede obremenitev okoljskih oz. ekoloških dejavnikov.

S spremenjenimi tehnologijami pridobivanja lesa, se je spremenila proizvodnost in ekonomičnost pridobivanja lesa, vendar so se spremenili tudi negativni vplivi teh tehnologij na gozd. Žal je trenutno gospodarska situacija takšna, da si konkurenčnost na trgu tehnologij in dela lahko posamezniki zagotavljajo le z zanemarjanjem kakšne od okolju prijaznih zahtev. Dragi sodobni stroji zahtevajo ustrezno usposabljanje ne le strojnikov, temveč tudi vodstvenega in drugega tehničnega osebja (Košir, 2010). Ustrezna usposobljenost strojnika je v primeru strojne sečnje izjemno pomembna na stališča poškodovanosti sestojev (Pezdevšek Malovrh Š., Košir B., Krč J. 2004). Poškodbe sestojev pa niso edini tip poškodb. V gozdnem ekosistemu so lahko problematične tudi poškodbe tal. Za izločitev slednjih je včasih dovolj že enostaven ukrep, kot je zmanjšanje pritiska v pnevmatikah. Košir v študiji »Gozdna tla kot usmerjevalec tehnologij pridobivanja lesa« ugotavlja, da pri zmanjšanju tlaka v kolesih iz 3,5 bar na 1,5 bar se zmanjša tlak na podlago za 35 %. Ta podatek sicer velja le za pnevmatike brez goseničnih verig, saj te zahtevajo bistveno višji tlak v pnevmatikah. Celostno pa je problem poškodb tal potrebno gledati širše in razumeti, da težki stroji niso primerni za vse tipe gozdnih tal.

Gozdarstvo je od nekdaj vpeto v na lesu temelječo lesno predelovalno industrijo, ki se danes globalizira. Tudi na področju lesne biomase gozdarstvo postaja del trajnostne energetike. Celostna optimizacija oskrbovalnih verig z obeh sektorjev sega tako precej nazaj in že dalj časa trka na vrata gozdarstva (Carlsson, Rönkvist 2004). Vse bolj se pojavljajo orodja, ki enakovredno vključujejo presojo trajnostnih vidikov gozdne proizvodnje. Ta za svoj okvir uporabljajo celoten sektor gozdarstva (npr. 2013) ali pa regijo (Sacchelli in sod. 2013), ki pa za odločitve na ravni delovišč niso neposredno uporabne.

Odločitvena matrika, skupaj s tehnološkimi modeli predstavlja pripomoček za izvedbeno načrtovanje pridobivanja lesa in lesne biomase v konkretnih deloviščih. Z njeno uporabo ne dosegamo neposredne racionalizacije proizvodnje ampak artikuliramo okoljske vidike proizvodnih verig v gozdu, zlasti tistih, ki vsebujejo tako pridobivanje lesa, kot tudi pridobivanje zelenih sekancev.

Odločitvena matrika je prvenstveno namenjena pripravi dela, a jo je mogoče s pridom uporabiti tudi tekom izvajanja del, ko se spremenijo pogoji dela:

- spremenijo se vlažnostne razmere v delovišču,
- pokvaril se je stroj in je potrebno izbrati nadomestno mehanizacijo
- zaradi zapolnitve kapacitet se uporabi drug/nepredviden stroj.

Predstavljena odločitvena matrika neposredno ne vključuje odstotka motenih površin, posredno pa ga vključuje v tehnološkemu modelu s pripadajočim povprečnim razmikom sečnih poti. Dejanski obseg gibanja strojev po naravnih gozdnih tleh je znotraj tehnološkega modela v veliki meri odvisen tudi od ozaveščenosti izvajalcev del in kakovosti nadzora sečišč. Na področju ozaveščenosti poklicnih izvajalcev del je bilo narejeno nekaj korakov v pravo smer (izobraževanja, kontrole), a je cilj še daleč. Slabše razmere so pri ozaveščenosti izvajalcev del v zasebnih gozdovih, zlasti tam, kjer dela ne izvaja lastnik sam. Pogodbeni izvajalci del zlasti v razmerah odkupa lesa na panju pogosto zanemarjajo okoljske vidike. V takih primeri in tudi sicer, je izvedbeni nadzor ključnega pomena za poškodbe tal in preostalega drevja v sestoju.

Pri izvedbenem nadzoru je potrebno odločitveno matriko kombinirati z izmero poškodb tal (vzorčno ali polni popis) in v primeru večjih odstopanj od mejnih vrednosti v (preglednica 5) dela ustaviti. Odločitvena matrika je tako tudi pripomoček za arbitražo izvedenih del.

3.10 Zaključki

1. Uporabnost tehnoloških modelov, skupaj z odločitveno matriko in preglednico deležev dopustne motene površine smo razvili na podlagi tujih izkušenj in lastnih študij proizvodnih verig proizvodnje zelenih sekancev.
2. Predstavljena orodja so pripomoček za praktično odločanje pri izbiri najustreznejše tehnologije pridobivanja lesa in zelenih sekancev na delovišču tako v fazi gozdnogojitvenega načrtovanja, kot tudi v fazi sečnospravnega načrtovanja in operativnega vodenja del.
3. Ne smemo dovoliti, da nas zanese v enostransko - okoljsko naravnano presojo proizvodnih verig. Za celovito presojo pri izbiri tehnološkega modela je potrebno v konkretnih pogojih upoštevati tudi ekonomske kazalce, ki jih v tej študiji nismo obravnavali.
4. Razvita orodja in postavljene empirične mejne vrednosti je sedaj potrebno v praksi preveriti in dopolniti v smislu praktične uporabnosti ne le za proizvodne verige povezane izdelavo zelenih sekancev temveč celotnega izkoriščanja gozdov.

3.11 Viri

- Adamič T. 2007. Organizacijske posebnosti helikopteske izvedve spravila lesa. Biotehniška fakulteta. Univerza v Ljubljani, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive vire: 71 str.
- Carlsson D., Rönqvist M. 2004. Supply chain managemet in forestry – case studies at Södra Cell AB. European journal of operational research, 163, p. 598-616.
- Cerjak B., 2011. Poškodbe tal po strojni sečni in spravilu lesa v redčenjih. Diplomsko delo, Ljubljana, UL BFG, 72 s.
- Čebul, T., Krajnc, N., 2012. Predelava lesa v energetske namene = Wood processing for energy purposes. *Gozd. vestn.*, 2012, letn. 70, št. 7/8, str. 317-321, ilustr.
- Erlor, J. Weiß, M. 2003. Netz-Darstellung von Arbeitsverfahren. Forsttechnische Informationen, 54, 9, s. 103-107.
- Erlor, J. Dög M. 2009: Funktiogramme für Holzernteverfahren, der Beitrag erschien in den FTI 9+10/2009.
- Forst Holz Papier, 2010, Harvester und Forwarder in der Holzernte, FHP Kooperationsplattform Forst Holz Papier, 168 str.
- Klun J., Sinjur, I., Medved M., 2009. Katalog stroškov Gozdarske mehanizacije. Gozdarski inštitut Slovenije, <http://www.gozdis.si/>, (30.9.2013)
- Košir, B., Robek, R. 2000. Značilnosti poškodb drevja in tal pri redčenju sestojev s tehnologijo strojne sečnje na primeru delovišča Žekanc. *Zb. gozd. lesar.* Št. 62, str. 87-115.
- Košir, B. 2004. Priprava dela za strojno sečnjo. *Gozd. vestn.*, 62, št. 1, str. 25-31.
- Košir B. 2010. Gozdna tla kot usmerjevale tehnologij pridobivanja lesa. (ur.) Ljubljana, Biotehniška fakulteta pri Univerzi v Ljubljani, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 80 str.
- 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. *Gozd. vestn.*, letn. 69, št. 10, str. 447-458
- Krajnc N., Piškur M. 2009. Proizvodnja in raba lesne biomase v Sloveniji. *Gozd. vestn.*, letn. 67, št. 9, str. 399-403.
- Krajnc N., Piškur M. 2011. Potenciali in perspektive rabe lesne biomase v Sloveniji. *Gozd. vestn.*, letn. 69, št. 4, str. 239-243.
- Majnounian B., Jourgholami M. 2013. Effects of rubber-tired cable skidder on soil compaction in Hyrcanian forest. *Croat. J. for. Eng.*, 34, vol. 1. p. 249-274.
- Mali B., Košir B. 2007. Poškodbe tal po strojni sečnji in spravilu lesa z zgibnim polprikolničarjem. *Gozd. vestn.*, letn. 65, št. 3, str. 131-142.

- Marenče J. 2000. Ugotavljanje tehničnih parametrov traktorja Woodz 110 (metodologija in merilni instrumenti). Zb. referatov. Biotehniška fakulteta. Univerza v Ljubljani, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive vire. str. 208-228
- Marenče J. 2005. Spreminjanje tehničnih parametrov traktorja pri vlečenju lesa – kriterij pri izbiri delovnega sredstva. Biotehniška fakulteta. Univerza v Ljubljani, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive vire. 271 str.
- Mihelič M. (ured.). 2013a. Vodila dobrega ravnanja pri izvajanju strojne sečnje. Delovno gradivo.
- Mihelič M. (ured.). 2013b. Poročilo projekta CRP V4-1126 Možnosti in omejitve pridobivanja biomase iz gozdov, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Ljubljana. Delovno gradivo.
- Labelle E.R., 2012. Jaeger D. Quantifying the use of Brush mats in reducing Forwarder peak loads and surface contact pressures. Croat. J. for. Eng., 33, vol. 2. p. 249-274.
- MKO in MGRT (RS Ministrstvo za kmetijstvo in okolje in RS Ministrstvo za gospodarski razvoj in tehnologijo). 2012. 'Les je lep' - Akcijski načrt za povečanje konkurenčnosti gozdno-lesne verige v Sloveniji do leta 2020. http://www.mgrrt.gov.si/fileadmin/mgrrt.gov.si/pageuploads/DPK/3_Les_je_lep_naslovnica_kazalo_novo.pdf
- Owende P.M.O., Lyons J., Ward S.M. 2009. Operations Protocol For Eco-Efficient Wood Harvesting On Sensitive Sites. V:(ur.) 74 str.
- Pezdevšek Malovrh Š., Košir B., Krč J. 2004. Analiza učinkovitosti učenja strojnika na stroju za sečnjo. Zb. gozd. lesar., št. 75, str. 53-69.
- Sacchelli S., Zambelli P., Zatelli P., Ciolli M. 2013. Biomassfor: an open-source holistic model for the assessment of sustainable forest bioenergy. Journal of Biogeosciences and Forestry, vol. 6, pp. 285-293.
- Žlogar, J., 2007. Primernost traktorskih vlak za vožnjo z zgibnim polprikolničarjem. Diplomsko delo, Ljubljana, 68 s.
- Wästerlund, I., 2002. Soil disturbance in forestry: problems and perspectives. V: Proceedings of the International Seminar on new Roles of Plantation Forestry Requiring Appropriate Tending and Harvesting Operations, Sept 29th – Oct. 5th, 2002, Tokyo Japan, The Japan Forest Engineering Society and IUFRO W6 3.04/3: 312-315.
- 2009a. Pravilnik o gozdnih prometnicah. Uradni list RS št. 4/2009.
- 2009b. Pravilnik o varstvu gozdov. Uradni list RS, št. 114/2009.
2012. URL: <http://www.forestenergy.org/pages/images/>, dostop oktober 2013.
2013. ToSIA - Tool for Sustainability Impact Assessment. URL: <http://tosia.efi.int/>, dostop oktober 2013.

3.12 Priloge

Priloga 1: Nominalni tlak strojev na tla

Tehnologija	Stroj	Masa praznega vozila (bruto)	Masa tovora	Skupna masa	Skupna masa (kN)	Št. koles	Dimenzije pnevmatik	Radij prevmatik	Širina pnevmatik	Povprečen NGP	Povprečen NGP z verigami
Sečno spravilni stroj (harvester)	Timberjack 1070	13500	0	13500	132.39	4	700/45-22.5	0.58	0.7	54	
						2	650-26.5	0.66	0.65		
Stroj za sečnjo (harvester)	John Deere 1470D Ecolli	19700	0	19700	193.19	8	700	0.71	0.7	49	
							650		0.65		
Sečno spravilni stroj (harvester)	John Deere 1470E	20700	0	20700	203.00	4	650/26.5-20	0.59	0.65	88	
						2	750/34-16	0.63	0.75		
Zgibni prikoličar (forwarder)	John Deere (Timberjack) 1010 D	12500	11000	23500	230.46	4	650/26.5-20	0.59	0.65	55	37
						2	750/34-16	0.63	0.75		60
Zgibni prikoličar (forwarder)	John Deere 1410 Ecolli	16900	14000	30900	303.03	8	700x26.5, 20 PR ELS NK	0.60	0.70	55	37
											60
Adaptirani kmetijski traktor	Zetor Proxima Plus 105 41	4500		4500	44.13	4	12.4 - 24	0.33	0.32	81	
							16.9 - 34	0.47	0.42		66

Tehnologija	Stroj	Masa praznega vozila (bruto)	Masa tovora	Skupna masa	Skupna masa (kN)	Št. koles	Dimenzije pnevmatik	Radij prevmatik	Širina pnevmatik	Povprečen NGP	Povprečen NGP z verigami
Prilagojen kmetijski kolesni traktor	John Deere 6220	6699		6699	65.69	4	320/70 - 24	0.33	0.32	151	
							16.9 - 30	0.47	0.42	82	
Prilagojen kmetijski kolesni traktor	John Deere 6230	6939		6939	68.05	4	320/70 - 24	0.33	0.32	156	
							16.9 - 30	0.47	0.42	85	
Prilagojen kmetijski kolesni traktor	Landini vision 105	6457		6457	63.32	4	12.4 - 24	0.34	0.32	146	
							18.4 - 30	0.47	0.42	79	
Prilagojen kmetijski kolesni traktor	Massey Ferguson 4245	6025		6025	59.09	4	320/70 - 24	0.34	0.32	136	
							480/70 - 30	0.47	0.42	74	
Traktorska prikolica	Palms 81 prikolica s Palms 625 dvigalom	1770	8000	9770	95.81	4	11.5/80-15.3	0.23	1	102	
Zgibnik	Woody 110	6500	0	6500	63.74	4	500/60-26.5	1.10	0.5	29	
Forwarder	Novotny LVS 5000	4475	5000	9475	92.92	8	500/45-25	0.89	0.5	26	
Mini bager	Yuchai YC35-8	3740	0	3740	36.68	2				175	
Spravilo s konjem	konj	550	0	550	5.39	4				170	
Traktorska prikolica	Palms 122 z dvigalom Palms 700	3072	12000	15072	147.81	4	500/50-17	0.23	1	158	

4 Tehnološki, okoljski in ekonomski vidiki pridobivanja zelenih sekancev

(Dr. Nike Krajnc, Matevž Triplat, mag. Mitja Piškur, Jaka Klun, mag. Robert Robek, Tine Premrl dr. Klemen Eler, dr. Milan Kobal, dr. Primož Simončič)

4.1 Uvod

V Sloveniji se je šele v zadnjih letih pokazalo večje zanimanje za izdelavo in trženje sekancev iz sečnih ostankov, oziroma izdelavo tako imenovanih zelenih sekancev. Skladno z EU standardom SIST EN 14588:2010 so zeleni sekanci lesni sekanci izdelani iz svežega lesa in svežih sečnih ostankov (sečni ostanki vključujejo veje in vrhače). Ker do sedaj ni bilo veliko domačih študij, ki bi celovito obravnavale različne vidike izdelave zelenih sekancev, smo v okviru CRP projekta »Možnosti in omejitve pridobivanja biomase iz gozdov (V4- 1126; 1.10.2011 – 30.09.2013)« in mednarodnih projektov »PROFORBIOMED« ter projekta »ManFor CBD«, ki ga sofinancira EU v okviru programa MED ter Life+, izvedli meritve na štirih izbranih testnih območjih. Izbrana območja smo poimenovali:

1. Nanos – smreka
2. Vremščica – črni bor
3. Vremščica – črni gaber
4. Trnovo – mešan gozd

Na vsakem testnem območju smo izbrali in na terenu zakoličili dve ploskve po 0,25 ha (50m*50m). Za vsako testno območje smo po dogovoru z lastnikom določili eno ploskev na kateri bomo pospeševali pridobivanje sečnih ostankov in eno ploskev na kateri bomo pospeševali proizvodnjo okroglega lesa. V našem primeru pomeni pospeševanje proizvodnje zelenih sekancev prilagoditev pri krojenju oziroma prilagoditev v fazi sečnje. V primeru ko je bila pri sečnji in spravilu uporabljena sortimentna metoda, so pri krojenju na prvih ploskvah izdelali zadnji sortiment pri večjem premeru in pustili krošnjo neokleščeno vej. Na ploskvah, kjer smo pospeševali proizvodnjo sortimentov so bili sortimenti izdelani tako kot običajno in krošnja okleščena. Na sam izbor tehnologij dela na posameznih testnih območjih nismo imeli vpliva, saj se je o tehnologijah in izvajalcih del dogovarjal in odločitve sprejemal lastnik gozda.

Na vseh parih testnih ploskev smo spremljali porabo časa, za posamezno delovno fazo, spremljali smo količine sortimentov in količine lesnih sekancev, vzeli smo vzorce za analizo hranil v tleh in v rastlinskem materialu ter lesu, spremljali smo tudi poškodbe tal.

4.2 Analiza hranil v tleh, rastlinskem materialu in lesu

Rastlinski vzorci (»FOLI«)

Vse analize biomase (vej, listov, iglic, sekancev) so potekale v Laboratoriju za gozdno ekologijo Gozdarskega inštituta Slovenije. Analize so potekale v skladu z veljavnimi ISO mednarodno priznanimi standardi.

Laboratorij LGE/GIS

Vse vzorce smo najprej posušili do konstantne mase na zraku. Nato je sledila priprava vzorcev za analizo. To je pomenilo, da smo vzorce zmelili oz. uprašili v za to primernem mlinu. Liste, iglice in cvetove smo zmelili v planetarnem krogličnem nekovinskem mlinu Fritsch Pulverisette 5 s kroglicami iz ZrO. Trše vzorce (veje, sekance ipd.) pa smo zmelili v rezalnem mlinu Brabender.

V kolikor smo želeli določiti količino hranil na enoto iglice/lista, smo morali prej določiti maso 100 listov / 1000 iglic.

Sledilo je določanje vlage. To smo storili gravimetrično po metodi ISO 11465:1993 z aparatom Sartorius MA 45 (vlagomer z IR grelcem).

Vsebnost ogljika (C), dušika (N) in žvepla (S) v vzorcih smo določili po metodah ISO 10694:1995, ISO 13878:1998 ter ISO 15178:2000 z elementnim analizatorjem LECO CNS-2000. V vseh treh primerih gre za suhi sežig vzorca (cca. 0,2 - 0,5 g) pri 1350° C in infrardečo - IR (CO₂ in SO₂) oz. termoprevodnostno (N₂) analizo sežignih plinov.

Za analizo ostalih hranil (fosfor (P), kalij (K), kalcij (Ca), magnezij (Mg)) v teh vzorcih smo morali najprej pretvoriti vzorce v primerno t. j. tekočo obliko. To smo storili s kislinskim razklopom v mikrovalovni pečici Milestone ETHOS 900 pod povišanim tlakom. Ker za ta postopek ni mednarodno priznanega standarda, smo sledili postopku, opisanem v ICP-Forests priročniku (ICP-forests manual part IV: Sampling and Analysis of Needles and Leaves (last update: 2000 / 2007)). 0,5 g vzorca smo zatehtali v PTFE lončke, prilili 5 mL 65% dušikove (V) kisline (HNO₃) in pustili stati čez noč. Naslednji dan smo prilili 1 mL 70% perklorne kisline (HClO₄), lončke nepredušno zaprli in kuhali 45 min po določenem temperaturnem programu. Lončke smo nato ohladili, previdno odprli, raztopino prefiltrirali skozi naguban filter MN 619 $\frac{1}{4}$ in razredčili z MQ vodo na 50 mL.

Analizo kalija, kalcija in magnezija smo opravili na atomskem absorpcijskem spektrometru Varian SpectrAA DUO 240 FS s plamensko atomizacijo in avtomatskim podajalcem vzorcev. Princip merjenja je uvajanje vzorčne raztopine v plamen gorivne mešanice zrak/acetilen ali N₂O/acetilen in merjenje absorpcije svetlobe pri specifični valovni dolžini elementa, ki ga merimo. Pri določanju magnezija uporabimo tudi devterijevo korekcijo ozadja, kalij pa merimo z atomsko emisijsko tehniko.

Fosfor smo določili po metodi ISO 6878:1998 z molibdensko-modrim in UV-Vis spektrometrom Varian Cary 50 z avtomatskim podajalcem vzorcev. Uporabili smo prej pripravljene (razklopljene) vzorce. Vzorcem smo prilili ustrezne reagente. Po razvitju modre barve smo vzorčne raztopine injicirali v kiveto in pomerili absorpcijo svetlobe pri valovni dolžini 720 nm.

Priprava vzorcev tal je potekala v skladu s standardom ISO 11464:1994. Vzorce smo najprej pri sobni temperaturi posušili do konstantne mase. Sledilo je sejanje skozi nekovinsko 2 mm sito. Za potrebe CNS analize smo vzorce dodatno zmelili v planetarnem krogličnem nekovinskem mlinu Fritsch Pulverisette 5 s kroglicami iz ZrO.

Analiza CNS je potekala enako kot pri foliarnih vzorcih, le da so bile zatehte običajno okrog 200 mg. Pri CNS analizi smo dobili celokupni ogljik, nas pa je zanimal predvsem organski ogljik. Tega smo določili posredno z odštevanjem anorganskega ogljika od celokupnega. Anorganski ogljik (v obliki kalcijevega karbonata - CaCO_3) smo določili volumetrično s Scheiblerjevim kalcimetrom Eijkelkamp: vzorce smo pri konstantnem tlaku prelili s 4 M HCl in izmerili količino nastalega plina, ki je premo sorazmeren vsebnosti karbonatov v vzorcih. $\text{Tot C} - \text{Min C} = \text{Org C}$.

Razklop talnih vzorcev smo opravili po standardu ISO 11466:1995 na aparatu za odprti razklop Gerhardt SMA-20. Postopek: 3 g vzorca smo prelili z 28 mL zlatotopke ($\text{HCl}:\text{HNO}_3$ 3:1). Vzorce smo segrevali 2 uri pri 140°C . Raztopino smo nato ohladili in prefiltrirali skozi naguban filter MN 619 $\frac{1}{4}$ v 100 mL bučko in z 0,5M HNO_3 dopolnili do oznake.

Analiza preostalih hranil (P, K, Ca, Mg) je potekala na enak način kot pri foliarnih vzorcih.

Talnim vzorcem smo potencialno kislost (pH) določili po standardu ISO 10390:2005 v 0,01 M CaCl_2 . Petim (5) mililitrom vzorca smo prilili 25 mL ekstrakcijske raztopine (0,01 M CaCl_2). Suspenzijo smo dobro premešali, da so se tla dobro omočila. Nato smo jih stresali 1 h na rotacijskem stresalniku in pred merjenjem pustili 1 h v prostoru, kjer smo meritev tudi opravili. Tik pred analizo smo suspenzijo ponovno premešali in v usedajoči suspenziji pomerili pH z avtomatskim pH metrom Metrohm Titrino z avtomatskim podajalcem vzorcev in stekleno elektrodo, kombinirano s temperaturno sondo.

Viri:

Določanje pH v vodi

ISO 10523: 1994 Merjenje razlike v potencialu s stekleno elektrodo s temperaturno kompenzacijo Avtomatski pH meter Metrohm

Določanje elektroprevodnosti v vodi

ISO 7888: 1985 Merjenje prevodnosti – elektroprevodnostna elektroda Avtomatski konduktometer Metrohm

Določanje alkalitete

ISO 9963-1:1994 Titracija vodne raztopine z 0,01 M HCl do pH 4,5 in 4,2. Ekstrapolacija na 0. Avtomatski titrator Metrohm

Določanje anionov

ISO 10304-1: 1992 Ionska kromatografija Modularni ionski kromatograf Metrohm z Metrosep A supp 4-250 kolono (do maja 2010) ali Metrosep A supp 5-150 kolono (od junija 2010 naprej).

Določanje kationov

ISO 14911: 1998 Ionska kromatografija Modularni ionski kromatograf Metrohm z Metrosep C 2-150 (do julija 2010) ali Metrosep C 4-150 (od avgusta 2010 naprej) kolono.

Določanje celokupnega dušika v vodah

ISO 11905-1: 1997 Razklop s peroksodisulfatom v pufni mešanici NaOH/H₃BO₃ in avtoklaviranjem. Merjenje absorbance pri 220 nm valovne dolžine UV-Vis spektrometer Varian Cary 50

Določanje DOC v vodah

ISO 8245: 1999 Sežig vzorca pri 680°C in merjenje CO₂ z IR detektorjem. Shimadzu TOC 5000-A

4.3 Časovne študije

Na vseh raziskovalnih ploskvah smo snemali porabo časa za posamezne delovne operacije. Za časovne študije smo uporabili terenski računalnik Trimble Nomad opremljen z programsko opremo za snemanje časov UMT-Plus. S tem smo spremljali porabo časa po predhodno določenih delovnih operacijah. Porabo časa in učinke smo spremljali po posameznem ciklusu, saj omogoča tak način lažjo primerjavo med ploskvami (Spinelli, Visser, 2009). Spremljali smo celotni čas (produktivni, pomožni in neproduktivni čas) vendar pa smo v nadaljnji obdelavi ter primerjavi upoštevali le produktivne čase.

Rezultati časovnih študij iz izbranih raziskovalnih ploskev so pokazali velik vpliv posameznih dogodkov in raznovrstnih zastojev na potek celotnega delavnika oz. skupnega delovnega časa.

Teh nepredvidenih dogodkov in zastojev ni mogoče upoštevati v primerjavi testnih primerov ali v primerjavi z drugimi študijami, zato smo se odločili, da za potrebe tega izdelak analiziramo zgolj produktivne čase različnih procesov. Za celovitejšo študijo na ravni celotnega delavnika bi tako potrebovali večje število ponovitev, s čimer bi sicer izravnali vplive nepredvidenih dogodkov in zastojev, realno pa je takšna raziskava glede na osnovni namen ni opravičljiva z omejenimi sredstvi pa tudi ne izvedljiva.

4.4 Izračun neposrednih stroškov strojev

Za preračun porabe časa na delovno uro lahko uporabimo v študijah in literaturi objavljene faktorje neproduktivnega časa za posamezne primerljive tehnološke faze pridobivanja lesa. Ker so naše ploskve veliko premajhne za spremljanje zadostnega števila delavnikov, ki bi omogočili določitev teh faktorjev je obravnava stroškov proizvodnje na nivoju produktivnega časa smiselna rešitev, ki omogoča primerjave tudi s študijami enakih delovnih procesov v drugih organizacijskih in zakonodajnih razmerah. Za slovenske razmere lahko s predlaganimi faktorji neproduktivnega časa pomnožimo

vrednosti porabljenega in izmerjenega produktivnega časa in na ta način določimo količino načrtovane porabe delovnega časa za posamezno tehnološko fazo pridobivanja na posamezni testni ploskvi.

Kot predlog lahko za spravilo s traktorjem in gozdarsko prikolico uporabimo faktor 1,42 (Kimovec, 2011), za izdelavo sekancev za traktor s sekalnikom faktor 1,14 (Bezovnik, 2007), za spravilo s prilagojenim gozdarskim traktorjem in gozdarskim zgibnikom 1,37 (Zupančič, 2008; Klun, Poje 2000), za spravilo z zgibnim prikoličarjem (1,35) in za zbiranje sečnih ostankov z minibagerjem (1,2) je na podlagi neobjavljenih snemanj in izkušenj strojnikov faktor neproduktivnega časa ocenjen, za sečnjo z motorno žago znaša 1,58 (po posodobljenih državnih normativih Uredba., 2013) in za strojno sečnjo 1,39 (po državnih normativih za velike stroje za sečnjo Uredba., 2008). Zaradi lažje primerjave različnih podjetij oz. organizacije dela smo pri predstavljenih preračunih neposrednih materialnih stroškov strojev za posamezne testne primere uporabili izmerjen produktivni čas in stroške predstavili na enoto ekvivalenta okroglega lesa (EUR/EOKL).

Izračune neposrednih materialnih stroškov strojev smo pripravili na osnovi metodologije izračunov, ki je za gozdarsko mehanizacijo uveljavljena v večini EU držav. Temelji na kalkulacijski poenoteni shemi priporočil FAO/ECE Tim/Log 36 iz leta 1956 (GLÄSER 1956). Letna izkoriščenost strojev je bila določena za primer gozdarskih podjetij in ne lastnikov gozdov, ki z mehanizacijo delajo v gozdu le občasno. Letna izkoriščenost strojev, ki je upoštevana v naših izračunih, je prikazana v preglednici 24.

Preglednica 25: Predpostavke za izračun neposrednih materialnih stroškov strojev

	Izkoriščenost stroja (ou/leto)	Neposredni materialni stroški (EUR/ou)	Neposredni materialni stroški (EUR/du)
Traktor in gozdarska prikolica	1600	26,7	21,4
Traktor in velik sekalnik	1600	54,9	41,2
Traktor in vitel	1300	28,9	21,7
Motorna žaga	1200	5,3	2,6
Mini bager	1800	14,5	11,6
Zgibni prikoličar	2000	65,5	52,4
Stroj za sečnjo	2000	79,2	63,4

4.4.1 Nanos – smrekova monokultura

4.4.1.1 Opis raziskovalnih objektov

Študija je bila izvedena v slovenskih dinaridih v Goznogospodarskem območju (GGO) Tolmin gozdno gospodarski enoti (GGE) Flancovše Nanos. Izbrano območje je bilo pred približno 50 leti pašnik katerega so po vzoru nemške šole pogozdili z navadno smreko (*Picea abies*). Danes je območje s površino 16,31 ha v lasti Agrarne skupnosti Ravnik – Orlovše. Podrobnejši opis značilnosti območja je opisan v preglednici 1.

Preglednica 26: Opis raziskovalnih ploskev (Nanos – smreka)

	Ploskev 1 "Zeleni sekanci"	Ploskev 2 "Okrogli les"	Celotna delovišče
Lokacija	Flancovše - Nanos	Flancovše - Nanos	Flancovše - Nanos
Nadmorska višina (m.a.s.l.)	890 - 910	890 - 900	880-930* ⁴
Površina ploskev (ha)	0.25 ha	0.25 ha	16.31 ha* ⁴
Povprečni naklon (%)	18	17	15* ⁴
Starost sestoja (years)	51	51	51* ⁴
Lesna zaloga (m ³ /ha)	-	-	341* ⁴
Število odkazanih dreves	121	114	6397* ⁴
Intenziteta redčenj (%)	-	-	22.6
Št. posekanih dreves (no. trees/ha)	484	456	392.2
Skupni posek (t/ha)* ¹	78.62	58.68	79.66
Delež zelenih sekancev v skupnem poseku (%)	26	25	25
Povp. premer posekanih dreves (d _{1,3}) (cm)* ²	17.1	15.9	17.6
Posek okroglega lesa (m ³ , under bark)	18.81	14.37	1,188.98
Količina zelenih sekancev (nasut m ³)	19.67	13.75	1,260
Gostota nasutja (kg/nm ³)	263	262	/
Vsebnost vode v sekancih * ³	40.4	44.4	43.2

*¹ Skupni posek predstavlja celotno količino okroglega lesa in zelenih sekancev t/ha

*² Povp. premer posekanih dreves (d_{1,3}) – aritmetična sredina premera dreves na prsni višini

*³ Vsebnost vode (w %) je bila za sekance izmerjena skladno z SIST EN 14774-1:2010

*⁴ Vir podatkov GGN GE Podkraj – Nanos 2006 -2016) ter revirni gozdar

Na izbranem območju Nanosa smo izločili dve 0,25 hektarski ploskvi v primerljivih razmerah na istem delovišču v razmaku 0,5 km. Ob koncu leta 2010 je bilo označeno drevje za posek, kot je v navadi za slovensko gozdpodajenje je to opravil revirni gozdar v skladu z gozdnogospodarskim načrtom.

Glavni namen poskusa je primerjava različnih tehnik dela (pri sečnji) ob uporabi istih tehnologije v celotni proizvodni verigi. Tako je bilo na obeh ploskvah predvidena proizvodnja okroglega lesa in izdelava lesnih (zelenih) sekancev iz sečnih ostankov (vrhač, veje, iglice...). Proučevani tehniki dela se med samima ploskvama razlikujeta v zgornjem minimalnem premeru debla do katerega gozdni delavec (sekač) še obdela drevo (6-7cm in 10cm v drugem primeru). Na prvi ploskvi smo spodbujali proizvodnjo zelenih sekancev na drugi pa proizvodnjo okroglega lesa. To pomeni, da je gozdni delavec izdelal sortimente zgolj iz najkakovostnejšega dela drevesa in zadnji prečni prerez opravil pri debelini 10-15 centimetrov (povprečna dolžina neizdelanega vrhača je znašala 594 centimetrov) celoten preostali del krošnje se je pustil neokleščen za izdelavo lesnih sekancev. Na drugi ploskvi smo pospeševali proizvodnjo okroglega lesa vključno z tanjšimi sortimenti, tako da je bil zadnji prečni prerez opravljen pri debelini 6-7cm (povprečna dolžina neizdelanega vrhača je znašala 114cm).



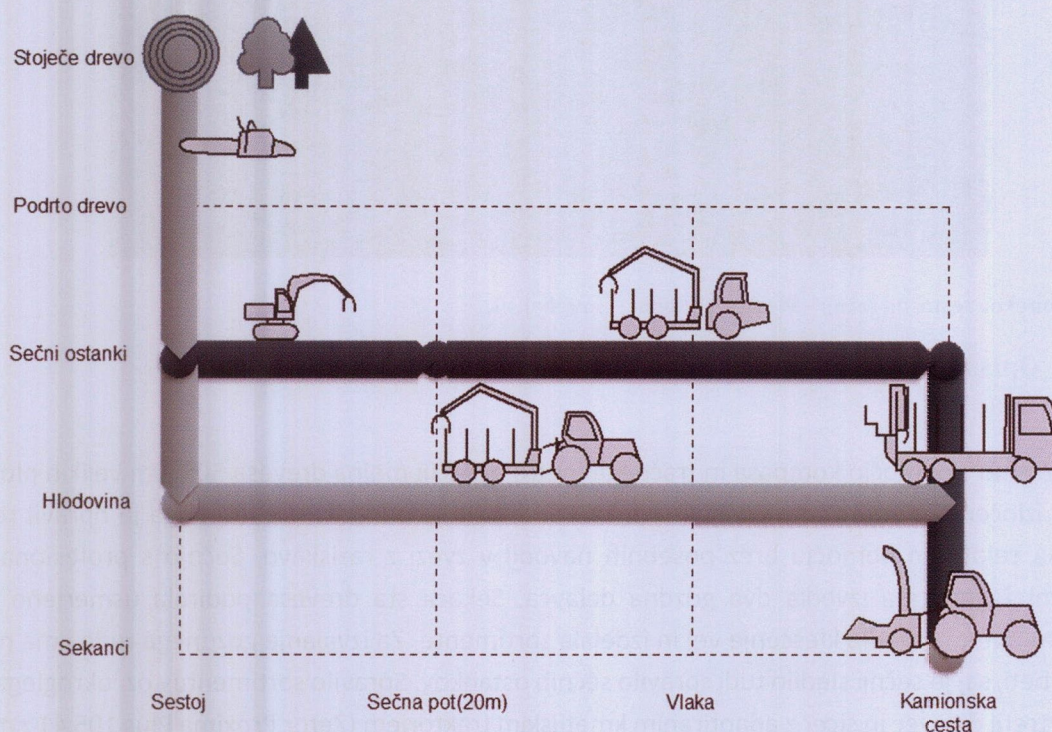
Slika 59: Smrekov sestoj po sečnji – Ploskev 1 (Nanos – smreka)

4.4.1.2 Opis tehnologij

V prvi fazi smo s pomočjo kompasa in tračnega metra označili mejna drevesa 50x50m velikih ploskev. Poligona izločenih ploskev smo posneli tudi z GPS. Sledilo je odkazilo dreves, ki ga je opravil revirni gozdar na celotnem območju brez posebnih navodil v zvezi z raziskavo. Sečnjo s profesionalnimi motornimi žagami sta izvedla dva gozdna delavca. Sekača sta drevesa podirala usmerjeno proti pravilnim potem, izvedla kleščenje vej in izdelala sortimente. Za izvajanje gozdnega reda jima ni bilo treba skrbeti, saj je sečnji sledilo tudi spravilo sečnih ostankov. Spravilo sortimentov oz. okroglega lesa je izvajal tretji delavec in sicer z adaptiranim kmetijskim traktorjem (Zetor Proxima Plus 105 41 z močjo 79kW) in gozdarsko prikolico opremljeno s teleskopskim dvigalom (prikolica Palms 82 z nakladalno napravo - dvigalom Palms 610T).

S procesom spravila okroglega lesa se je za potrebe naše študije tudi zaključila proizvodnja okroglega lesa in nadaljevala se je proizvodnja zelenih sekancev, dodelavo. Za zbiranje oz. koncentriranje sečnih ostankov, kot so vrhači in veje, so uporabili mini bager (Yuchai YC35-8). Z delovno podfazo »predspravila« z mini bagrom se povečuje produktivnost spravila sečnih ostankov, ker so sečni ostanki zloženi v kupe in niso razpršeni po sestoji. Mini bager zaradi svoje okretnosti in uporabe gumastih gosenic povzroča manjše poškodbe na tal, korenin in stoječega drevja kot če bi sečne ostanke po sestoji zbirali neposredno na gozdarsko prikolicco ali zgibni prikoličar.. Za spravilo sečnih ostankov do kamionske ceste so uporabili zgibni prikoličar »forwarder« (Novotny LVS 5000), ki spada v razred majhnih zgibnih prikoličarjev. Na cesti so pripravili dva ločena kupa sečnih ostankov in sicer po enega na raziskovalno ploskev. Sledilo je mletje sečnih ostankov za kar so uporabili veliki sekalnik, katerega je poganjal kmetijski traktor FENDT Vario 930, sekalnik Starchl Mk 86 – 600 z nameščenim teleskopskim dvigalom (Steindl-Palfinger STEPA TKZ 8284S) za podajanje surovine v mlin. Spremljanje proces transportiranja sekancev in okroglega lesa do končnega kupca ni bil predmet naše študije, smo pa spremljali tehtanje transportiranih količin.

Na izbor tehnologije in izvajalcev nismo imeli vpliva, kajti to je bilo v domeni lastnika gozda. Izvajalci so bili izbrani na osnovi povpraševanja in prejetih ponudb glede na ponujeno najugodnejšo ceno. V izbranem primeru je dogovorjena cena za sečnjo in spravilo okroglega lesa znašala 25 €/m³. V primeru zelenih sekancev sta se izvajalec in lastnik dogovorila o odkupu sečnih ostankov na panju (ne kamionski cesti) in sicer po ceni 0,3 €/nm³. Po pogajanjih so ceno sečnje in spravila okroglega lesa znižali za 2€/m³ na 23€/m³ na račun gozdnega reda, ker sekačem ni bilo treba zlagati vej in vrhačev v kupe. Po trenutno veljavni slovenski zakonodaji je potrebno ob ali po sami gozdni proizvodnji poskrbeti tudi za gozdni red. Kar pomeni, da vrhače in veje iglavcev zložimo na kupe z namenom zmanjševanja možnosti napada podlubnikov (*Ips typographus*), katerim so ti enomerni smrekovi gozdovi še posebno izpostavljeni. Z proizvodnjo sekancev tako neposredno tudi pozitivno vplivamo na razvoj zdravega in stabilnega gozda.



Slika 60: Tehnološki model (Nanos – smreka)



Slika 61: Izvoz okroglega lesa s traktorjem in gozdarsko prikolico



Slika 62: Zbiranje in izvoz sečnih ostankov z zgibnim prikoličarjem

4.4.1.3 Rezultati

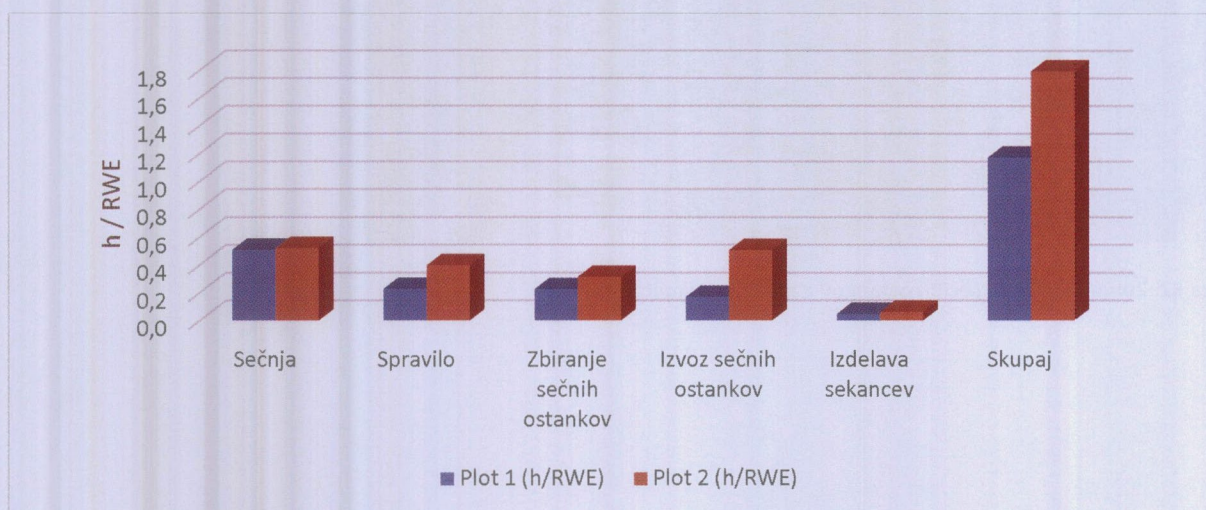
4.4.1.3.1 Časovna študija

Struktura porabe produktivnega časa na obeh ploskvah je podrobno predstavljena v preglednici 3. Primerjava proizvodnih časov je pokazala prihranek časa (35 %) v korist proizvodnje zelenih lesnih sekancev, kjer je sekač zadnji prečni prerez debla opravil pri premeru 10cm. Predvsem zaradi prihranka časa pri sečnji (zadnji prečni prerez na večjih premer ter bistveno manj obžagovanja vej na račun daljših vrhačev), spravila okroglega lesa (zbiranje in prevoz hlovov z večjim premerom prinaša večje učinke) ter spravila sečnih ostankov (na kupih koncentriranih vej in vrhačev) do kamionske ceste.

Preglednica 27: Primerjava produktivnih časov po posameznih operacijah (Nanos – smreka)

Nanos - Smreka	PI 1	PI 2	PI 1	PI 2	PI 1	PI 2	PI 1	PI 2
	(h/ploskev)	(h/ploskev)	(%)	(%)	(RWE)	(RWE)	(h/RWE)	(h/RWE)
Sečnja	10.31	8.46	49	44	20.31	16.27	0.51	0.52
Spravilo	4.58	6.45	22	33	20.31	16.27	0.23	0.40
Zbiranje sečnih ostankov	3.06	1.59	15	8	13.70	5.10	0.22	0.31
Spravilo sečnih ostankov	2.30	2.57	11	13	13.70	5.10	0.17	0.50
Izdelava sekancev	0.65	0.31	3	2	13.70	5.10	0.05	0.06
SKUPAJ	20.90	19.39	100	100			1.17	1.79

Povprečna gostota nasutja sekancev (merjeno po standardu EN 15150: 2011) je bila na obeh ploskvah precej podobna in sicer je na ploskvi 1 znašala 263 kg/ nm³ ter 262 kg/nm³ na ploskvi 2.



Slika 63: Primerjava produktivnih časov po posameznih delovnih operacijah na raziskovalnih ploskvah (Nanos – smreka)

Kot je razvidno iz preglednice 27 je produktivnost na ploskvi 1 večja za 31,2 %. To lahko pojasnimo tudi s povprečnim premerom na prsni višini (d1,3) in ne zgolj z izbiro tehnologije, saj je bil povprečni premer na ploskvi ena večji. Produktivnost, za vse operacije skupaj, je bila na ploskvi 1 37,8 EOKL/uro na ploskvi 2 pa le 26,03 EOKL/uro. Najvišja razlika je v produktivnosti je v fazi spravila sečnih ostankov, saj je le ta na ploskvi 1 višja za kar 66,8 %. Produktivnost zgibnega prikoličarja, ki smo ga izmerili na naši testni ploskvi lahko primerjamo z podatki, ki jih je v podobni študiji dobil Tolosana et.al (2011) pri študiji produktivnosti izvoza sečnih ostankov.

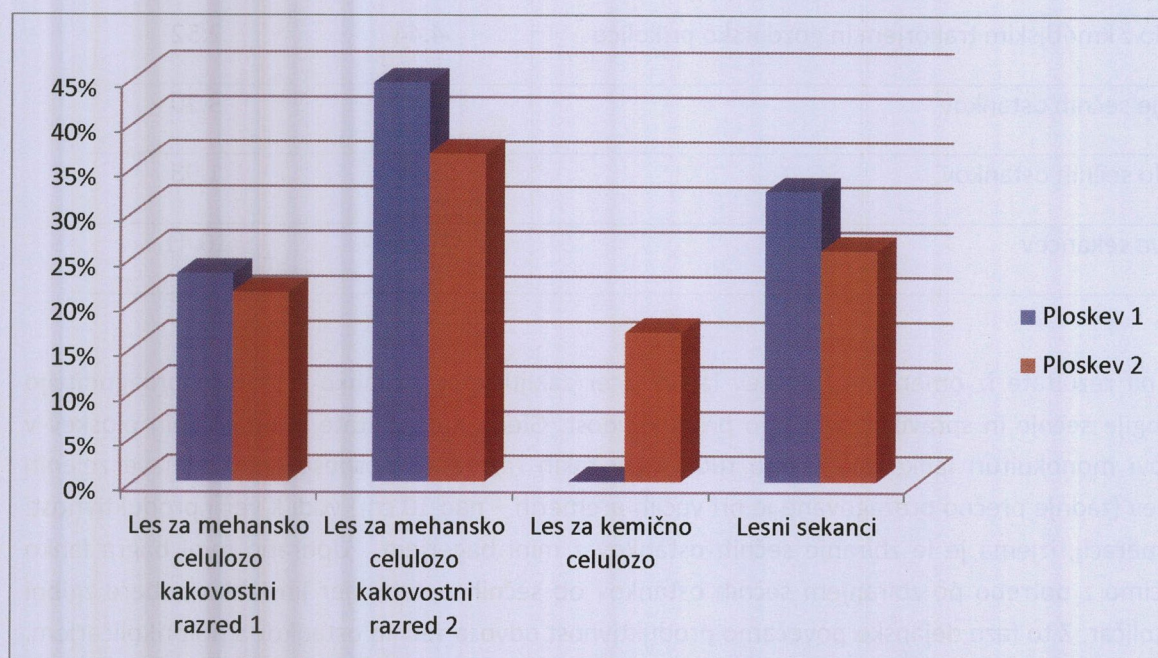
Preglednica 28: Produktivnost posameznih delovnih operacij (ekvivalent okroglega lesa / uro – efektivni čas) (Nanos – smreka)

	Ploskev 1	Ploskev 2
	“zeleni sekanci”	“okrogli les”
Sečnja	1.97	1.92
Spravilo z kmetijskim traktorjem in gozdarsko prikolico	4.44	2.52
Zbiranje sečnih ostankov	4.47	3.20
Spravilo sečnih ostankov	5.97	1.98
Izdelava sekancev	20.97	16.41

Glede na rezultate iz omenjenih ploskev lahko sicer zaključimo, da lahko z manjšo prilagoditvijo tehnologije sečnje in spravila povečamo produktivnost. Glede na rezultate iz omenjenih ploskev v smrekovi monokulturi lahko zaključimo tudi, da v takih razmerah pospeševanje izdelave zelenih sekancev (zadnje prečno prežagovane je pri večjih premerih – nad 10 cm) vodi k večji produktivnosti vseh operacij, izjema je le zbiranje sečnih ostankov z mini bagerjem. Uporabo mini bagra lahko upravičimo z potrebo po zbiranjem sečnih ostankov ob sečnih poteh, kjer jih lahko pobere zgibni polprikoličar. Z to fazo dejansko povečamo produktivnost odvoza sečnih ostankov s polprikoličarjem. Analiza produktivnih časov pri polprikoličarjem pokaže, da je večino časa porabi za nalaganje bremena. Po definiciji poteka faza nalaganje bremena od trenutka ko se stroj ustavi od trenutka, ko je nakladalna roka zopet v položaju za premik (Nurmi, 2007). V našem primeru predstavlja faza nakladanja bremena 47% celotnega produktivnega časa in sicer je ta delež zelo podoben na obeh ploskvah. Zelo podobne rezultate smo našli pri Finski študiji, kjer je čas nalaganja tovora predstavljal več kot 50 % celotnega produktivnega časa. (Nurmi, 2007). V primeru sečnje z motorno žago je uporaba mini bagra skoraj nujna, saj so sečni ostanki razpršeni po večji površini. V primeru strojne sečnje je zbiranje sečnih ostankov ob sečnih poteh enostavnejše, saj lahko to delo opravi že operater stroja za sečnjo z ustreznim načinom podiranja in kleščenja vej ob sečni poti, kjer jih lahko operater zgibnega polprikoličarja pobere.

4.4.1.3.2 Primerjava strukture gozdnih lesnih sortimentov (GLS) med dvema načinoma proizvodnje v izbranih debelinskih razredih – smreka

Zaradi razlik v porazdelitvi dreves po debelinskih stopnjah med ploskvama smo za primerjavo izbrali razpon premerov 10-19 cm. V tem primeru med ploskvama ni statistično značilnih razlik v porazdelitvi niti po prsnih premerih ($p=0,93$) niti po volumnu ($p=0,67$). Delež volumna ploskev v izbranem razponu prsnih premerov je znašal 42 % na ploskvi 1 in 54 % na ploskvi 2. Na obeh ploskvah je bilo v tem razponu prsnih premerov 70 % dreves. Na ta način smo izločili vpliv porazdelitve dreves po debelinskih stopnjah med ploskvama, s tem pa tudi zožili veljavnost primerjave na izbrani razpon prsnih premerov. Po drugi strani je izbrani razpon prsnih premerov tisti, kjer predvidevamo največjo uporabnost primerjave dveh proizvodnih sistemov, saj se prva redčenja iglavcev izvajajo ravno v izbranem razponu prsnih premerov. V tem razponu so razlike med obema proizvodnima sistemoma značilne, kar je razvidno iz slike 64.



Slika 64: Struktura gozdnih lesnih sortimentov za drevesa s prsnim premerom 10-19 cm (Nanos – smreka)

Z vidika surovinskih potreb industrije mehanske celuloze je primernejša metoda iz ploskve 1, kjer se je pospeševala proizvodnja zelenih sekancev. Delež proizvedenih zelenih sekancev je bil višji na ploskvi 1 (32 %), na ploskvi 2 je znašal 26 %.

Zaradi vpliva prsnega premera dreves na strukturo nadzemne dendromase smo izvedli še podrobnejšo analizo sortimentne strukture ločeno po ploskvah in po dveh debelinskih razredih z namenom boljšega vpogleda v vplivne dejavnike na strukturo sortimentov. Rezultati analize so v preglednici 29.

Preglednica 29: Struktura GLS nadzemne dendromase v dveh razredih prsnih premerov (Nanos – smreka)

Prsni premer	10-14 cm	10-14 cm	15-19 cm	15-19 cm
Številka ploskve	Ploskev 1	Ploskev 2	Ploskev 1	Ploskev 2
Les za mehansko celulozo kakovostni razred 1	0.00	0.00	0.39	0.34
Les za mehansko celulozo kakovostni razred 2	0.61	0.47	0.33	0.30
Les za kemično celulozo	0.00	0.22	0.00	0.13
Dodatni delež debela za zelene sekance	0.11	0.00	0.06	0.00
Veje, igličevje in vrhači nad 7 cm	0.28	0.30	0.22	0.23
Skupaj	1.00	1.00	1.00	1.00

Kot neposredna posledica maksimiranja količine zelenih sekancev se pojavita dva učinka:

- del debela se predela v sekance
- metoda vpliva na sistem krojenja, kjer se povečuje količina najbolj vrednih sortimentov (žagan les in les za mehansko celulozo).

Rezultati teh dveh učinkov so razvidni v preglednici 29. Z naraščanjem premera nad 20 cm se delež debela, ki se pretvori v sekance, naglo zmanjšuje in znaša v debelinskem razredu 20-24 cm le še 3,0 %. NA sortimentno strukturo pri drevesih nad 20 cm bolj vplivajo drugi dejavniki, kot so drevesna višina in kakovost debel. Rezultati nakazujejo, da so razlike v sortimentni strukturi očitnejše v sestojih, kjer so prsni premeri pod 20 cm.

Delež vrhačev, vej in igličevja se med različnimi sistemi krojenja na obravnavanih ploskvah razlikuje, še posebej izstopa najmanjši premer sortimentov na tanjšem koncu. Razlike so bile prisotne v debelinskih razredih 10-14 cm in 15-19 cm. Rezultati so skladni z raziskavami Raissanena in Nurmija (2011), kjer je delež ostankov naraščal glede na minimalni zgornji premer obdelanih debel.

V razponu prsnih premerov 10-19 cm so razlike v prodajni ceni, izraženo kot EUR/m³ ss (okrogli les, s skorjo), med ploskvama relativno podobne; nekoliko višje vrednosti so bile dosežene na ploskvi 1, in sicer za 5 % v debelinskem razredu 10-14 cm in 3 % v debelinskem razredu 15-19 cm.

Rezultati poskusa nakazujejo, da je metoda optimiziranja količin lesa za mehansko celulozo in volumna zelenih sekancev z vidika finančnih donosov v prvih komercialnih redčenjih enomernih čistih smrekovih sestojih učinkovita. Sortimentna struktura pri tem načinu omogoča absolutno in relativno večje količine lesa za mehansko celulozo glede na obstoječe tradicionalne načine pridobivanja lesa. To tudi pomeni, da delavci spremenijo način krojenja debel in s tem povečujejo količine lesa za mehansko celulozo. Proizvodnja mehanske celuloze je v Sloveniji aktualna, saj obstoječi podjetji, s popolnoma integrirano proizvodnjo mehanske celuloze v proizvodnji papirja in kartona, povečujeta kapacitete

proizvodnje. Te okoliščine lahko vplivajo na večji obseg prvih redčenj v čistih smrekovih sestojih v prihodnosti.

Na podlagi rezultatov izhaja, da sta znanji o pretvorbenih faktorjih ter o lesarstvu predpogoj za optimalne odločitve v dobavni verigi lesa.

4.4.1.3.3 Stroški proizvodnje zelenih sekancev

V primeru testnih ploskev na Nanosu bomo stroške proizvodnje predstavili iz dve zornih kotov in sicer zornega kotla lastnikov in izvajalcev del. Glavni cilj naših spremljanj ni bila natančna analiza stroškov proizvodnje temveč predvsem spremljanje učinkov, zato ne bomo šli v podroben opis prednosti za lastnika gozda, ki je bila v našem primeru agrarna skupnost, lahko pa zaključimo, da so lastniki z optimizacijo proizvodnje dvakrat pridobili in sicer z prodajo sečnih ostankov ter z nižjo dogovorjeno ceno za sečnjo in spravilo. Prihodki (DDV ni vključen v prikaz) in stroški za lastnika so predstavljeni v naslednji preglednici.

Preglednica 30: Prihodki in stroški pri gospodarjenju z gozdom (vidik lastnika gozda)

in €	Skupaj	Okrogli les	Sekanci
1. Prihodek	47.726		
Vrednost lesa	45.426	45.048	378 ^{*1}
Subvencija za izvajanje negovalnih del	2.300		
2. Stroški	22.788		
Sečnja in spravilo	22.032	22.032	
Dodatni stroški manipulacije z lesom	756	756	
3. Skupni prihodek	24.938	22.260	378

^{*1} lesne sekance so prodali on panju (€0.3/loose m³) in ne končnemu uporabniku

Cena prodanega lesa, je vrednost, ki jo je navedel lastnik, glede na prodajo lesa iz celotne površine in ne zgolj na naši testni ploskvi.

V nadaljevanju pa predstavljamo še stroške proizvodnje zelenih sekancev, kot jih je izračunal izvajalec del na celotni površini in ne zgolj na naših testnih ploskvah.

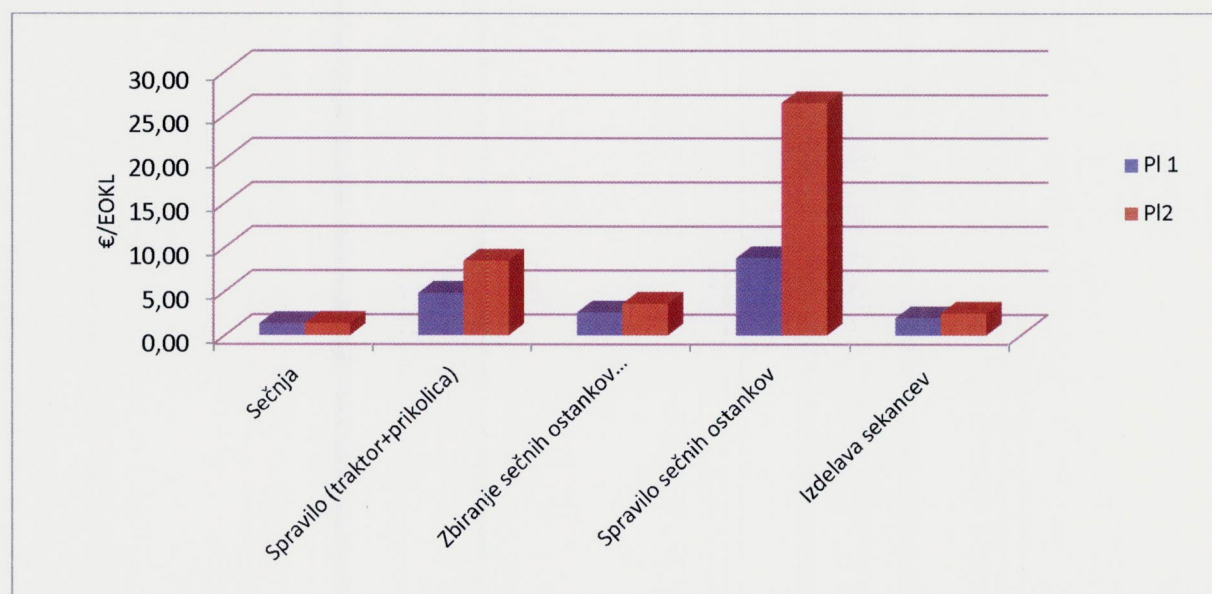
Preglednica 31: Stroški proizvodnje zelenih sekancih (podatki izvajalca)

Stroški (€)	Opravljene strojne ure (sth)	Stroški posameznega stroja (€/sth)	Skupni stroški (€)	Stroški na proizvedeno t (€/green t)
Zgibni prikoličar	185	30	5.550,00	14,28
Mini bager	205	22	4.510,00	11,60
Sekalnik	27	120	3.240,00	8,34

Skupaj			13.300,00	34,22
--------	--	--	-----------	-------

Skupni stroški proizvodnje (do skladišča na gozdni cesti), ki so jih posredovali izvajalci del so znašali 10,56€/loose m³ ali 34,22/svežo t, Stroške, ki smo jih izračunali na podlagi podatkov zbranih na naših ploskvah so nižji le za 6% (9,88€/nasut m³ ali 37.54€/svežo t). prodajna cena zelenih sekancev na dvorišču uporabnika v tem konkretnem primeru je bila 80€/suho tono (45.5€/svežo t). Z upoštevanjem stroškov transporta (skupni strošek transporta, kot ga je poročal proizvajalce je bil v povprečju 7,140€/nm³ ali 18,37€/svežo t), je imel proizvajalcev zelenih sekancev kalkulatивно izgubo (-7,09€/svežo t). Glavni vzrok za tak končni obračuna je bila dolga transportna razdalja, ki je bila več kot 150 km v eno smer. Z razvojem lokalnega trga z lesnimi sekanci slabše kakovosti, se bi skrajšale transportne razdalje. Glede na naše izračune v tem primeru transportni stroški ne bi smeli presegati 8€/svežo t.

Stroški preračunani na ekvivalent okroglega lesa so bili višji na ploskvi 2, in sicer za več kot 50 %. Največ je k tej razliki v stroških prinesla bistveno večja poraba časa za izvoz sečnih ostankov z zgibnim prikoličarjem, Analiza je pokazala, da večino skupnih stroškov preračunano na ekvivalent okroglega lesa predstavljajo stroški proizvodnje zelenih sekancev. V strukturi stroškov proizvodnje zelenih sekancev predstavlja izvoz sekancev z zgibnim prikoličarjem kar 66 % na prvi ploskvi in 81 % na drugi. Pri proizvodnji okroglega lesa predstavlja spravilo s traktorjem in gozdarsko prikolico kar 78 % stroškov na ploskvi 1 in 86 % na ploskvi 2. Struktura stroškov preračunanih na ekvivalent okroglega lesa za obe ploskvi je predstavljen v naslednjem grafikonu (slika 74). Izračunani neposredni stroški strojev pri proizvodnji okroglega lesa so 6.16 €/EOKL na ploskvi 1 oziroma 9.85 €/EOKL na ploskvi 2. Tem stroškom je potrebno dodati še stroške dela ter režije. Izračunani neposredni stroški strojev pri proizvodnji zelenih sekancev so višji in znašajo 13,35 €/EOKL na ploskvi 1 oziroma 32, 85 €/EOKL na ploskvi 2. Razmerje med stroški proizvodnje okroglega lesa in zelenih sekancev na ploskvi 1 je 34:66 in 19:81 na ploskvi 2.



Slika 65: Struktura stroškov za posamezne operacije na testnih ploskvah (v €/EOKL) (Nanos – smreka)



Slika 66: Izdelava sekancev ob gozdni cesti

4.4.2 Vremščica – črni bori

4.4.2.1 Opis raziskovalnih objektov

Objekt raziskave se nahaja v gozdnogospodarskem območju Sežana v Gozdnogospodarski enoti Vrhe Vremščica (GGE). GGE Vrhe je glede na hektarske lesne zaloge in prirastke nad povprečjem Kraškega gozdnogospodarskega območja (GGN Vrhe, 2007). V GGE Vrhe je večina gozdov v zasebni lasti (74,8 %), tako tudi površine raziskovalnih ploskev, ki ležijo na pobočju Vremščice in so v lasti Agrarne skupnosti Gabrče. Odprtost gozdov z gozdnimi vlakami je v GGE Vrhe relativno slaba, le 64,5 %. Glede na reliefne razmere je na celotni površini možno traktorsko spravilo. Povprečni letni prirastek znaša 4,84 m³/ha. Je pa GGE Vrhe Vremščica dokaj raznolika glede rastiščno gojitvenih razredov. Gozdovi na območju kjer je potekala raziskava sodijo v rastiščno gojitveni razred Sestoji bora na apnencu (12713). V teh RGR-jih se intenzivnejše gospodari. GG ukrepi pa v borovih sestojih predvidevajo pospešeno uvajanje borovih debeljakov v obnovo. Načrtovana intenziteta poseka pri iglavcih (borih) znaša 26,5 % glede na LZ in 65,5 % glede na prirastek.

Preglednica 32: Opis raziskovalnih ploskev (Vremščica – črni bor)

	Ploskev 1 "Zeleni sekanci"	Ploskev 2 "Okrogli les"	Celotna delovišče
Lokacija	–Pod Vremščico	Pod Vremščico	Pod Vremščico
Nadmorska višina (nmv)	575-775	575-775	575-775
Površina ploskev (ha)	0,25	0,25	/
Povprečni naklon (%)	5	5	25
Starost sestoja (leta)	80	80	80
Lesna zaloga (m ³ /ha)	-	-	266
Intenziteta redčenj (%)	25	25	25
Št. posekanih dreves (št. dreves/ha)	128	300	(3382)* ²
Skupni posek (t/ha)* ¹	62,72	122	989,81 t* ¹⁺²
Delež zelenih sekancev v skupnem poseku (%)	25,83	22,33	/
Povp. premer posekanih dreves (d _{1,3}) (cm)* ²	28,31	25,93	26,63
Posek okroglega lesa (m ³ , under bark)	13,69	27,87	41,56
Količina zelenih sekancev (nasut m ³)	17,0808	20,7636	37,84
Gostota nasutja (kg/nm ³)	237	263	/
Vsebnost vode v sekancih * ³	17,1	25,9	21,5

*¹ Za pretvorbo iz volumna v maso uporabljen faktor 0,85. Skupni posek zajema posek okroglega lesa in količine zelenih sekancev

*² Zaradi neznane površine navajamo skupno število

Izbrali smo dve 0.25 ha ploskve v primerljivih razmerah na razdalji približno 500 metrov. V sklopu redne sečnje je območni gozdar označil posamezno drevje za posek. Glavni namen študije je primerjava različnih tehnik dela ob predpostavki, da je v obeh primerih uporabljena enaka tehnologija. Na obeh ploskvah je tako predvidena izdelava okroglega lesa ter zelenih sekancev (to so sveži sekanci z visoko vsebnostjo vode ($w = 50\%$) in so primerni za večje ogrevalne sisteme). Proučevani tehniki dela se razlikujeta zgolj po minimalnem premeru debla do katerega gozdni delavec še izdelava sortimente (oz. okrogli les) preostal del vrhača pa pusti neizdelan pripravljen za mletje oz. izdelavo zelenih sekancev. Na prvi ploskvi tako strmimo k čim večji količini sečnih ostankov kar pomeni, da gozdni delavec z motorno žago izdelava zgolj najkvalitetnejši del debla (zadnji prečni prerez pri premeru 10 cm). Na drugi ploskvi smo sledili običajnemu gospodarjenju, kjer gozdni delavec izdelava večino debla in zadnji prečni rez opravi pri premeru 6-7 cm. Z razliko od običajnega gospodarjenja se v proučevanem primeru delavec ne ukvarja z gozdnim redom saj je predviden tudi izvoz sečnih ostankov.



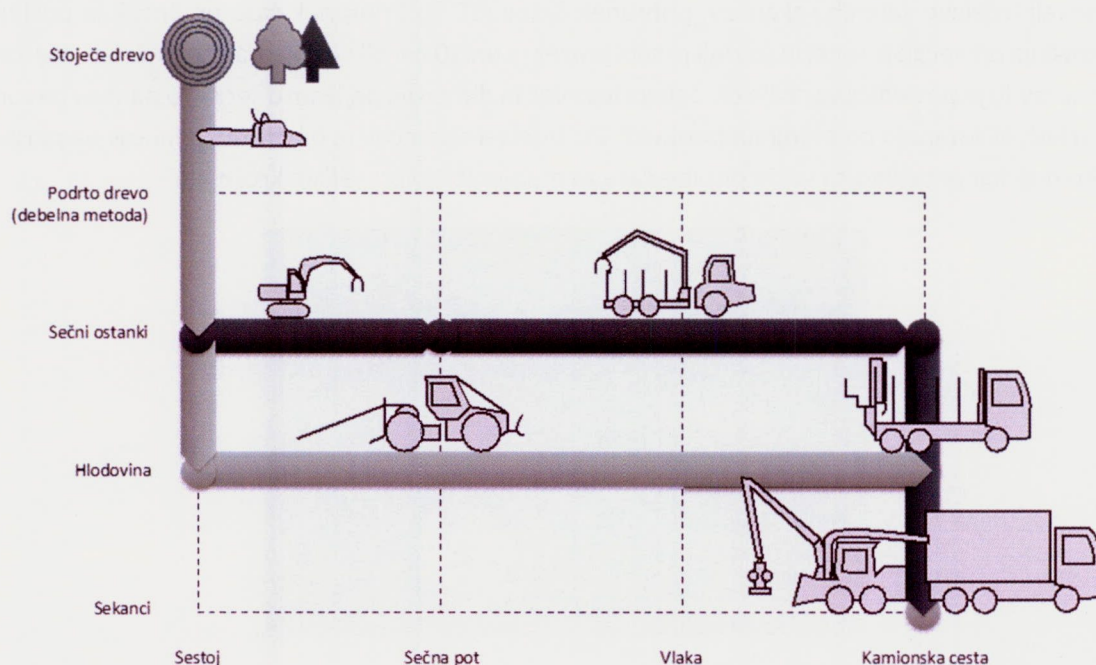
Slika 67: Raziskovalne ploskve po sečnji (Vremščica – črni bor)

4.4.2.2 Opis tehnologij

Na obeh ploskvah je bila sečnja in spravilo okroglega lesa odraz skupinskega dela dveh sekačev in traktorista. Sečnja je bila tako izvedena s profesionalnimi motornimi žagami. Spravilo okroglega lesa se je izvajalo z gozdarskim zgibnim traktorjem (Woody 110), ki je opremljen z dvobobenskim daljinsko

vodenim vitlom. Spravilo in izdelava zelenih sekancev je potekala naknadno pod okriljem drugega izvajalca, ki je specializiran za izdelavo lesnih sekancev iz sečnih ostankov. Zbiranje in predelava je potekala po njihovi utečeni proizvodnji verigi, kjer za zbiranje oz. koncentriranje sečnih ostankov uporabljajo mini bager (Yuchai YC35-8) s katerim so neizdelane vrhače in večje veje zložili na kupe ob sečnih poteh. Zbiranju sečnih ostankov sledi spravilo le teh do skladišča ob gozdni cesti. Za spravilo je izvajalec uporabil manjši zgibni prikolčar (Novotny LVS 5000). Sama izdelava sekancev je potekala na gozdni cesti in sicer z uporabo velikega sekalnika (Starchl Mk-86-600) priključenega na kmetijski traktor (FENDT Vario 930) s teleskopsko roko za dovajanje surovine (Stepa). Z izdelavo sečnih ostankov se je za potrebe naše študije proizvodna veriga zaključila, tako proces transporta sekancev do končnega uporabnika ni vključen v analize.

Prav tako, kot pri študiji na Nanos-u tudi na Vremščici nismo imeli vpliva na izbor tehnologije in izvajalcev, kajti to je bilo v domeni lastnika gozda. Izvedba poseka in spravila se je vršila po okvirno 14 €/m³ in je bila všteta znotraj cene lesa na panju. Spravilo sekancev in njihovo proizvodnjo je po končani sečnji in gozdnem redu vršilo drugo podjetje ter slednje odkupilo ob panju (ne na gozdni cesti) za 0.6€/nasut m³.



Slika 68: Tehnološki model (Vremščica – črni bor)

4.4.2.3 Rezultati

4.4.2.3.1 Časovna študija za objekt Vremščica – črni bor

Zaradi omejenega števila posnetih ciklov smo se odločili, da v nadaljevanju predstavimo samo primerjalne rezultate za produktivne čase. Produktivni časi po posameznih delovnih operacijah, primerjalno za obe ploskvi, so v naslednji preglednici.

Preglednica 33: Primerjava produktivnih časov po posameznih operacijah (Vremščica – črni bor)

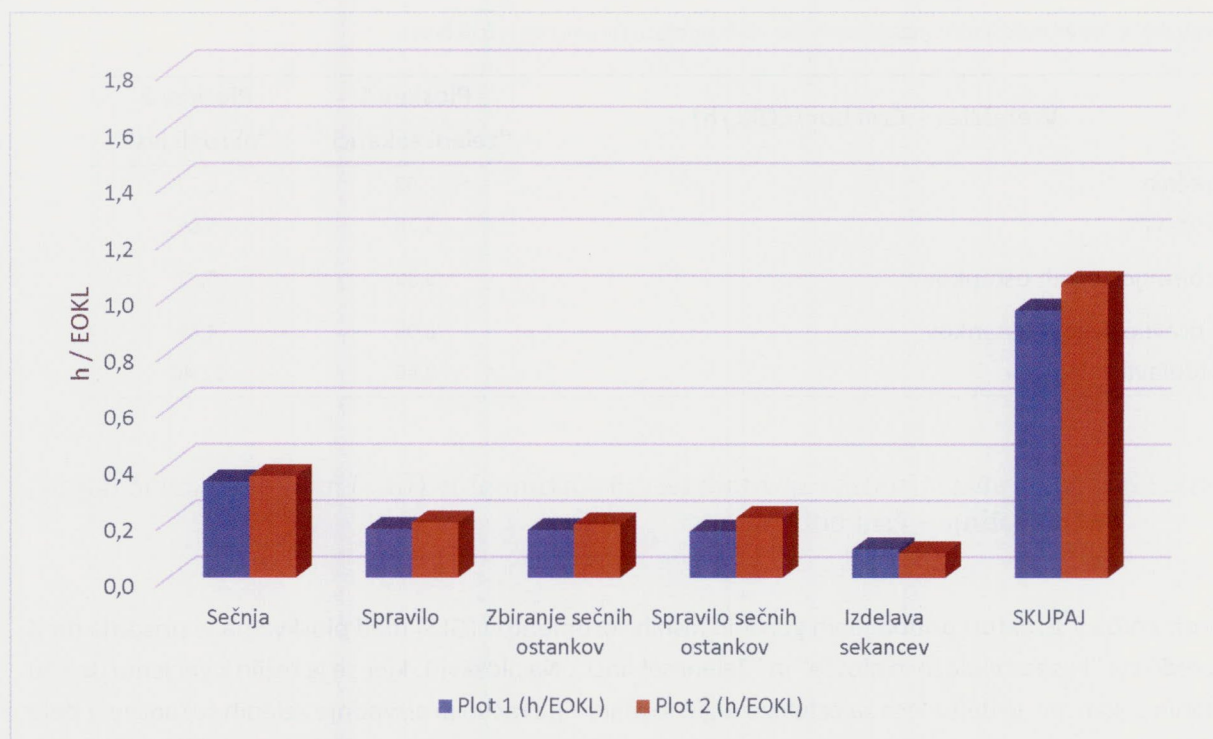
Vremščica - Črni bor	PI 1	PI 2	PI 1	PI 2	PI 1	PI 2	PI 1	PI 2
	(h/ploskev)	(h/ploskev)	(%)	(%)	(RWE)	(RWE)	(h/RWE)	(h/RWE)
Sečnja	4.69	10.13	44%	50%	13.74	28.05	0.34	0.36
Spravilo	2.38	5.52	22%	27%	13.74	28.05	0.17	0.20
Zbiranje sečnih ostankov	1.37	1.83	13%	9%	6.74	8.03	0.20	0.23
Spravilo sečnih ostankov	1.33	2.06	13%	10%	6.74	8.03	0.20	0.26
Izdelava sekancev	0.82	0.85	8%	4%	6.74	8.03	0.12	0.11
SKUPAJ	10.58	20.38	100.00%	100.00%			1.04	1.15

Povprečna gostota nasutja sekancev (izmerjena v skladu z EN 15150: 2011) je bila na obeh ploskvah zelo podobna in sicer je bila na Ploskvi 1 237 kg/nasut m³ in 263 kg/nasut m³ na ploskvi 2.

Primerjava produktivnih časov na obeh ploskvah je pokazala, da imamo na ploskvi 1, kjer smo pospeševali izdelavo zelenih sekancev, prihranek časov (10 %) Prihranek časa pri sečnji je posledica prežagovanja pri večjih premerih (zadnji prečni prerez je pri 10 cm ali več) in manjšega deleža kleščenja vej, pri spravilu je posledica spravila okroglega lesa večjih dimenzij, pri iznosu sečnih ostankov pa zaradi večjih vrhač, ki ostanejo po sečnji na ploskvi 1. Pri izdelavi sekancev je bil produktivni čas na ploskvi 2 nekoliko nižji kar je posledica večje porabe časa za manipulacijo pri velikih krošnjah.



Slika 69: Mletje sekancev ob gozdni prometnici (Vremščica – črni bor)



Slika 70: Primerjava produktivnih časov po posameznih delovnih operacijah na raziskovalnih ploskvah (Vremščica – črni bor)

Produktivnost se na obeh primerjalnih ploskvah razlikuje zgolj za 6 %, in sicer je na ploskvi 1 za 6 % višja kot na ploskvi 2. Razlike v skupni produktivnosti niso tako izrazite kot na drugih ploskvah in sicer predvsem zaradi zelo različnih prsnih premerov odkazanega drevja na obeh ploskvah. Analiza prsnih premerov na obeh ploskvah je namreč pokazala, da je prsni premer na Ploskvi 1 večji (28,31 cm) kot na Ploskvi 2 (25,93 cm). Skupna produktivnost na prvi ploskvi je bila 30,51 EOKL/uro in 29,21 EOKL/uro na drugi ploskvi. Produktivnost vseh spremljanih operacije je bila višja na Ploskvi 1 izjema je le izdelava sekancev. Produktivnost izdelave sekancev je bila nekoliko višja na Ploskvi 2 in sicer za 12,7 %, kar si lahko razlagamo z dejstvom, da je za manipulacijo večjih vrhač z debelejšimi vejami potrebno več časa. Največja razlika je razlika v produktivnosti zgibnega polprikolničarja. Produktivnost na Ploskvi 1 je bila kar za 27 % višja na Ploskvi 1 kot na Ploskvi 2. Produktivnost zgibnega polprikolničarja na ploskvah je primerljiva z rezultati iz poskusa na nanosu. Produktivnost na ploskvi kjer smo pospeševali izdelavo zelenih sekancev je pri spravilu ostankov črnega bora za 10 % nižja kot pri spravilu ostankov v smrekovi monokulturi. Primerjava ploskev, kjer smo pospeševali izdelavo okroglega lesa pa je pokazala, da je produktivnost v primeru črnega bora kar za 49 % višja kot v primeru smrekove monokulture.

Preglednica 34: Produktivnost posameznih delovnih operacij (Vremščica – črni bor)

Vremščica - Črni bor (EOKL/h)	Ploskev 1 "zeleni sekanci"	Ploskev 2 "okrogli les"
Sečnja	2,93	2,77
Spravilo	5,78	5,09
Zbiranje sečnih ostankov	5,89	5,27
Spravilo sečnih ostankov	6,05	4,68
Izdelava sekancev	9,86	11,40

4.4.2.3.2 Primerjava strukture gozdnih lesnih sortimentov (GLS) med dvema načinoma proizvodnje – črni bor

Sprememba v strukturi pridobljenih gozdnih lesnih sortimentov (GLS) med ploskvama je prisotna med razredoma "Les za celulozo in plošče" in "Zeleni sekanci". Na ploskvi 1, kjer se je težilo k večjemu deležu zelenih sekancev, je delež lesa za celulozo logično manjši na račun proizvodnje zelenih sekancev iz dela debela in manjšega vršnega premera zadnjega sortimenta lesa za celulozo. Vpliv tehnologije pridobivanja GLS se logično odraža v faktorju FS, ki pove, koliko sekancev je bilo pridobljenih na enoto sortimentov okroglega lesa (preglednica 35).

Preglednica 35: Struktura gozdnih lesnih sortimentov ($RWE\ m^3_{ss}$), (Vremščica – črni bor)

Ploskev	d_s	Preferenca	Hlodi	Les za cel. in plošče	Zeleni sekanci	Skupaj	FS
P1	29,5 cm	Biomasa	0,20	0,43	0,37	1,00	0,59
P2	27,3 cm	Sortimenti	0,21	0,53	0,26	1,00	0,34

d_s – srednji temeljnični premer posekanih dreves

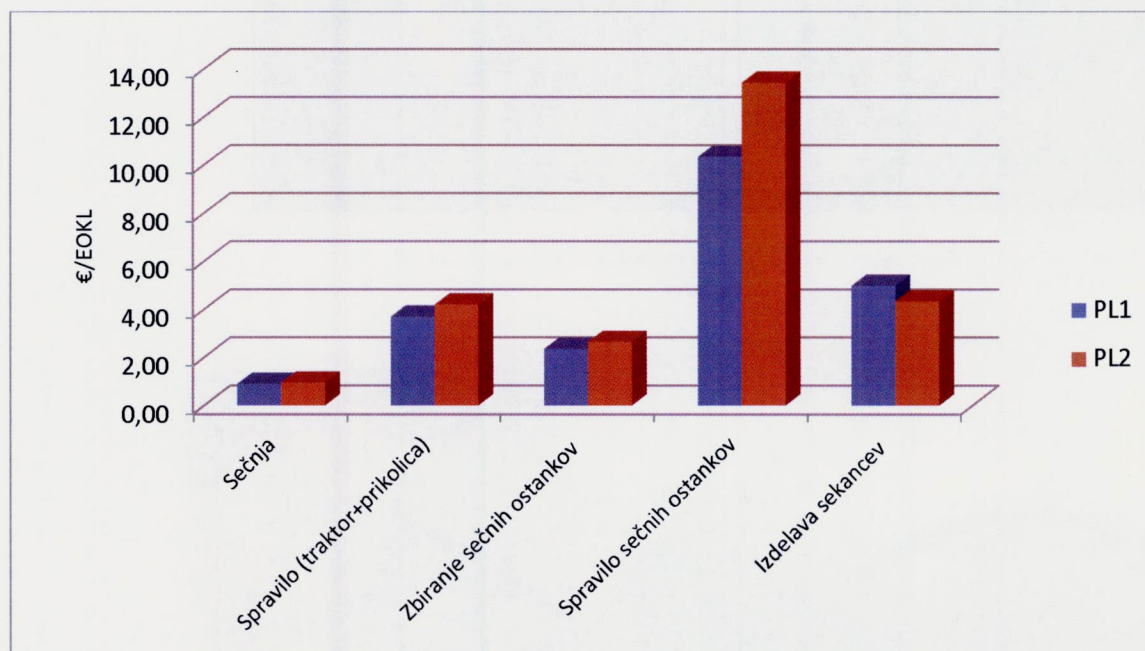
$RWE\ m^3_{ss}$ – ekvivalenti okroglega lesa v m^3 s skorjo

FS – faktor za sekance ($RWE\ m^3_{ss}$) na enoto sortimentov s skorjo (m^3_{ss})

4.4.2.4 Stroški proizvodnje zelenih sekancev

V primeru ploskve na Vremščici nimamo detajlnih podatkov o stroških in prihodkih izvajalcev del, zato bomo primerjali le izračunane neposredne stroške strojev. Kot osnovo smo vzeli kalkulacijo stroškov skladno z Katalogom stroškov gozdarske mehanizacije (Klun et al 2009). Analiza neposrednih stroškov strojev je pokazala, da so bili stroški preračunani na ekvivalent okroglega lesa so višji na ploskvi 2, in sicer za 13 %. Največ je k tej razliki v stroških prinesla bistveno večja poraba časa za izvoz sečnih ostankov z zgibnim polprikoličarjem. To se ujema tudi s stroški pri spravilu sečnih ostankov na prvem analiziranem primeru (Nanos – smreka) le, da so v primeru črnega bora razlike med obema ploskvama bistveno manjše. V primeru Nanosa je bila razlika med porabo časa za izvoz sekancev na primerjalnih ploskvah več kot 66%, v primeru Vremščice (bor) pa le 23 %. Večino skupnih stroškov preračunanih na ekvivalent okroglega lesa predstavljajo stroški proizvodnje zelenih sekancev (80 % na obeh ploskvah). V strukturi stroškov proizvodnje zelenih sekancev predstavlja izvoz sekancev z zgibnim polprikoličarjem

kar 58 % na prvi ploskvi in 66 % na drugi. Pri proizvodnji okroglega lesa predstavlja spravilo s traktorjem in gozdarsko prikolico kar 80 % stroškov na ploskvi 1 in 81 % na ploskvi 2, kar je prav tako primerljivo s prvim analiziranim primeru (Nanos – smreka). Struktura stroškov preračunanih na ekvivalent okroglega lesa za obe ploskvi je predstavljen v naslednjem grafikonu (Slika 80). Izračunani neposredni stroški strojev pri proizvodnji okroglega lesa so 4,60 €/EOKL na ploskvi 1 oziroma 5,16 €/EOKL na ploskvi 2. Tem stroškom je potrebno dodati še stroške dela ter režije. Izračunani neposredni stroški strojev pri proizvodnji zelenih sekancev so višji in znašajo 17,68 €/EOKL na ploskvi 1 oziroma 20,41 €/EOKL na ploskvi 2. Razmerje med stroški proizvodnje okroglega lesa in zelenih sekancev je na obeh ploskvah 20:80.



Slika 71: Struktura stroškov za posamezne operacije na testnih ploskvah (v €/EOKL) (Vremščica – črni bor)



Slika 72: Razprava različnih deležnikov o izvedbi del na ploskvi (Vremščica – Črni bor)



Slika 73: Izdelava sekancev iz sečnih ostankov

4.4.3 Vremščica – Črni Gaber

4.4.3.1 Opis raziskovalnih objektov

Objekt raziskave se nahaja v gozdnogospodarskem območju Sežana v gozdnogospodarski enoti Vrhe Vremščica ter v neposredni bližini ploskev iz Poizkusa črni bor. V izbrani enoti je večina gozdov v zasebni lasti (74,8 %), tako tudi raziskovalne ploskve, ki ležijo na pobočju Vremščice v lasti Agrarne skupnosti Gabrče. V prihodnjem GGN je večina od desetletnega možnega posega ali 69,7 % odpadlo na posek na panj zaradi ukrepa nege panjevca, s katerim želijo postopno preoblikovati panjevece v druge razvojne faze (GGN Vrhe, 2007).

Celotna površina GGE Vrhe Vremščica znaša 9.989,32 hektarja od tega gozdovi pokrivajo 6.772,93 ha oz. 67,81% celotne površine. Nadmorska višina terena GGE znaša od 280 mnnv do 1.027 mnnv. V GGE se mešata vpliva mediteranske ter celinske klime za območje ploskve pa bi lahko predpostavili močnejši mediteranski vpliv. Letno na območju Vremščice pade 2.500 mm padavin. Matična podlaga na območju Vremščice je karbonat s krednimi apnenci. Na tej matični podlagi so se razvile rendzine, rjava pokarbonatna tla in jerovica. Na ekstremnih rastiščih, kjer so tla nerazvita, brez organskega horizontal in s slabo razvitim mineralnim horizontom se je razvilo kamnišče, na pobočjih pa koluvialno – deluvialna tla. Prevladujoča gozdna združba je z 41,1 % površine *Seslerio -Ostryetum* sledita *Melampyro vulgati - Quercetum* (16,5 %) in *Seslerio – Fagetum* (16,4%). V *Seslerio –Ostryetum* sodi tudi območje ploskve. Za to združbo je značilno, da porašča predvsem nižje, odprte in prisojne lege, topla in sušna območja. Za njo je značilno tudi, da predstavlja sekundarno realno vegetacijo, ki je nastala zaradi antropozoogenih dejavnikov. Združbo gradijo hrasti (puhovec, cer) ter črni gaber, mali jesen.... Na raziskovalni ploskvi je prevladoval črni gaber, kateremu je sledil mali jesen in beli gaber. Posamično je bilo prisotnih nekaj dreves lipe, hrasta in češnje. 59,1 % sečenj v GGE predstavlja redčenje, 10,4 % pa posek na panj, ki se izvaja v gozdovih listavcev (črni gaber).

Povprečna lesna zaloga na ravni GGE znaša 198,2 m³/ha od tega je 19,2 % iglavcev. Povprečen prirastek znaša 4,48 % m³/ha. Območje raziskovalne ploskve sodi v Naturo 2000.



Slika 74: Stanje na ploskvi 1 po poseku

Preglednica 36: Opis raziskovalnih ploskev (Vremščica – črni gaber)

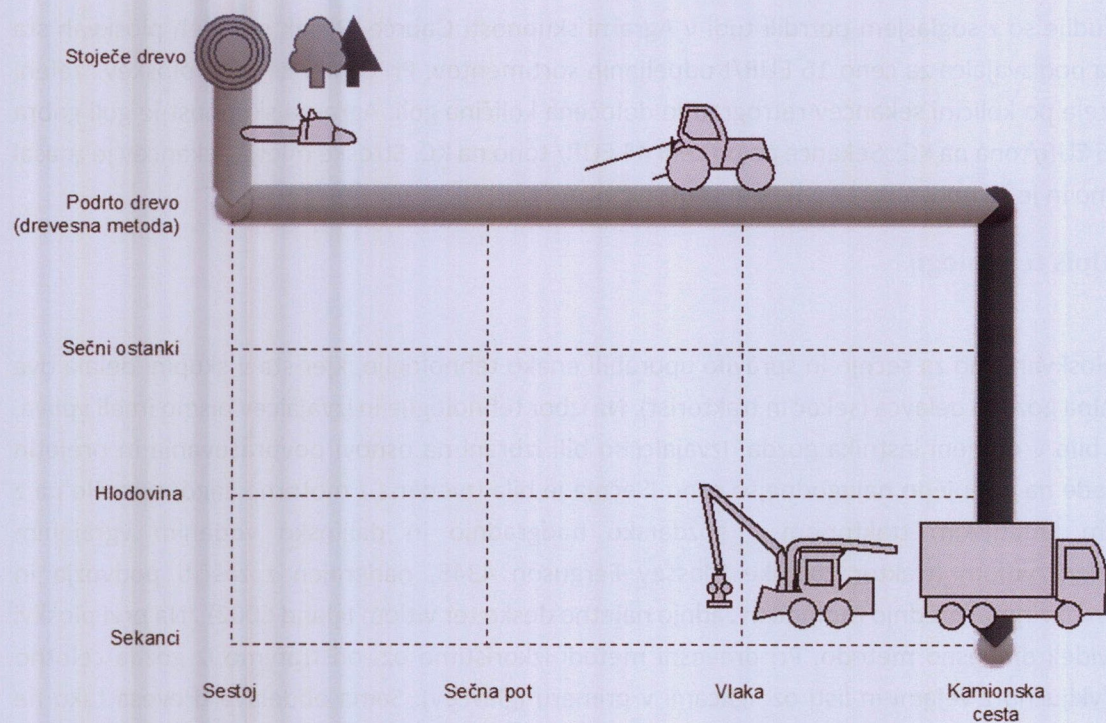
	Ploskev 1 "Zeleni sekanci"	Ploskev 2 "Okrogli les"	Celotna delovišče
Lokacija	Vremščica odd. 84A	Vremščica odd. 84A	Vremščica odd. 84A
Nadmorska višina (m.a.s.l.)	772 – 824	772 – 824	772 – 824
Površina ploskev (ha)	0,25	0,25	0,50
Povprečni naklon (%)	25	30	25
Starost sestoja (years)	80	80	80
Lesna zaloga (m ³ /ha)	218,96	182,48	149,38
Število odkazanih dreves	739	598	1337
Intenziteta (%)	100	100	100
Št. posekanih dreves (no. trees/ha)	760	579	1339
Skupni posek (t/ha)	218,96	182,48	401,44
zelenih sekancev v skupnem poseku Delež s (%)	100	0	/
Povp. premer posekanih dreves (d _{1,3}) (cm)* ²	10,94	12,69	11,73
Posek okroglega lesa (m ³ , under bark)	0	39,6	/
Količina zelenih sekancev (nasut m ³)	149,56	0	
Gostota nasutja (kg/nm3)	366	/	/

Namen študije je bil primerjati dva sistema sečnje z uporabo enotne tehnologije. V osnovi je bil poizkus zastavljen na način, da se v panjevskem sestoju črnega gabra z načrtovano obnovo na panj primerja proizvodnjo zelenih sekancev s proizvodnjo goli. Na ploskvi I je potekal posek po drevesni metodi z motorno žago in spravilom z adaptiranim kmetijskim traktorjem ter proizvodnja sekancev na kamionski cesti iz celih dreves. Na ploskvi II je bil posek opravljen po sortimentni metodi, kateremu je sledilo spravilom z adaptiranim kmetijskih traktorjem. Poseku in spravilu goli naj bi sledilo zbiranje vej z mini bagrom ter odvoz z zgibnim polprikolničarjem. Okrogel les bi se tržil kot goli, sečni ostanki pa kot lesni sekanci. Taka izvedba zaradi zakonski omejitev na ploskvi II ni bila mogoča. Poizkus je zato potekal brez odvoza sečnih ostankov in zbiranja z mini bagrom ter se po končani sečnji zaključil z gozdnim redom. Poskus je zajemal sečnjo na ploskvah v sestoju (B196). Ostali del sestoja v tej fazi ni šel v obnovo.

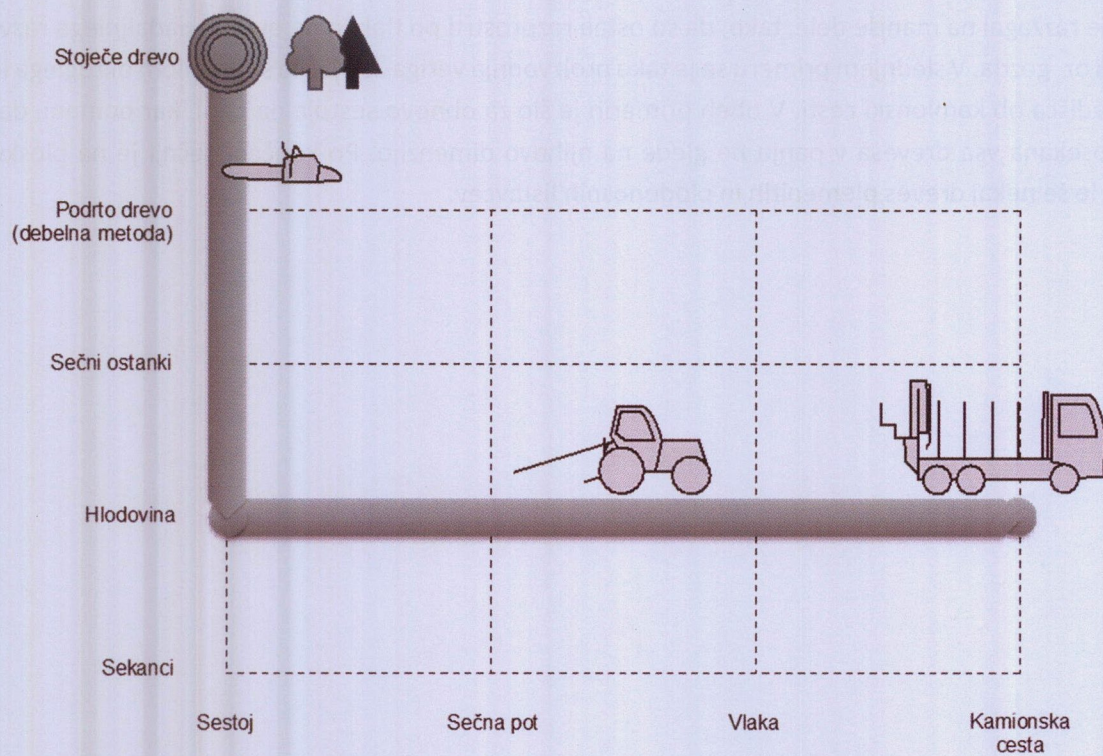
Izvedbo študije so z soglasjem potrdili tudi v Agrarni skupnosti Gabrče. Posek na obeh ploskvah sta izvedla dva podizvajalca za ceno 16 EUR/t odpeljanih sortimentov. Pri čemer se je za ploskev "zeleni sekanci" štela po količini sekancev retrogradno določena količina goli. Agrarna skupnost je goli gabra tržila po 36 EUR/tona na KC. Sekance pa po ceni 44 EUR/tono na KC. Stroške mletja sekancev je znašal 11 EUR/tono in je že upoštevan v odkupni ceni sekancev.

4.4.3.2 Opis tehnologij

Na obeh ploskvah smo za sečnjo in spravilo uporabili enako tehnologijo, kjer sta v skupini delala dva profesionalna gozdna delavca (sekač in traktorist). Na izbor tehnologije in izvajalcev nismo imeli vpliva, kajti to je bilo v domeni lastnika gozda. Izvajalci so bili izbrani na osnovi povpraševanja in prejetih ponudb glede na ponujeno najugodnejšo ceno. Sečnja je bila izvedena z motorno žago, spravilo pa z adaptiranim kmetijskim traktorjem z gozdarsko nadgradnjo in daljinsko vodenim vgrajenim dvobobenskim vitlom (traktor znamke Massey Ferguson 4345, nadgrajen z zaščiti podvozja in ojačitvenim okvirjem, prednjo rampno in zadnjo naletno desko ter vitlom Igland 6002). Na prvi ploskvi smo predvideli drevesno metodo. Pri drevesni metodi izkoristimo oz. odstranimo iz gozda celotno drevnino (vključno z vejami in listi oz. iglicami v primeru iglavcev). Sama obdelava drevesa tako ne poteka ob panju ampak praviloma ob kamionski cesti. V našem primeru je sledilo mletje celotnih dreves z velikim sekalnikom (Albach Silvator 2000). Na drugi ploskvi je potekala sečnja in spravilo po vzoru običajnega gospodarjenja. To pomeni, da je sekač ob panju iz drevesa izdelal sortimente po debelni metodi sečnje, sečne ostanke (vrhač in veje) pa je v skladu z gozdnih redom gozdni delavec kasneje razžagal na manjše dele, tako, da so ostali razprostrti po tleh in ne ovirajo nadaljnjega razvoja mladja oz. gozda. V slednjem primeru se je tako proizvodnja veriga zaključila s spravilom okroglega lesa do skladišča ob kamionski cesti. V obeh primerih je šlo za obnovo sestoja na panj, kar pomeni, da so bila posekana vsa drevesa v panju ne glede na njihovo dimenzijo. Po končani sečnji je na ploskvah ostalo le še nekaj dreves plemenitih in plodonosnih listavcev.



Slika 75: Tehnološki model v primeru proizvodnje sekancev (Ploskev 1: Vremščica – črni gaber) – črni gaber



Slika 76: Tehnološki model v primeru proizvodnje sortimentov (Ploskev 2: Vremščica - črni gaber)

4.4.3.3 Rezultati

4.4.3.3.1 Časovna študija za objekt Vremščica – črni gaber

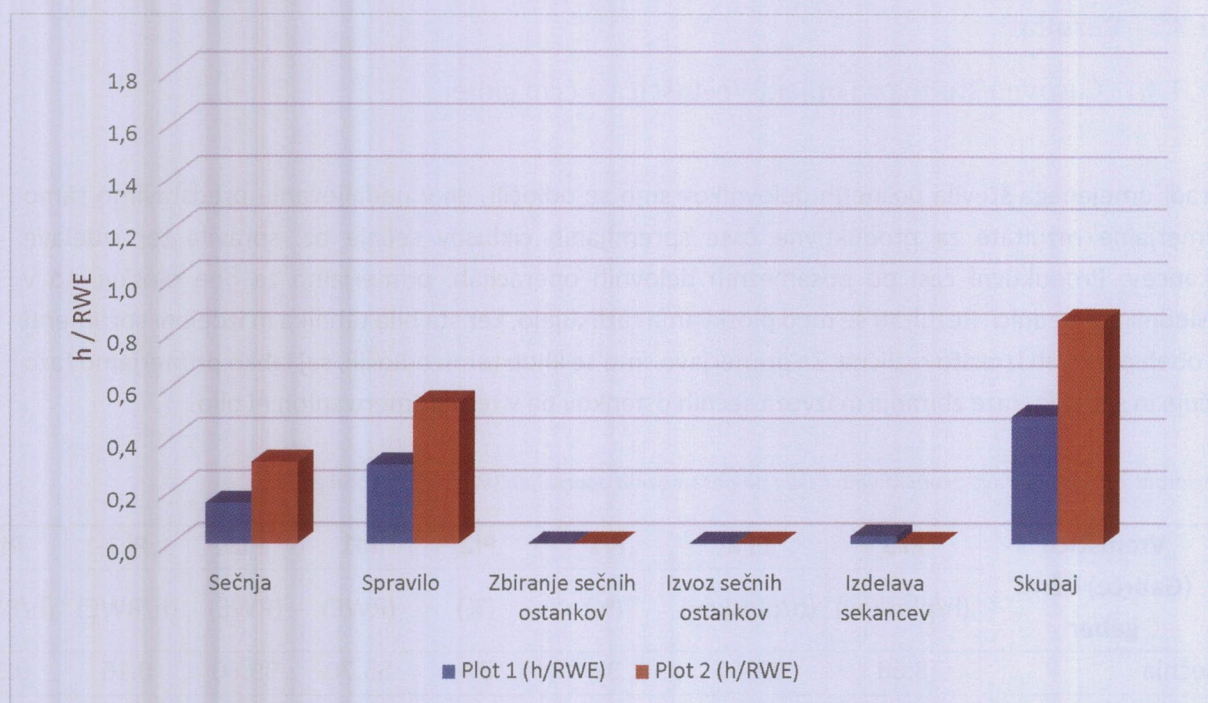
Zaradi omejenega števila posnetih delovnikov smo se odločili, da v nadaljevanju predstavimo samo primerjalne rezultate za produktivne čase spremljanih ciklusov sečnje oz. spravila ter izdelave sekancev. Produktivni časi po posameznih delovnih operacijah, primerjalno za obe ploskvi, so v naslednji preglednici. Rezultati se med ploskvama razlikujejo, ker sta bila tehnika in izdelani sortimenti na obeh ploskvah izrazito različna. Za primerjavo smo se kljub temu odločili, saj lahko primerjamo fazo sečnje in spravila, faze zbiranja in izvoza sečnih ostankov pa v tem primeru sploh ni bilo.

Preglednica 37: Primerjava produktivnih časov po posameznih operacijah (Vremščica – črni gaber)

Vremščica (Gabrče) - Črni gaber	PI 1	PI 2	PI1	PI2	PI1	PI2	PI 1	PI2
	(h/ploskev)	(h/ploskev)	(%)	(%)	(RWE)	(RWE)	(h/RWE)	(h/RWE)
Sečnja	8.68	12.41	32	37	55.70	39.60	0.16	0.31
Spravilo	16.83	21.35	62	63	55.70	39.60	0.30	0.54
Zbiranje sečnih ostankov	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00
Spravilo sečnih ostankov	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00
Izdelava sekancev	1.62	0.00	6	0	55.70	39.60	0.03	0.00
SKUPAJ	27.13	33.76	100.00	100.00			0.49	0.85

Povprečna gostota nasutja sekancev (izmerjena v skladu z EN 15150: 2011) je bila na ploskvi 1, kjer je potekala tudi izdelava sekancev, 366kg/nasut m³.

Primerjava produktivnih časov na obeh ploskvah je pokazala, da imamo na ploskvi 1, kjer smo z namenom pospeševanja izdelave zelenih sekancev izbrali drevesno metodo, prihranek časov (43 %). Prihranek časa pri sečnji je posledica drevesne metode na ploskvi 1. Produktivni čas (preračuna na ekvivalent okroglega lesa) je tako pri sečnji kot tudi pri spravilu za skoraj polovico nižji na ploskvi 1, kjer je bila uporabljena drevesna metoda kot na ploskvi 2 kjer je bila uporabljena sortimentna metoda.



Slika 77: Primerjava produktivnih časov po posameznih delovnih operacijah na raziskovalnih ploskvah (Vremščica – Črni gaber)

Primerjava produktivnosti v primeru sestojev termofilnih listavcev je nekoliko drugačna kot pri ostalih ploskvah saj gre tu za dva popolnoma drugačna sistema. Na prvi ploskvi imamo drevesno metodo ter mletje celih dreves na kamionski cest, na drugi ploskvi pa sortimentno metodo, spravilo sortimentov ter gozdni red, brez iznosa sečnih ostankov. Obe tehnologiji sta dejansko tradicionalne za naš prostor, zato je primerjava upravičena. V naslednji tabeli predstavljamo produktivnost posameznih faz. Iz preglednice je razvidno, da je produktivnost na ploskvi 1 kar za 61,6 % višja kot na ploskvi dva. V kolikor primerjamo samo sečnjo in spravilo, vidimo, da je produktivnost dveh operacij na ploskvi 1 za 48 % višja kot na ploskvi 2. Zanimiv je rezultat, ki kaže na to, da je produktivnost pri sečnji v primeru drevesne metode kar za 50 % višja, produktivnost pri spravilu pa je višja za 44 %. Produktivnost sečnje in spravila na ploskvi 1 je bila 9,73 EOKL/uro in 5,05 EOKL/uro na ploskvi 2. Na ploskvi 1 imamo še izdelavo lesnih sekancev, kjer je bila produktivnost zaradi mletja celih dreves velika in je znašala 34,3 EOKL/h, kar je največja produktivnost pri izdelavi sekancev na vseh primerjalnih vzorčnih ploskvah.

Preglednica 38: Produktivnost posameznih delovnih operacij (v EOKL/h) (Vremščica – črni gaber)

Vremščica (Gabrče) - Črni gaber	Ploskev 1	Ploskev 2
	“zeleni sekanci”	“okrogli les”
Sečnja	6.42	3.19
Spravilo z prilagojenim kmetijskim traktorjem	3.31	1.85
Zbiranje sečnih ostankov	0.00	0.00
Spravilo sečnih ostankov	0.00	0.00
Izdelava sekancev	34.31	0.00

4.4.3.3.2 Primerjava strukture gozdnih lesnih sortimentov (GLS) med dvema načinoma proizvodnje – črni gaber

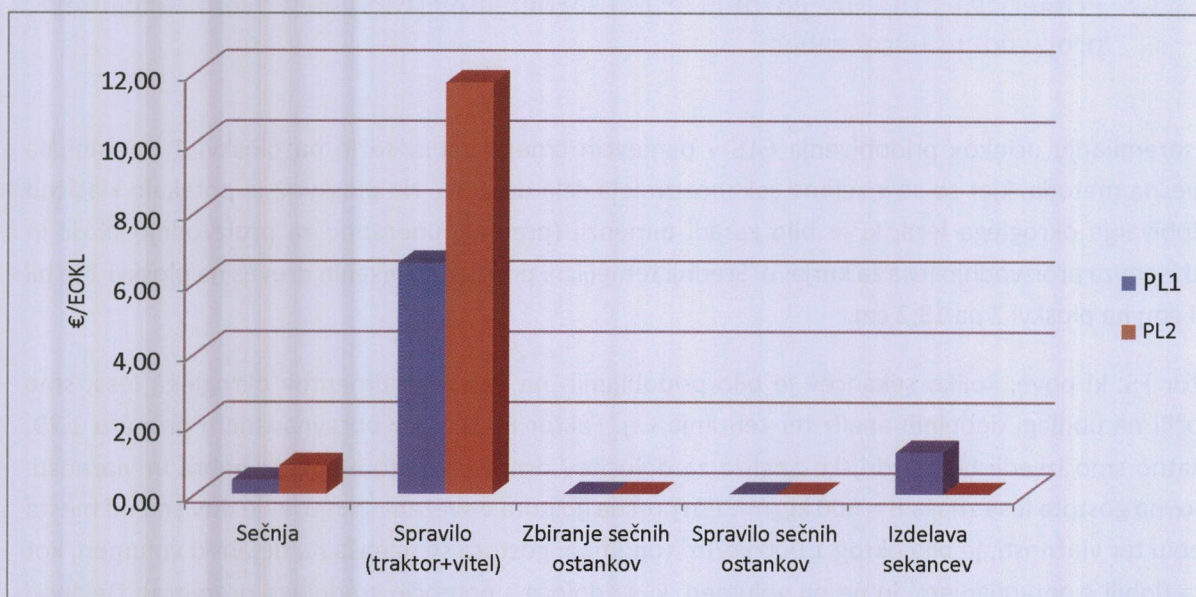
Pri spremljanju učinkov pridobivanja GLS v panjevcih črnega gabra se je na ploskvi 1 uporabljala drevesna metoda, kjer so se v zelene sekance zmlela cela drevesa. Na ploskvi 2 je potekalo klasično pridobivanje okroglega lesa, ki je bilo zaradi dimenzij (premer) uporabno za proizvodnjo plošč in predvsem za proizvodnjo lesa za kurjavo. Srednji temeljni premer posekanih dreves na ploskvi 1 je bil 11,4 cm; na ploskvi 2 pa 13,2 cm.

Faktor FS, ki pove, koliko sekancev je bilo pridobljenih na enoto sortimentov okroglega lesa, smo določili na podlagi debelnih analiz ter tehtanja vej. Faktor FS znaša v obravnavanem primeru 1,29. Dodatno smo izvedli laboratorijske analize za določitev osnovne gostote črnega gabra in vlažnosti. Osnovna gostota lesa znaša $R = 600 \text{ kg/m}^3$. Povprečna gostota v svežem stanju, ki je odvisna od mesta v deblu ter vlažnosti, je bila okrog 1.000 kg/m^3 (opomba: gostota se nanaša na dejanski volumen, kot bi ga dobili s potapljanjem, in ne na volumen, ki se določa s pomočjo srednjega premera). Dejanski delež skorje pri drevesih prsnega premera do 15 cm je bil v povprečju 25 %, variira pa z višino na deblu.

4.4.3.4 Stroški proizvodnje

Tudi v primeru ploskve na Vremščici-gabri nimamo detajlnih podatkov o stroških in prihodkih izvajalcev del, zato bomo primerjali le izračunane neposredne stroške strojev. Kot osnovo smo vzeli kalkulacijo stroškov skladno z Katalogom stroškov gozdarske mehanizacije (Klun et al. 2009). Kakor smo že omenili, je v primeru poseka na ploskvah v sestoji Črnega gabra, tehnologija sečnje in spravila na obeh ploskvah izrazito drugačna. Zato se bistveno razlikujejo tudi neposredni stroški strojev. Analiza neposrednih stroškov strojev je pokazala, da so bili stroški preračunani na ekvivalent okroglega lesa višji na ploskvi 2, in sicer za 35 %. Največ je k tej razliki v stroških prinesla bistveno večja poraba časa za spravilo sortimentov s prilagojenim kmetijskim traktorjem. V primeru spravila celih dreves (ploskev 1) je bil strošek spravila 6,6 €, pri spravilu sortimentov (Ploskev 2) pa 11,7 €/EOKL. Na Ploskvi 1 so iz celih dreves naredili sekance, zato je poleg stroška sečnje in spravila še strošek izdelave sekancev, ki je v tem

primeru nizek in znaša le 1.2€/EOKL. Na drugi ploskvi je potekalo gospodarjenje po ustaljeni praksi, zato so sortimente na gozdni cesti prodali v obliki goli, sečni ostanki pa so ostali v sestoju. Za razliko od prejšnjih primerov (Nanos in Vremščica 1) je v primeru drevesne metode (ploskev 1), večino skupnih stroškov preračunanih na ekvivalent okroglega lesa predstavljal strošek sečnje in spravila (85 %), strošek izdelave zelenih sekancev pa le 15 %, pri tem je tu nastal le strošek mletja dreves in ni dodatnega stroška izvoza sečnih sotankov. Pri proizvodnji okroglega lesa predstavlja spravilo s prilagojenim kmetijskim traktorjem več kot 90 % stroškov. Struktura stroškov preračunanih na ekvivalent okroglega lesa za obe ploskvi je predstavljen v naslednjem grafikonu (slika 19). Izračunani neposredni stroški strojev pri proizvodnji okroglega lesa so 6,97 €/EOKL na ploskvi 1 oziroma 12,53 €/EOKL na ploskvi 2. Tem stroškom je potrebno dodati še stroške dela ter režije. Tako so skupni neposredni stroški strojev na ploskvi 1 (strošku sečnje in spravila je dodan še strošek izdelave sekancev) 8,17 in 12,53 na ploskvi 2. Razmerje med stroški proizvodnje okroglega lesa in zelenih sekancev je na ploskvi 1 85:15.



Slika 78: Struktura stroškov za posamezne operacije na testnih ploskvah (v €/EOKL) (Vremščica – črni gaber)



Slika 79: Odvoz okroglega lesa iz ploskve 2

4.4.4 Trnovo – mešan gozd

4.4.4.1 Opis raziskovalnih objektov

Območje se nahaja v jugozahodnem delu slovenskih dinaridov v gozdnogospodarski enoti Trnovo, ki leži v osrednjem južnem delu tolminskega gozdnogospodarskega območja. Reliefno gledano je Trnovska planota tipična visoko kraška planoto, ki se postopno dviga od juga proti severu. Večina gozdnih površin je v lasti države (97,2 % ali 4.203 ha) in z njimi upravlja Sklad kmetijskih zemljišč in gozdov Republike Slovenije. Posledično je med funkcijami gozda najbolj poudarjena lesnoproizvodna, saj gre za državno enoto z bogato tradicijo gospodarjenja. V enoti sicer prevladujejo večnamenski gozdovi (86 %). Enota je spravilno dobro odprta, saj je odprtost za spravilo v večnamenskih gozdovih 85%. Povprečna lesna zaloga znaša 293 m³/ha, od tega je 32,8 % iglavcev in 67,2 % listavcev pri slednjih prevladuje bukev (62% lesne zaloge). Prevladujoča gozdna združba je *Omphalodo-Fagetum* v kateri so glavne tri drevesne vrste bukev, jelka in smreka. Povprečni letni prirastek enote znaša 6,22 m³/ha. Skupna površina gozdno gospodarke enote je 4.612,18 ha (4.325,04 ha gozda – 93,7%). Gozdne površine se razprostirajo na nadmorski višini od 550 do 1445 metrov. Povprečne letna količina padavin je od 2000 – 3000 mm. Gozdovi so v večini vključeni v omrežje NATURA 2000 (GGE Trnovo 2003 – 2012).



Slika 80: Stanje na ploskvah po poseku in izvozu okroglega lesa in sečnih ostankov (Trnovem)

Preglednica 39: Opis raziskovalnih ploskev (Trnovo – mešan gozd)

	Ploskev 1 "Zeleni sekanci"	Ploskev 2 "Okrogli les"	Celotna delovišče
Lokacija	ODDELEK 30	ODDELEK 30	Trnovo
Nadmorska višina (m.a.s.l.)	772 – 824	772 – 824	772 – 824
Površina ploskev (ha)	0,25	0,25	/
Povprečni naklon (%)	10	25	10
Starost sestoja (years)	140	140	140
Lesna zaloga (m ³ /ha)	428	428	428
Število odkazanih dreves	33	39	/
Intenziteta redčenj (%)	/	/	22
Št. posekanih dreves (no. trees/ha)	132	156	/
Skupni posek (t/ha)* ¹	313,97	351,89	
Delež zelenih sekancev v skupnem poseku (%)	37,50%	15,11%	/
Povp. premer posekanih dreves (d _{1,3}) (cm)* ²	37,76	42,41	/
Posek okroglega lesa (m ³ , under bark)	53,39	77,81	
Količina zelenih sekancev (nasut m ³)	77,06	28,05	
Gostota nasutja (kg/nm ³)	382	474	/
Vsebnost vode v sekancih * ³	44,10	47,10	/

*¹ Skupni posek zajema količino zelenih sekancev ter posek okroglega lesa. Za preračun iz volumna v maso je bil za BU uporabljen faktor 1, za JE faktor 0,85 in za SM faktor 0,8

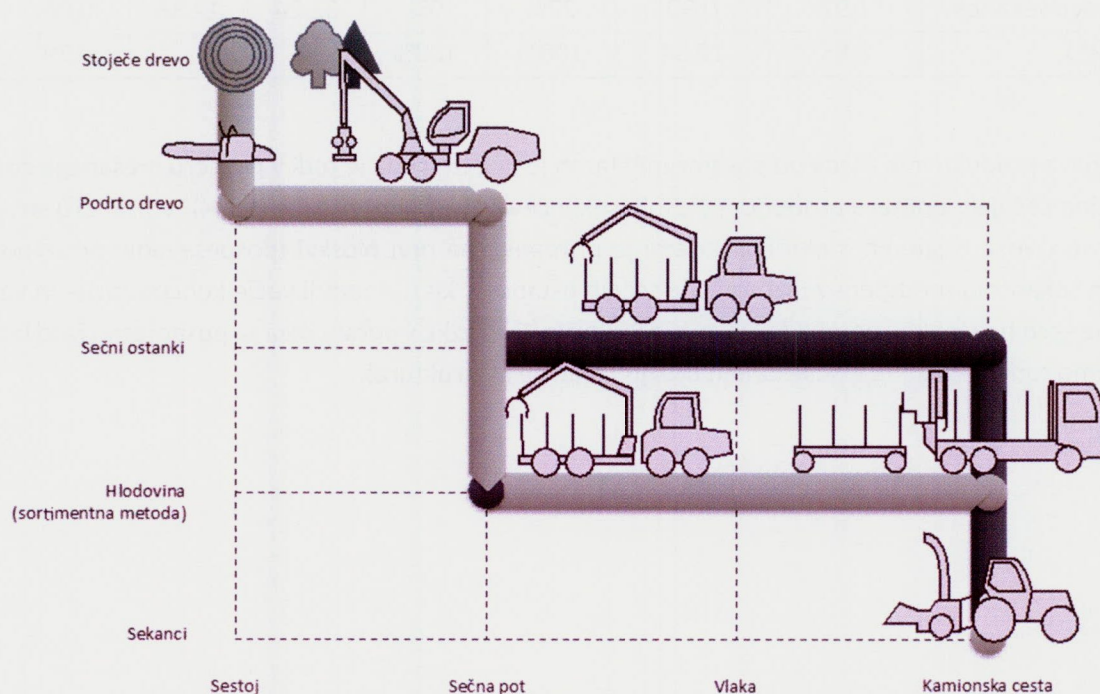
*² Povp. premer posekanih dreves (d_{1,3}) – aritmetična sredina premera dreves na prsni višini

*³ Vsebnost vode (w %) je bila za sekance izmerjena skladno z SIST EN 14774-1:2010

Na raziskovalnih ploskvah Trnovo smo raziskavo zastavili podobno kot na drugih raziskovalnih objektih. Zopet smo na eni izmed ploskev poskušali maksimirati delež sečnih ostankov na račun manj kakovostnega drobnega drevja in puščanja večjega vrhača. Na drugi ploskvi so gozdni delavci delali po običajni praksi le da niso izdelovali gozdnega reda, saj je sledilo tudi spravilo sečnih ostankov.

4.4.4.2 Opis tehnologij

Na raziskovalnih ploskvah v trnovskem gozdu je bil namen spremljati strojno sečnjo in spravilo z zgibnim prikoličarjem ob enakih predpostavkah kot na drugih raziskovanih območjih. Na obeh ploskvah so v sklopu rednega gospodarjenja v državnih gozdovih gozdna dela izvajali delavci koncesionarja. Slednji so za izdelavo lesnih sekancev najeli podizvajalca. Izbor drevja za sečnjo je v sklopu rednega odkazila izvedel revirni gozdar. Vse odkazano drevje smo za potrebe časovne študije oštevilčili in premerili. V naslednji fazi sta na raziskovalnih ploskvah sočasno delala dva gozdna delavca. Strojnik stroja za sečnjo (znamke John Deere tip 1470D) je tako po sortimentni metodi izdelal večino dreves na ploskvah, medtem ko mu je sekač pomagal s podiranjem in izdelavo prvih kosov drevja, ki je bilo predebelo za uporabljeno procesorsko glavo. Pomoč sečkača je obsegala minimalen delež (6 dreves). Sečnji je po krajšem obdobju slabega vreme sledilo še strojno spravilo sortimentov in sečnih ostankov z uporabo velikega zgibnega prikoličarja (znamke John Deere tip 1410 Eco III), ki ga je upravljal isti strojnik, ki je izvajal sečnjo. Po nekaj zapletih in skoraj enoletnem obdobju se je izvedla tudi izdelava lesnih sekancev iz sečnih ostankov. Za mletje je podizvajalec uporabil velik sekalnik na kamionu (Kamion Iveco Stralis 430, z nakladalno napravo Epsilon 165Z in vgrajenim velikim sekalnikom znamke Eschlböck Biber 80 z lastnim motornim agregatom) s teleskopsko roko za podajanje surovine.



Slika 81: Tehnološki model (Trnovo – mešan gozd)

4.4.4.3 Rezultati

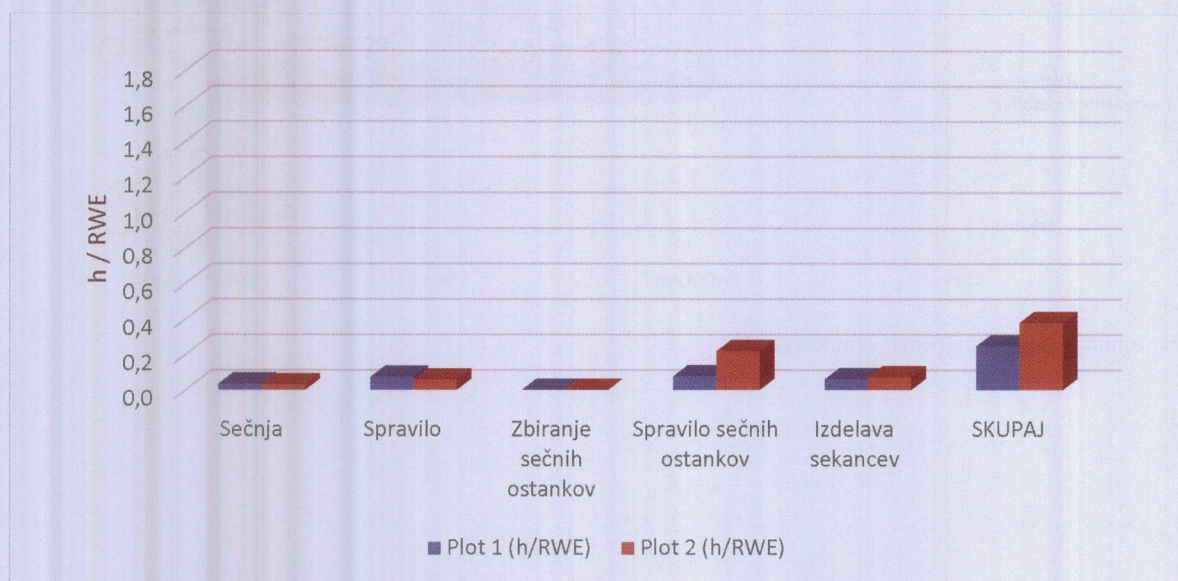
4.4.4.3.1 Časovne študije za objekt Trnovo – mešan gozd

Zaradi majhnega števila posnetih ciklusov predvsem v procesu spravila z zmogljivimi stroji na relativno majhnih ploskevah smo se odločili, da v nadaljevanju predstavimo samo primerjalne rezultate za produktivne čase. Produktivni časi po posameznih delovnih operacijah, primerjalno za obe ploskvi, so v naslednji preglednici.

Preglednica 40: Primerjava produktivnih časov po posameznih operacijah (Trnovo – mešan gozd)

Trnovo - Jelka, Bukev	Ploskev 1	Ploskev 2	Ploskev 1	Ploskev 2	Ploskev 1	Ploskev 2	Ploskev 1	Ploskev 2
	(h/ploskev)	(h/ploskev)	(%)	(%)	(RWE)	(RWE)	(h/RWE)	(h/RWE)
Sečnja	2,19	2,62	25%	25%	62,19	87,02	0,04	0,03
Spravilo	2,19	4,30	25%	41%	29,94	74,66	0,07	0,06
Zbiranje sečnih ostankov	0,00	0,00	0%	0%	0,00	0,00	0,00	0,00
Spravilo sečnih ostankov	2,50	2,71	28%	26%	32,24	12,36	0,08	0,22
Izdelava sekancev	1,97	0,90	22%	9%	32,24	12,36	0,06	0,07
SKUPAJ	8,85	10,54	100%	100%			0,29	0,38

Primerjava produktivnih časov po posameznih fazah je pokazala, da je tudi v primeru mešanega gozda in strojne sečnje v primeru proizvodnje lesnih sekancev pokazala prihranke (36 %). V primeru strojne sečnje in izvoza z zgibnim polprikolničarjem je prihranek na prvi ploskvi (pospeševanje proizvodnje zelenih sekancev) predvsem v fazi spravila sečnih ostankov, kjer je zaradi večje koncentracije in večje količine sečnih ostankov poraba časa kar za 65 % nižja. Del razlik v porabi časa za posamezno fazo lahko razložimo tudi z razlikami v posekanem drevju (količine in struktura).



Slika 82: Primerjava produktivnih časov po posameznih delovnih operacijah na raziskovalnih ploskvah (Trnovo – mešan gozd)

Za razliko od vseh drugih testnih ploskev (Vremščica, Nanos), kjer je potekala sečnja z motorno žago, se je v primeru strojne sečnje pokazalo, da je produktivnost večja v primeru optimizacije proizvodnje okroglega lesa in ne zelenih sekancev. Tako, je bila produktivnosti pri strojni sečnji za več kot enkrat večja na ploskvi 2. Natančen razlog za take razlike v učinkovitosti lahko iščemo tudi v drevesni in debelinski sestavi posekanega drevja. Produktivnost zgibnega prikoličarja je bila pri spravila sečnih ostankov (izvoz sečnih ostankov z zgibnim prikoličarjem) višja v primeru optimizacije proizvodnje zelenih sekancev. Izmerjena gostota nasutja je bila pri sekanci iz prve ploskve 382 kg/nm³, pri sekancih iz druge ploskve pa 474 kg/nm³, na samo gostoto nasutja vpliva tudi dejstvo, da je med časom sečnje in spravila in časom izdelave sekancev preteklo skoraj eno leto. Kljub temu lahko zaključimo, da je produktivnost sekalnika, pa tudi zgibnega prikoličarja, v primeru optimizacije proizvodnje zelenih sekancev, večja. V kolikor primerjamo ekvivaletnet okroglega lesa je razlika v produktivnosti še nekoliko večja, če pa primerjamo produktivnost strojev na tono proizvedenih sekancev (sveža tona) potem so razlike nekoliko manjše. V našem primeru je bila produktivnost zgibnega prikoličarja 11,7 t/h na ploskvi 1 in 4,9 t/h na ploskvi 2.

Preglednica 41: Produktivnost posameznih delovnih operacij (v EOKL/h) (Trnovo – mešan gozd)

Trnovo - Jelka, Bukev	Ploskev 1	Ploskev 2
	“zeleni sekanci”	“okrogli les”
Sečnja	28,41	33,15
Spravilo	13,66	17,35
Zbiranje sečnih ostankov	0,00	0,00
Spravilo sečnih ostankov	12,89	4,56
Izdelava sekancev	16,35	13,70

4.4.4.3.2 Proizvedene količine - Sortimentna struktura

V raznomernih sestojih bukve, jelke in smreke je količina izdelanih zelenih sekancev, izražena relativno na posekano debeljadjo, izrazito večja na ploskvi, kjer se je stremelo k čim večji proizvodnji sekancev (preglednica 41 in 42). S spremenjenim načinom dela (različna intenzivnost izdelave sortimentov) se spremenijo tudi kazalci, kot je delež količine nadzemne dendromase glede na volumen debeljadi, ter povprečni volumen sortimenta, povprečno število izdelanih sortimentov na drevo, kar vpliva na produktivnost dela ter stroške pridobivanja lesa. Na ploskvi 1, kjer se je dal večji poudarek na biomasi, je količina izdelanih zelenih sekancev glede na debeljad relativno visoka, se pa to nakazuje že iz manjšega števila sortimentov, ki se jih izdela na drevo. Poleg tega predvidevamo, da na ploskvi 1 ni bilo prisotnih večjih izgub lesne biomase med zbiranjem.

Preglednica 42: Razlike v količinah izdelanih zelenih sekancev – poskus bukev, jelka in smreka (Trnovo – mešan gozd)

Ploskev	Referenca	d_s	Število dreves	Delež bukovine v debeljadi	Debeljad (m^3)*	Izdelani zeleni sekanci (nm^3)	Izdelani zeleni sekanci (EOKL m^3_{ss})	FS
P1	Biomasa	42,9 cm	33	0,43	58,5	77,1	32,2	0,55
P2	Sortimenti	47,6 cm	39	0,74	81,7	28,1	12,4	0,15

* izračun na podlagi vrednosti tarifnih razredov (ZGS, E5)

d_s – srednji temeljnični premer posekanih dreves

EOKL m^3_{ss} – ekvivalenti okroglega lesa v m^3 s skorjo

FS – faktor za sekance (EOKL m^3_{ss}) na enoto debeljadi (m^3_{ss})

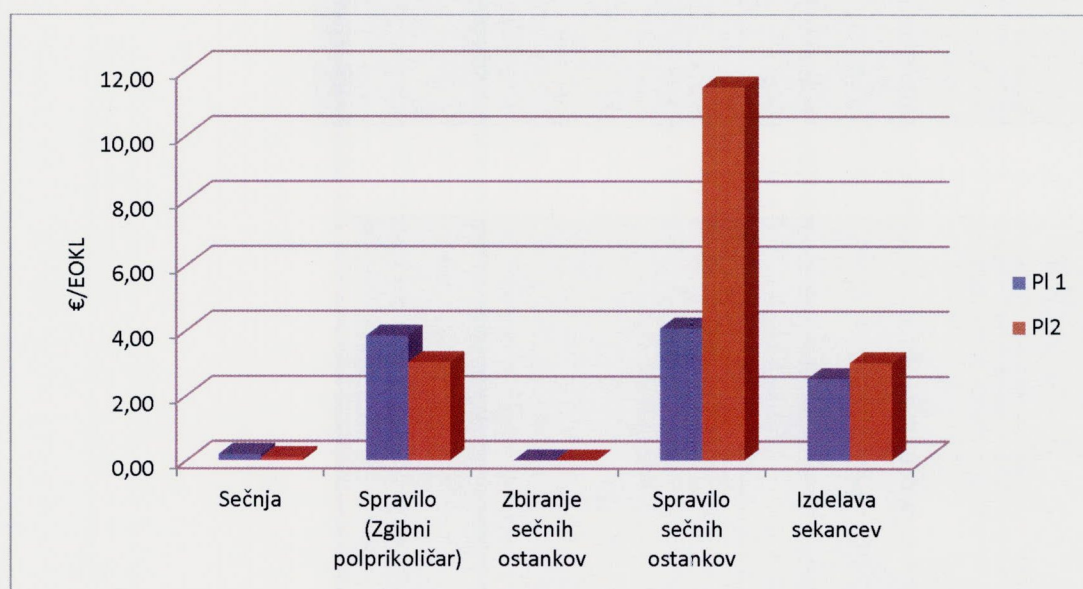
Preglednica 43: Razlike v kazalcih proizvodnje – poskus bukev, jelka in smreka (Trnovo – mešan gozd)

Ploskev	Referenca	Število sortimentov	Število voženj sortimentov	Število voženj "biomase"	Število sortimentov na drevo
P1	Biomasa	139	5	4	4,2
P2	Sortimenti	250	8	4	6,4

4.4.4.4 Stroški proizvodnje zelenih sekancev

Pri izračunih smo kot osnovo vzeli kalkulacijo stroškov skladno z Katalogom stroškov gozdarske mehanizacije (Klun *et al.* 2009). Ker imamo v primeru testnih ploskev na Trnovem primer strojne sečnje in izvoz okroglega lesa in sečnih ostankov z zgibnim prikoličarjem rezultatov ne moremo primerjati z ostalimi izbranimi primeri. Analiza neposrednih stroškov strojev je pokazala, da so bili stroški preračunani na ekvivalent okroglega lesa višji na ploskvi 2, in sicer za skoraj 40 %. To razliko v stroških povzroča skoraj v celoti večja poraba časa in s tem povezani stroški spravila sečnih ostankov z zgibnim prikoličarjem, saj je strošek tako sečnje kot tudi spravila okroglega lesa večji na ploskvi 1 (za 23%) kot na ploskvi 2. Skupni strošek poseka in spravila je na ploskvi 1 znašal 4,043€/EOKL, na ploskvi 2 pa 3,11€/EOKL.

Pri tem je izvoz hlodovine z zgibnim polprikoličarjem predstavljal na obeh ploskvah več kot 95 % stroškov proizvodnje okroglega lesa. Skupni neposredni strošek strojev pri izdelavi zelenih sekancev je znašal 6,58€/EOKL na ploskvi 1 in 14,49 €/EOKL na ploskvi 2. Pri izdelavi lesnih sekancev je strošek izvoza lesnih ostankov z zgibnim prikoličarjem na ploskvi 1 znašal 4,06€/EOKL oziroma 62 % celotnih stroškov, na ploskvi 2 pa so bili neposredni stroški izvoza sečnih ostankov 11,49€/EOKL (79 % celotnih stroškov izdelave sekancev). Strošek mletja sečnih ostankov je na obeh ploskvah relativno majhen in 2,52 €/EOKL na ploskvi 1 in 3,01 €/EOKL na ploskvi 2. Struktura neposrednih stroškov strojev preračunanih na ekvivalent okroglega lesa za obe ploskvi je predstavljen v naslednjem grafikonu (grafikon XX). Izračunani neposredni stroški strojev pri proizvodnji okroglega lesa in zelenih sekancev so 10,62 €/EOKL na ploskvi 1 oziroma 17,61 €/EOKL na ploskvi 2. Tem stroškom je potrebno dodati še stroške dela ter režije. Razmerje med stroški proizvodnje okroglega lesa in zelenih sekancev je na ploskvi 1 38:61 in 18:82 na ploskvi 2.



Slika 83: Struktura stroškov za posamezne operacije na testnih ploskvah (v €/EOKL) (Trnovo – mešan gozd)

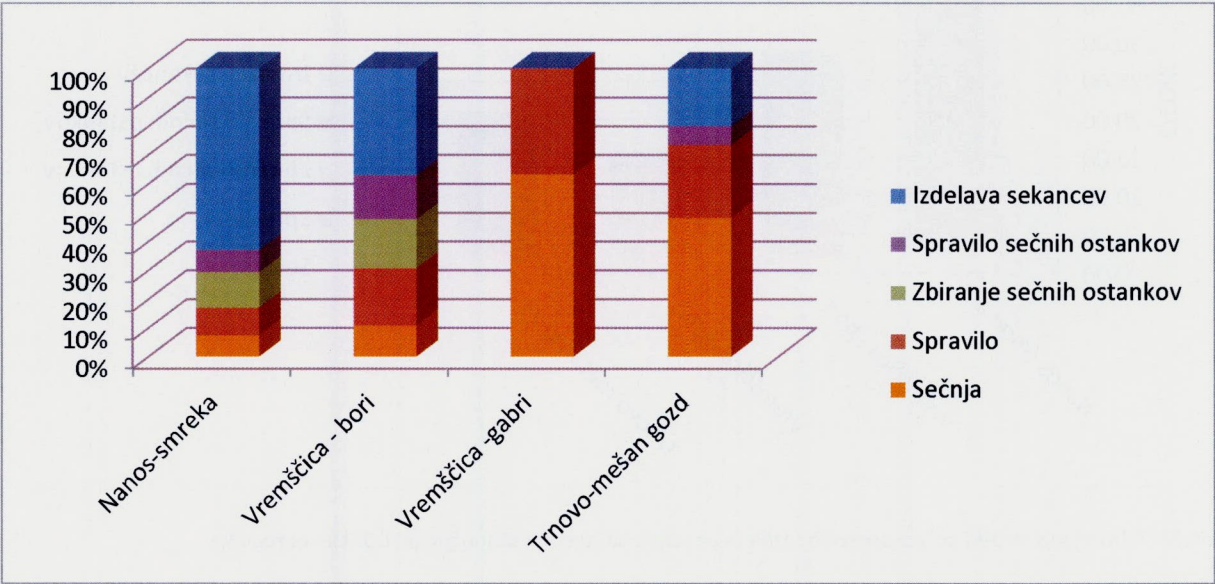


Slika 84: Izdelava sekancev iz sečnih ostankov na Trnovem

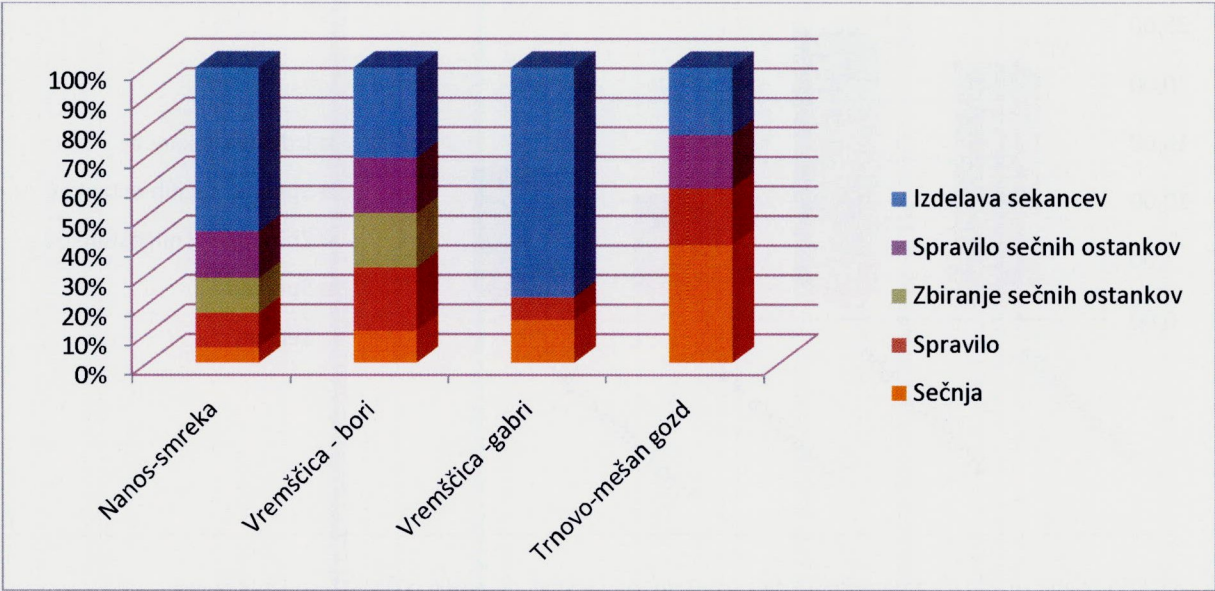


Slika 85: Izvoz okroglega lesa z zgibnim prikoličarjem (Trnovo)

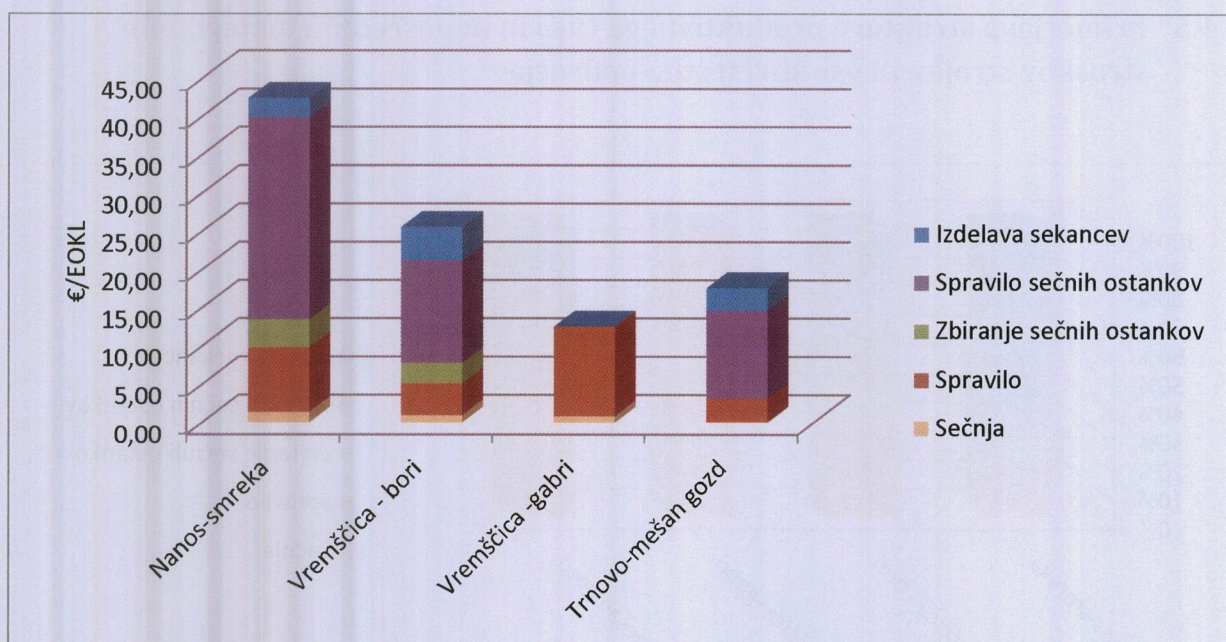
4.4.5 Primerjava strukture produktivnega časa in neposrednih materialnih stroškov strojev za vse štiri testna področja



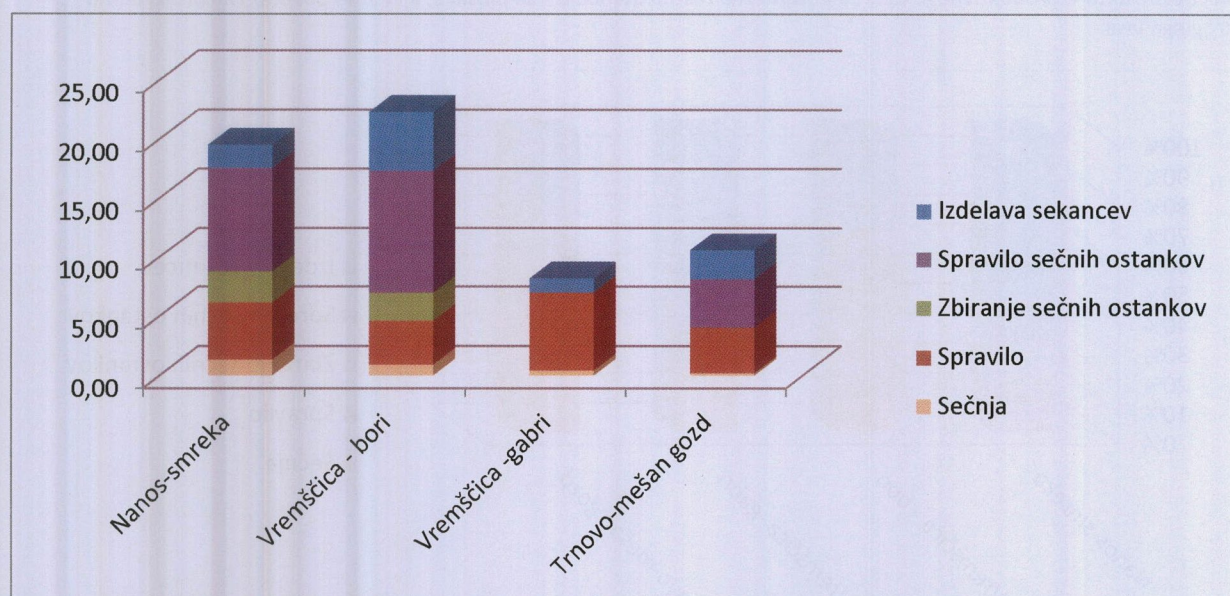
Slika 86: Struktura produktivnega časa za posamezna testna območja – za ploskve, kjer smo pospeševali proizvodnjo okroglega lesa



Slika 87: Struktura produktivnega časa za posamezna testna območja – za ploskve, kjer smo pospeševali proizvodnjo zelenih sekancev



Slika 88: Primerjano stroški po posameznih fazah in posameznih testnih območjih (€/EOKL) – okrogli les



Slika 89: Primerjano stroški po posameznih fazah in posameznih testnih območjih (€/EOKL) – zeleni sekanci

4.4.6 Literatura in viri

- Desrochers L., Puttock D., Ryans M. (1993) The economics of chipping logging residues at roadside: A study of three systems. *Biomass and Bioenergy* Vol. 5, No. 6, pp. 401 - 411
- Spinelli, R., Visser, R.J.M. (2009). Analyzing and estimating delays in wood chipping operations. *Biomass and Bioenergy* 33, 429 – 433
- Björheden R. (1995). An international nomenclature for forest work study. Jyväskylä : The Finish IUFRO World Congress Organizing Committee, 190 – 215
- Nurmi, J. (2007). Recovery of logging residues for energy from spruce (*Picea abies*) dominated stands. *Biomass and Bioenergy* 31, 375 – 380
- Laitila, J. (2008). Harvesting technology and the cost of fuel chips from early thinnings. *Silva Fennica* 42(2), 267 – 283
- Räisänen, T., Nurmi, J. (2011). Impacts of changing the minimum diameter of roundwood on the accumulation of logging residue in first thinnings of Scots pine and Norway spruce. *Biomass and Bioenergy* 35, 2674-2682
- Jylhä, P., Dahl, O., Laitila, J., Kärhä, K., 2010. The effect of supply system on the wood paying capability of a kraft pulp mill using Scots pine harvested from first thinnings. *Silva Fennica* 44(4): 695–714.
- Tolosan, E., Laina, R., Ambrosio, Y., Martin, M., 2011. Biomass Recovery from Spanish pine plantations mechanized thinning residue. Effects of biomass piling method and top diameters. Proceeding of FORMEC 2011 meeting, 9-13 October 2011, Graz, Austria. "Pushing the boundaries with research and innovation in forest engineering".



Slika 90: Les črnega gabra po spravilu ob gozdni cest, pripravljen za izdelavo sekancev

4.4.7 Priloge

Priloga 1: Količine proizvedenih sortimentov in zelenih sekancev po posameznih ploskvah

Lokacija	Drevesna vrsta	Ploskev	Preferenca	Hlodovina (m ³ _{ss})	Les za mehansko celulozo kakovostni razred 1 (m ³ _{ss})	Les za mehansko celulozo kakovostni razred 2 (m ³ _{ss})	Les za kemično celulozo, les za kurjavo (m ³ _{ss})	Skupaj sortimenti (m ³ _{ss})	Izdelani zeleni sekanci (EOKL m ³ _{ss})	SKUPAJ (EOKL m ³ _{ss})	FD	FS
Nanos	Smreka	P1	Biomasa	6,27	6,95	6,85	0,24	20,31	13,7	34,01	1,68	0,67
Nanos	Smreka	P2	Sortimenti	3,40	4,79	5,43	2,64	16,3	5,10	21,40	1,32	0,31
Vremščica	Črni bor	P1	Biomasa	4,34	NR	NR	9,40	13,74	8,05	21,79	1,59	0,59
Vremščica	Črni bor	P2	Sortimenti	7,92	NR	NR	20,13	28,05	9,64	37,69	1,34	0,34
Gabrče	Črni gaber	P1	Biomasa	NR	NR	NR	NR	0	55,70	55,70	1,29	1,29
Gabrče	Črni gaber	P2	Sortimenti	NR	NR	NR	39,60	39,60	0	39,6	1,00	0,00
Trnovo	Bukev, jelka in smreka	P1	Biomasa	NR	NR	NR	NR	NR	32,20	NR	NR	0,55
Trnovo	Bukev, jelka in smreka	P2	Sortimenti	NR	NR	NR	NR	NR	12,40	NR	NR	0,15

* izračun na podlagi vrednosti tarifnih razredov (ZGS, E5)

NR – ni relevantno ali pa ni podatka; d_s – srednji temeljnični premer posekanih dreves; EOKL m³_{ss} – ekvivalenti okroglega lesa v m³ s skorjo; FD - faktor za izkoristljivo nadzemno dendromaso (EOKL m³_{ss}) na enoto debeljadi (m³_{ss}); FS – faktor za sekance (EOKL m³_{ss}) na enoto debeljadi (m³_{ss})

Priloga 2: Rezultati laboratorijski meritev nekaterih parametrov sekancev iz vzorčnih ploskev

Lokacija	Drevesna vrsta	Ploskev	Preferenca	Gostota nasutja (kg/nm ³)	W (%)
Nanos	Smreka	P1	Biomasa	263	40,4
Nanos	Smreka	P2	Sortimenti	262	44,4
Vremščica	Črni bor	P1	Biomasa	237	17,1
Vremščica	Črni bor	P2	Sortimenti	263	25,9
Gabrče	Črni gaber	P1	Biomasa	366	39,1
Gabrče	Črni gaber	P2	Sortimenti	NR	NR
Trnovo	Bukev/jelka/smreka	P1	Biomasa	382	44,1
Trnovo	Bukev/jelka/smreka	P2	Sortimenti	474	47,1

Vsebnost vode v sekancih je bila izmerjena skladno z SIST EN 14774-1:2010

Gostota nasutja je bila izmerjena skladno z SIST EN 15103:2010

5 Gradiva zaključne projektne delavnice

Mednarodna delavnica »Je proizvodnja sekancev iz sečnih ostankov ekološko sprejemljiva tehnološko izvedljiva in ekonomsko upravičena?« projekta V2-1126 je potekala na Gozdarskem inštitutu Slovenije, Ljubljana, 29.10.2013.

Delavnico, na kateri smo predstavili zaključke dvoletnega CRP projekta "Možnosti in omejitve pri pridobivanju lesne biomase iz gozdov" in vmesne rezultate mednarodnega projekta NEWFOR, sta organizirala Zavod za gozdove Slovenije in Gozdarski inštitut Slovenije.

Gradiva zaključne projektne delavnice

Priloga

zaključnega poročila projekta

**Možnosti in omejitve pridobivanje
biomase iz gozdov (V2-1126)**

Mednarodna delavnica »Je proizvodnja sekancev iz sečnih ostankov ekološko sprejemljiva tehnološko izvedljiva in ekonomsko upravičena?« projekta V2-1126 je potekala na Gozdarskem inštitutu Slovenije, Ljubljana, 29.10.2013.

Delavnico, na kateri smo predstavili zaključke dvoletnega CRP projekta "Možnosti in omejitve pri pridobivanju lesne biomase iz gozdov" in vmesne rezultate mednarodnega projekta NEWFOR, sta organizirala Zavod za gozdove Slovenije in Gozdarski inštitut Slovenije.

Raba lesa v energetske namene pridobiva na pomenu. S povečevanjem rabe lesa v energetske namene pa postaja vse bolj aktualno tudi vprašanje načrtovanja gozdne proizvodnje, transporta lesa in rabe sečnih ostankov.

Kakšni so možnosti optimizacije gozdne proizvodnje (NEWFOR)?

Je proizvodnja sekancev iz sečnih ostankov ekološko sprejemljiva, tehnološko izvedljiva in ekonomsko upravičena?

Nekaj odgovorov na ta vprašanja bomo predstavili na delavnici, ki bo potekala v torek, 29.10.2013 v dvorani Gozdarskega inštituta Slovenije na Večni poti 2 v Ljubljani.

Delavnica je namenjena vsem, ki se vključujejo v proizvodne verige pridobivanja, predelave in rabe lesne biomase, od gozdarjev, do lastnikov gozdov ter podjetji, ki izdelujejo lesna goriva. Z delavnico želimo predstaviti rezultate projektov ter z različnimi akterji odpreti razpravo o možnostih in omejitvah pri pridobivanju lesa in zelenih sekancev.

Program delavnice:

8:30 – 9:00 Registracija udeležencev

9:00 – 10:00 Uvodno predavanje (prof. Erler, Tehnična univerza Dresden - TU Dresden)

Potenciali lesne biomase in možnosti optimizacije tehnologije pridobivanja (NEWFOR)

10:00 – 10:30 NEWFOR – možnosti optimizacije gozdne proizvodnje

10:30 – 11:00 Potenciali lesne biomase v Sloveniji

11:00 – 11:30 Odmor za kavo

Ekološki vidiki pridobivanja zelenih sekancev

11:30 – 12:00 Proizvodnja zelenih sekancev in problematika iznosa hranil (Gozdarski inštitut Slovenije)

12:00 – 12:30 Poškodbe tal (Biotehniška fakulteta – Oddelek za gozdarstvo in obnovljive vire)

Tehnološki in ekonomski vidiki pridobivanja lesa

12:30 – 13:00 Načrtovanje tehnologije pridobivanja lesa (Gozdarski inštitut Slovenije)



GOZDARSKI INŠTITUT SLOVENIJE
SLOVENIAN FORESTRY INSTITUTE



ZAVOD za GOZDOVE
SLOVENIJE

Izbrani primeri proizvodnje zelenih sekancev

- 13:00–13:30 Predstavitev rezultatov iz konkretnih testnih ploskev (Gozdarski inštitut Slovenije)
13:30– 14:00 Predstavitev predloga smernic in razprava

Delavnico organizirata Zavod za gozdove Slovenije in Gozdarski inštitut Slovenije. Na delavnici bomo predstavili zaključke dvoletnega CRP projekta: »Možnosti in omejitve pri pridobivanju lesne biomase iz gozdov«, ki sta ga financirala MKO in ARRS ter vmesne rezultate mednarodnega projekta NEWFOR z naslovom »Nove tehnologije za boljšo mobilizacijo lesnih virov v gorskih gozdovih, ki je sofinanciran v okviru EU programov Transnacionalnega teritorialnega sodelovanja (program Območje Alp).

Delavnica je za vse udeležence brezplačna. Za več informacij se obrnite na:

- Iztok Sinjur – Gozdarski inštitut Slovenije (iztok.sinjur@gozdis.si)
- Luka Rebolj - Zavod za gozdove Slovenije (luka.rebolj@zgs.gov.si)

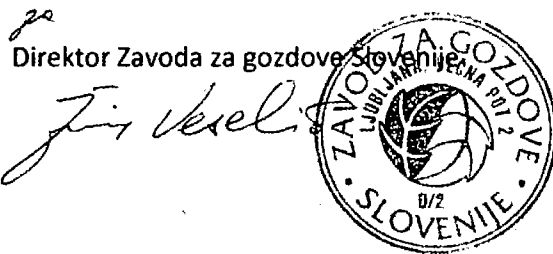
Vljudno vabljeni,

Dr. Primož Simončič



Direktor Gozdarskega inštituta Slovenije

Ivo Trošt



Direktor Zavoda za gozdove Slovenije

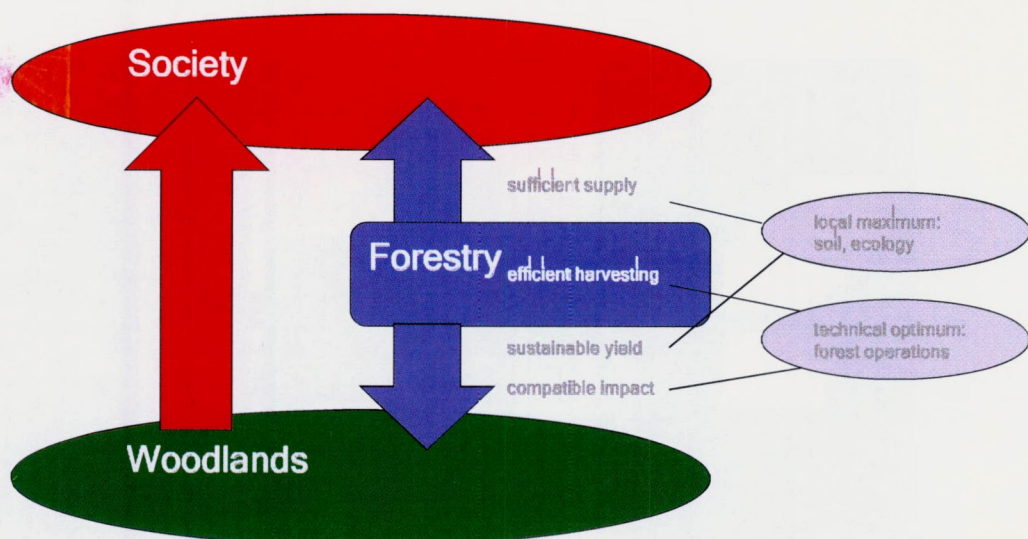


Wood Biomass from Residuals – limits and processes

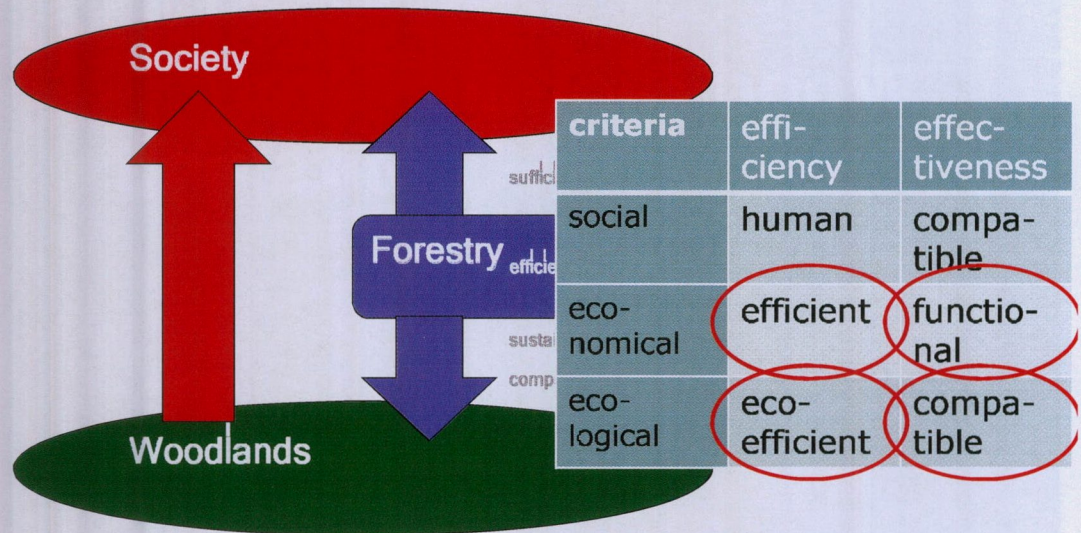
Ljubljana 29.10.2013



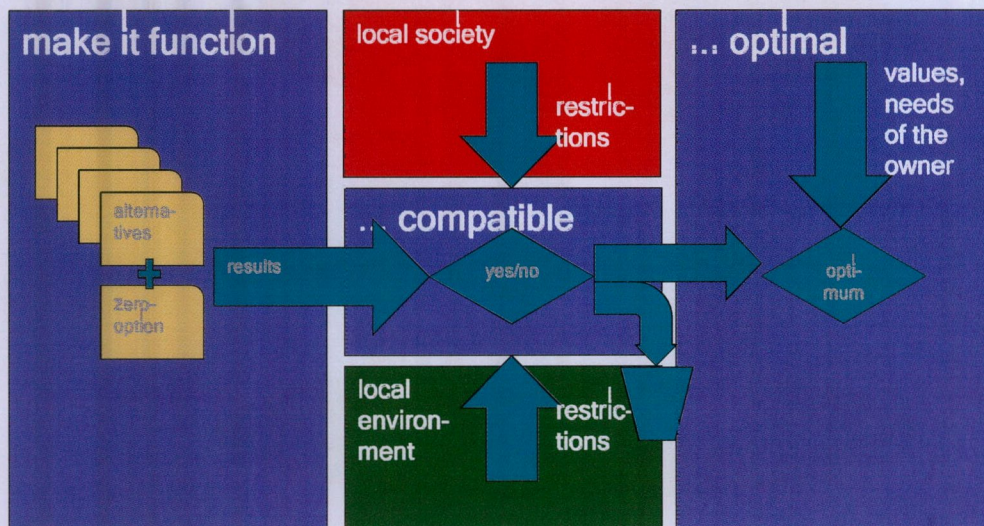
About what do we speak?



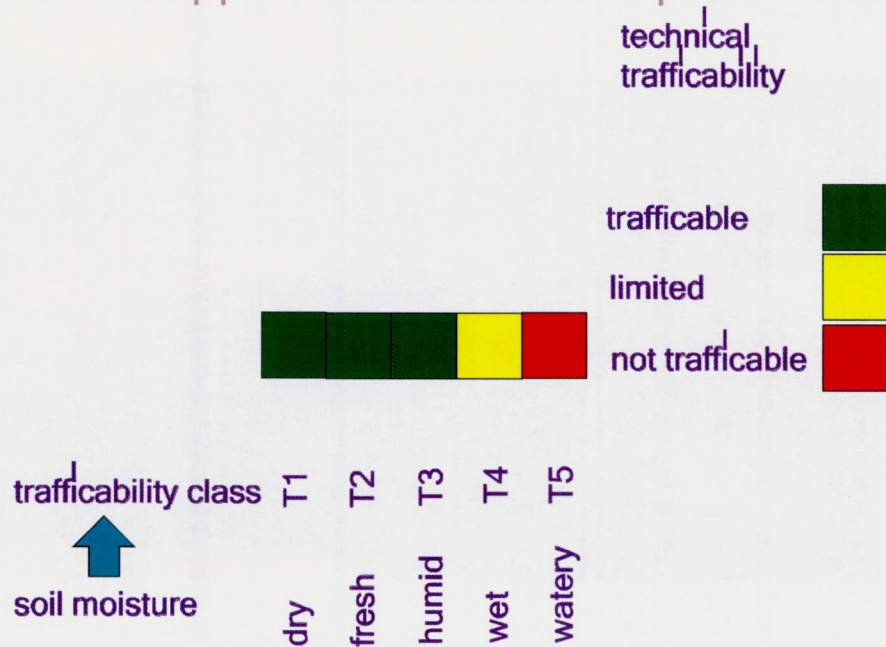
How do we find an „optimum“?



Decision making:
how to find the optimal working method?



How to support the decision in practice work?



Clambunk-Skidder for T1 (T2 with bends)



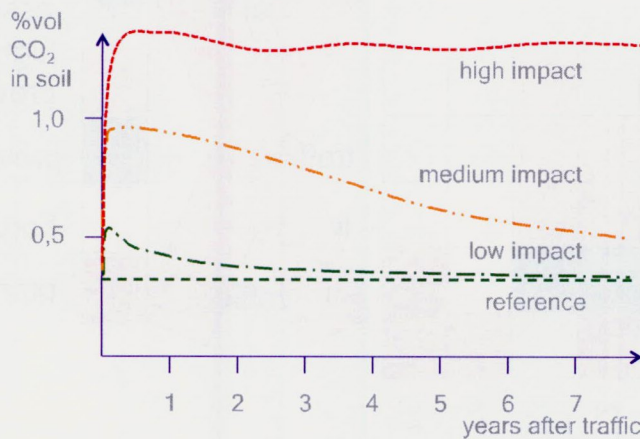
Forwarder for T3



Portal-harvester for T4



What happens with the soil?



- ➡ in practice: compacted soil does not regenerate
- ➡ no machine off skid roads
- ➡ permanent skid roads
- ➡ = at 20 m distance: about 20% of the fertile soil falls to death!
→ eco-efficient?

Which distances of skid-roads can be accepted?

productivity
m³/ha,a ➡ P-class → opening up

>60

P5=0%

51-60

P4=7%

41-50

P3=10%

31-40

P2=20%

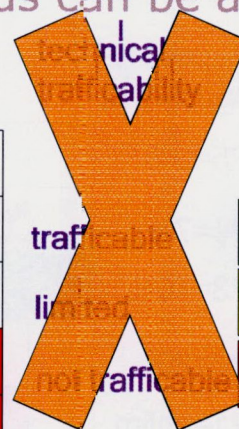
<30

P1=unlim.

trafficability class

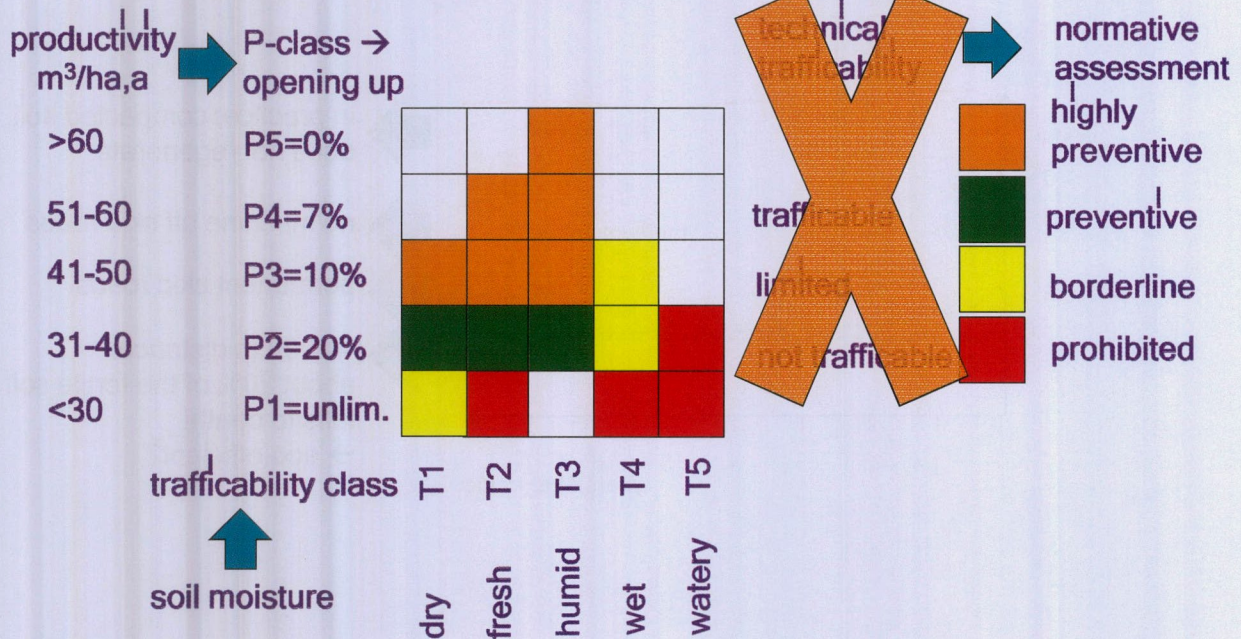
T1 T2 T3 T4 T5
dry fresh humid wet watery

soil moisture

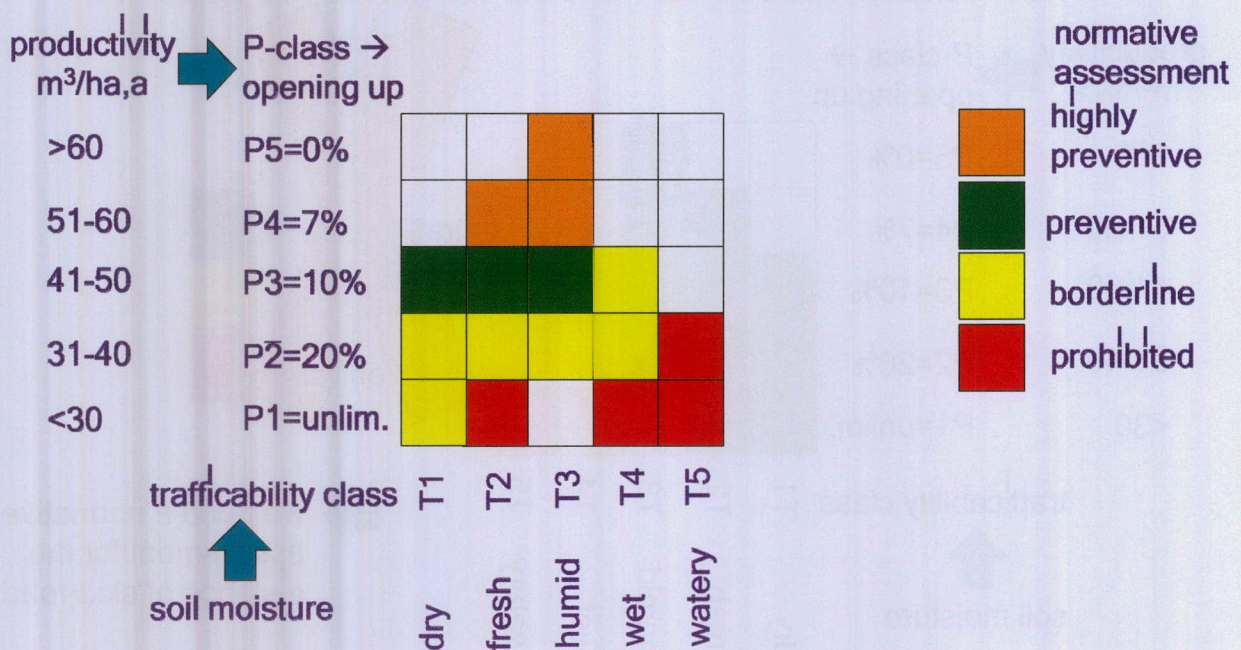


➡ we need a normative assessment for the distance of skid-roads

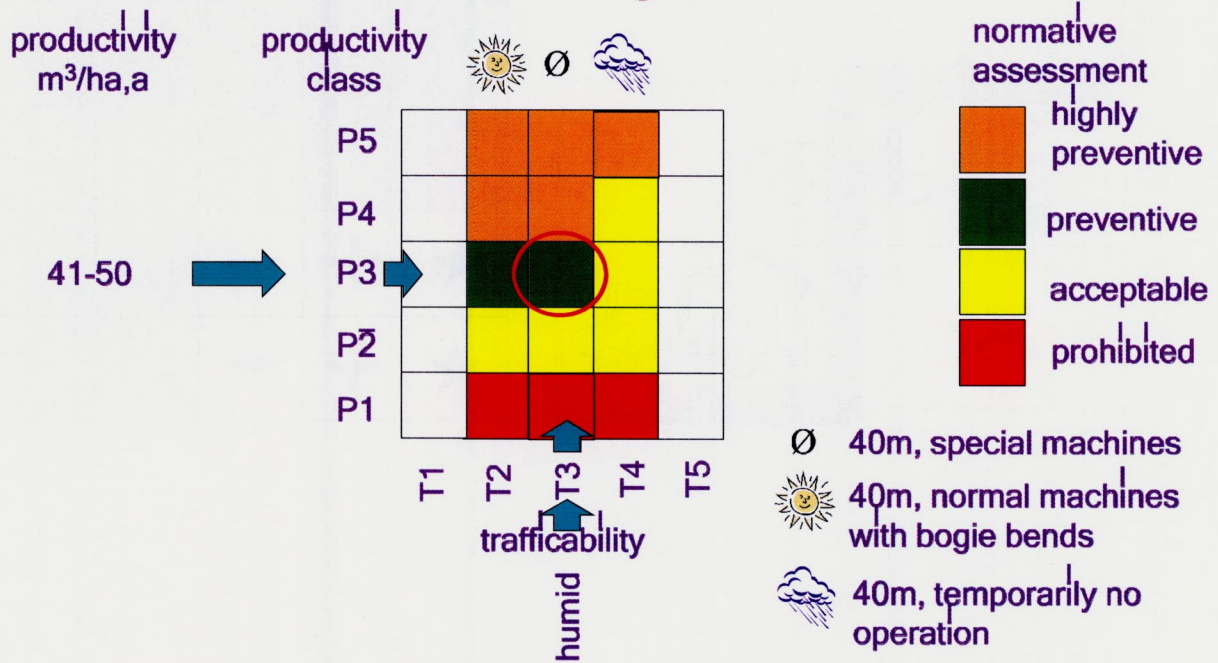
Distances of skid-roads on poorer stands?



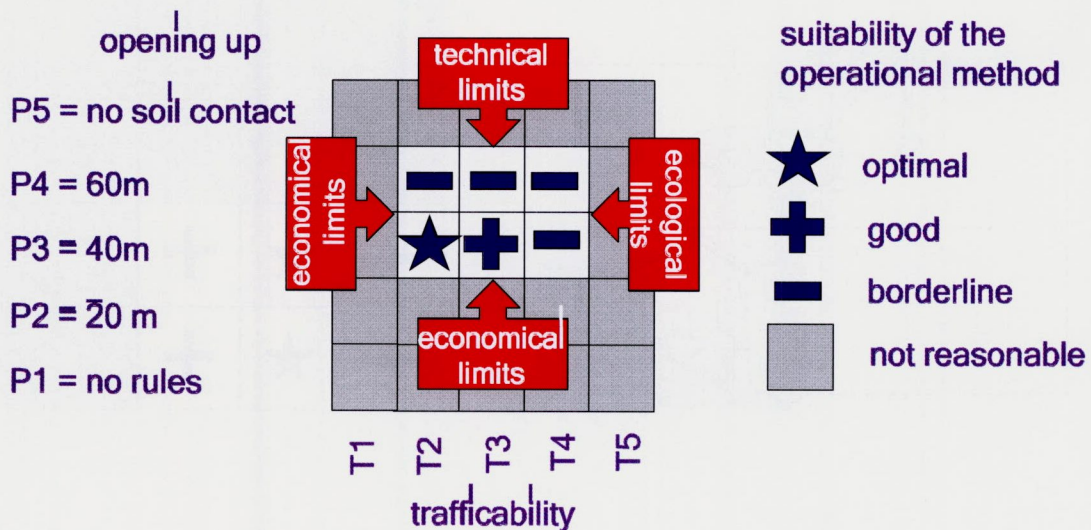
Distances of skid-roads on richer stands?

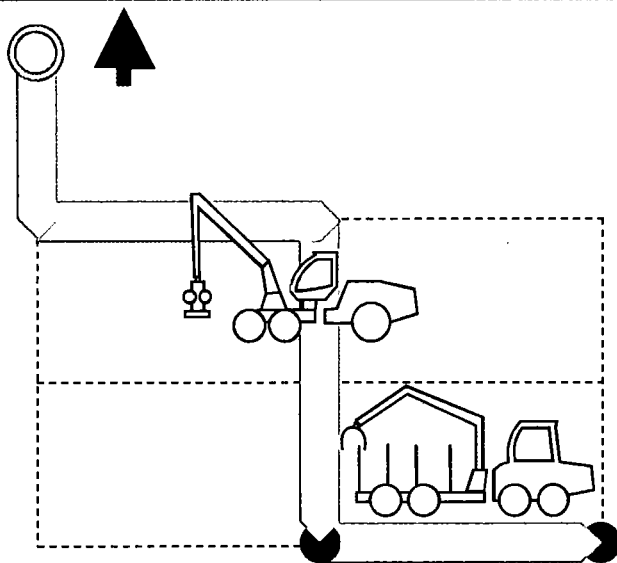


How to use this „technogram“?



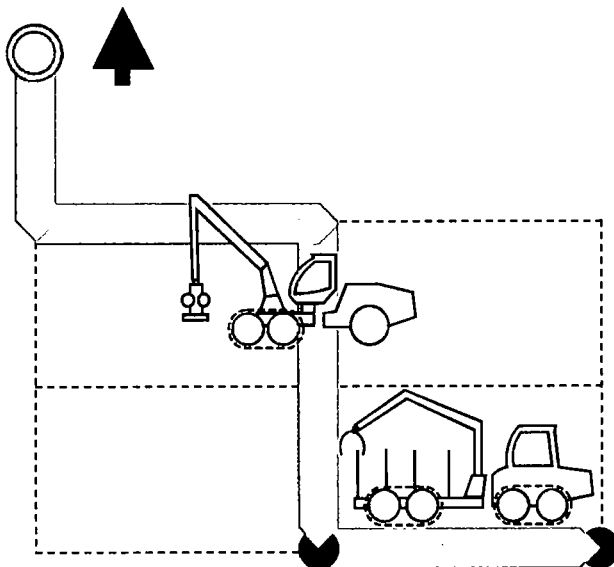
Characterize an operation: Ecogram





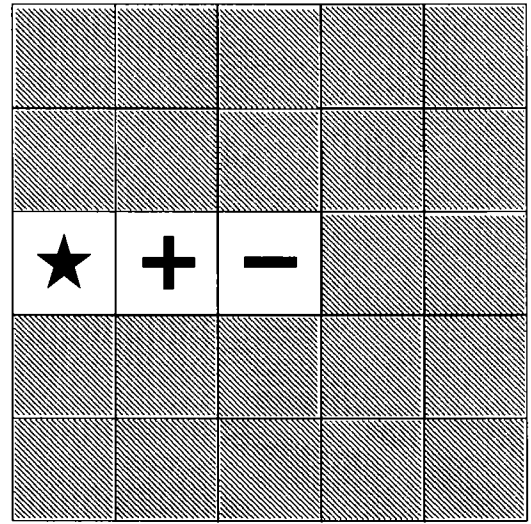
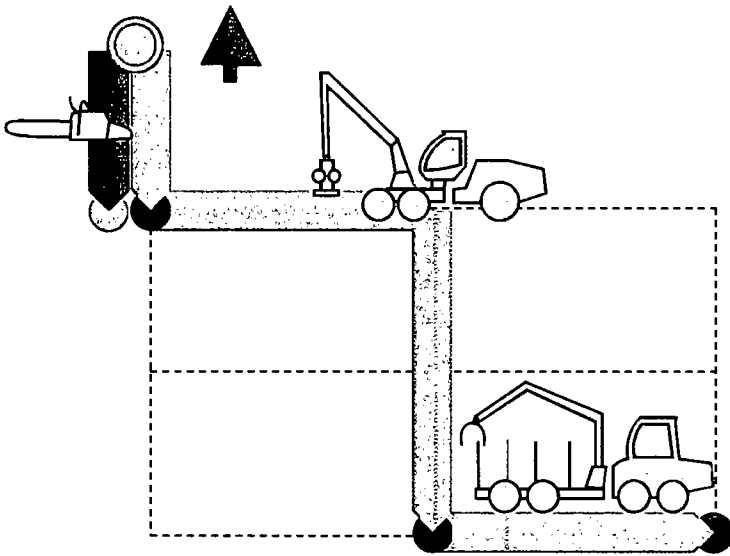
★	+	-		
★	+	-		

7-2

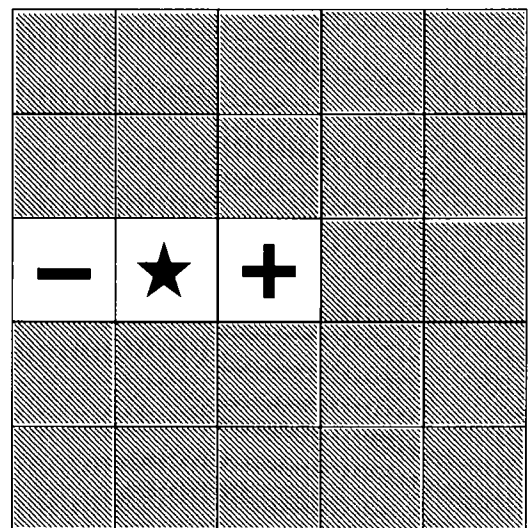
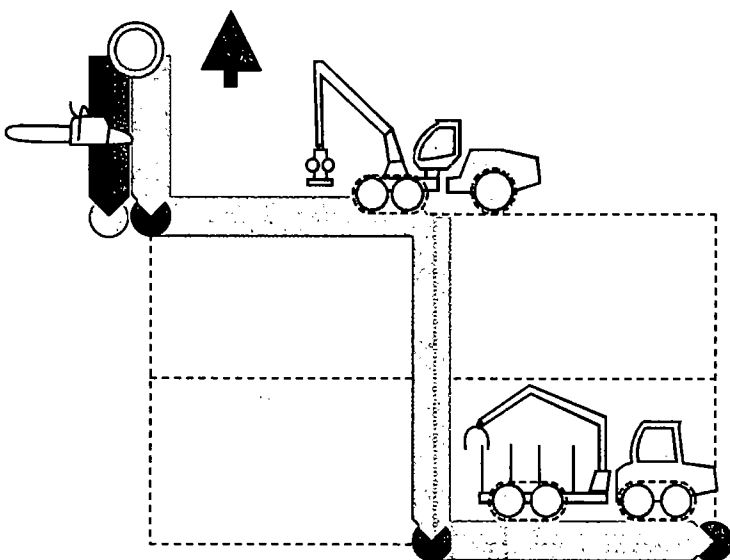


-	★	+		
-	★	+		

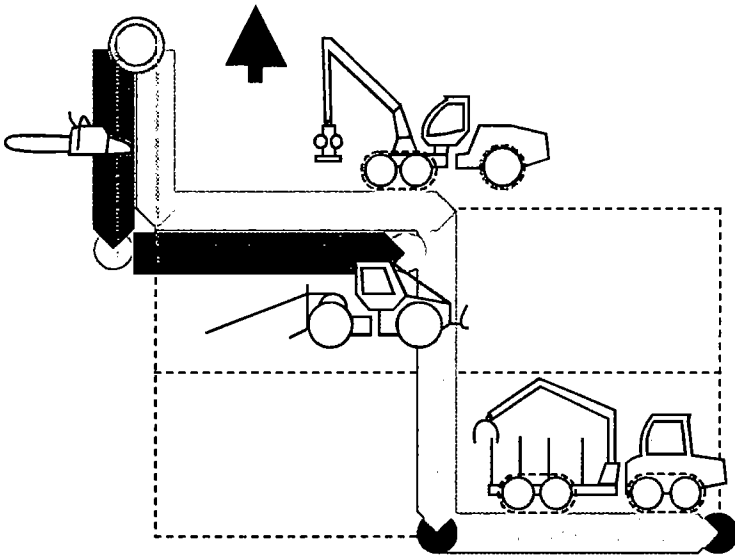
7-3



7-4

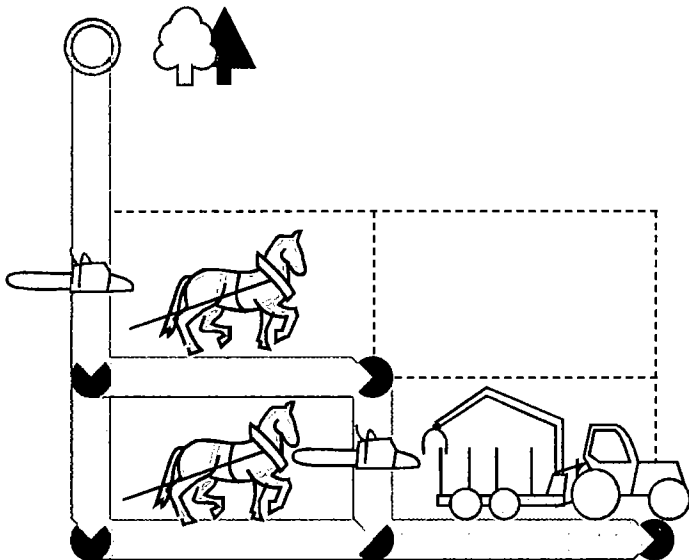


7-5



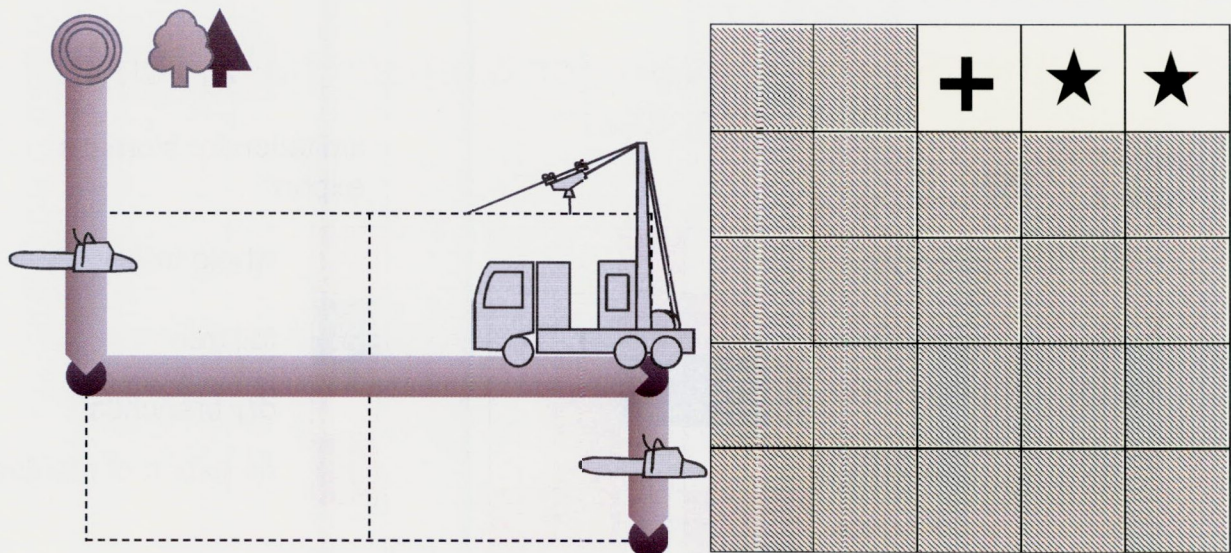
-	★	+		
-	-	-		

7-7



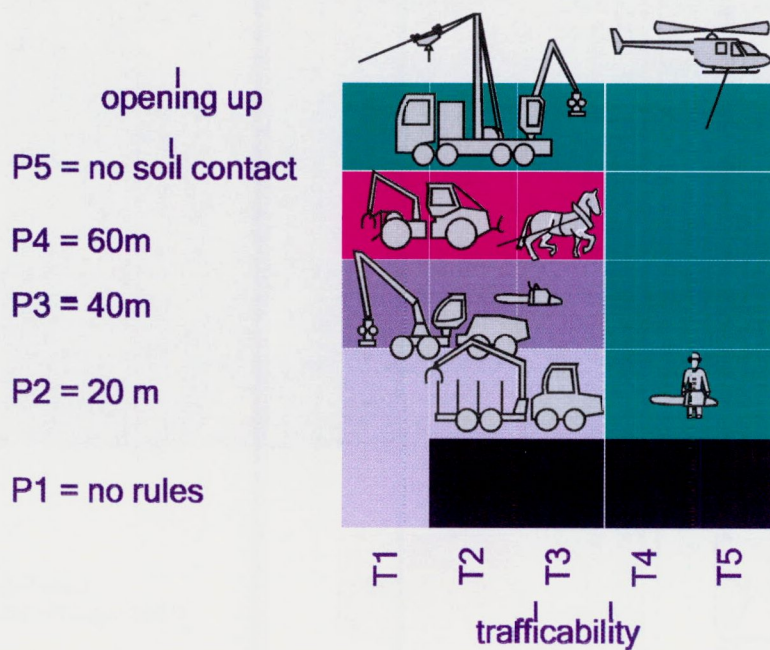
+	+	+		
★	★	+		

7-19



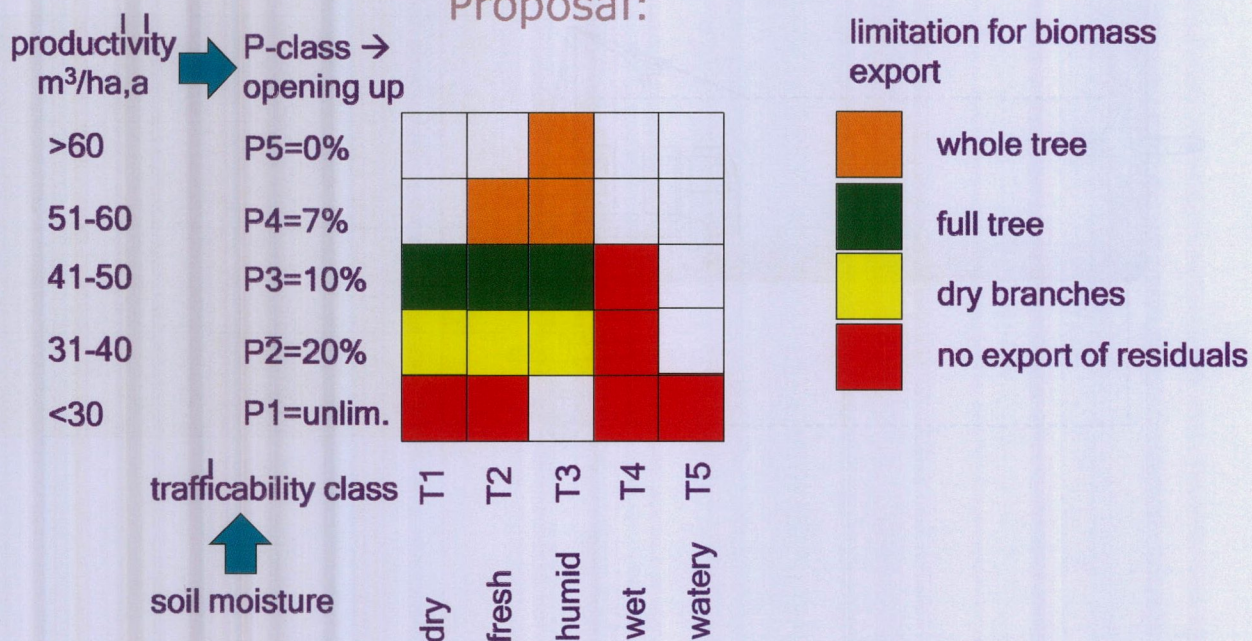
7-26

Core areas of technical solutions



Is this approach useful for biomass-harvesting?

Proposal:

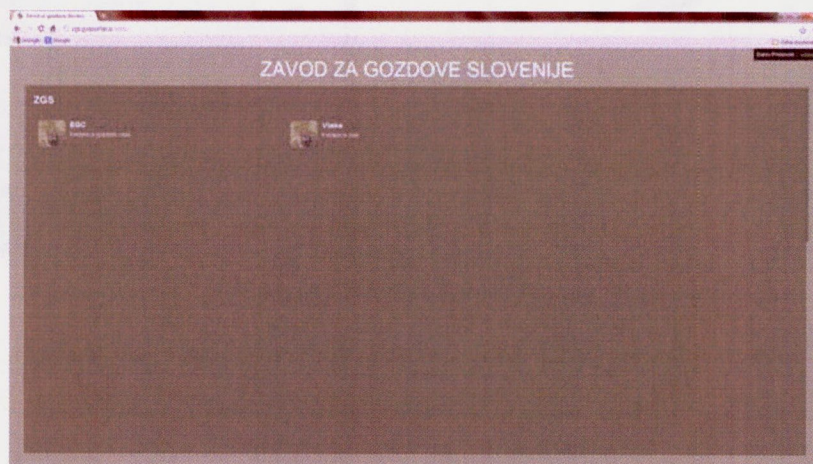


Spletna aplikacija Evidenca gozdnih cest



Darko Pristovnik
Zavod za gozdove Slovenije

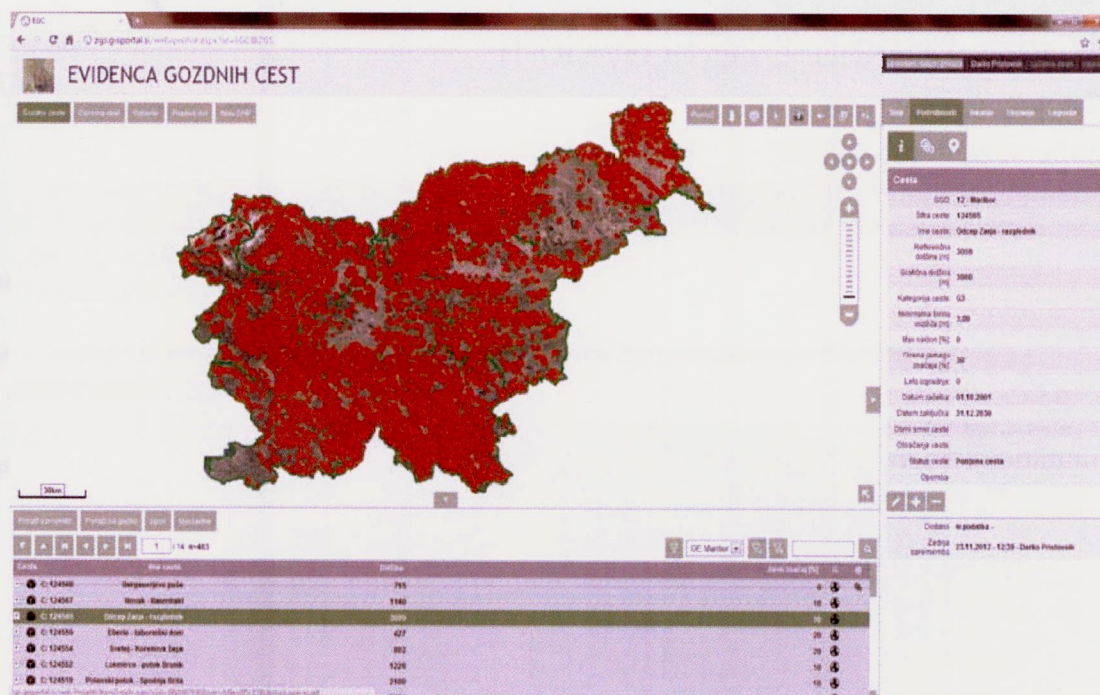
Aplikacija za vodenje evidenc gozdnih prometnic



- ✓ spletna aplikacija
- ✓ omogoča uporabo na katerem koli mestu, kjer je dostop do interneta
- ✓ vodijo se atributni kot tudi prostorski podatki
- ✓ omogoča grafični prikaz vsakega elementa gozdne ceste v prostoru, pripenjanje slik in dokumentov, izvajanje analiz in izdelavo poročil

Uporabniki:

- ✓ imajo zgolj vpogled v podatke
- ✓ lahko spreminjajo atributne in grafične podatke



- ✓ Okno za prikazovanje zemljevida (karte)
- ✓ Okno za prikazovanje vsebin v obliki seznama (atributni del)
- ✓ Okno za urejanje atributnega dela vsebin, orodja za urejanje grafike, iskalci, legenda za sloje
- ✓ Orodja za delo z zemljevidom

Seznam slojev



Orodja za delo z zemljevidom



merjenje, natisni, izbira, presek, prejšnji pogled, povezava, prenos podatkov



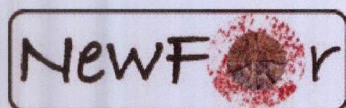


Evidenca gozdnih cest
tel: 0708 0000000000

Dolžine gozdnih cest po posameznih območjih

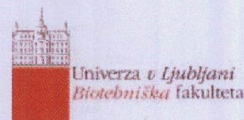
Gozdnogospodarske enote GGE Varberg-Duplex						
	Šifra ceste	Ime ceste	Dolžina v GGE [m]	Zasebni gozdovi [%]	Državni gozdovi [%]	Občinski gozdovi [%]
Naslo	120783	Črnko-križ	1		100	
☒	120529	Varberk - odd 23	477		100	
☐	120520	Plčnica	776		100	
☐	120510	Ciglenca - odd 7	349		100	
Meril	120517	Ciglenca - odd 5	250		100	
☐	120516	Korena - odd 4A	351		100	
☐	120515	Tnje most	730		100	
Veliki	120513	Grmada	2101		100	
☐		SKUPAJ	5053			
☐	GGE Destrnik					
Usme	Šifra ceste	Ime ceste	Dolžina v GGE [m]	Zasebni gozdovi [%]	Državni gozdovi [%]	Občinski gozdovi [%]
☒	120783	Črnko-križ	1690		100	
☐	120513	Grmada	6		100	
☐		SKUPAJ	1696			
Kvaliti	Gozdnogospodarska območja 12 - Maribor					
☒	Šifra ceste	Ime ceste	Dolžina v GGO [m]	Zasebni gozdozi [%]	Državni gozdovi [%]	Občinski gozdovi [%]
☐	120783	Črnko-križ	1691		100	
☐	120529	Varberk - odd 23	477		100	
☐	120528	Plčnica	776		100	
☐	120518	Ciglenca - odd 7	349		100	
☐	120517	Ciglenca - odd 5	250		100	
☐	120516	Korena - odd 4A	351		100	
☐	120515	Tnje most	730		100	





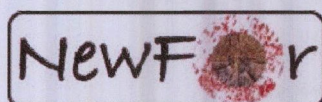
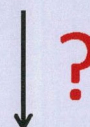
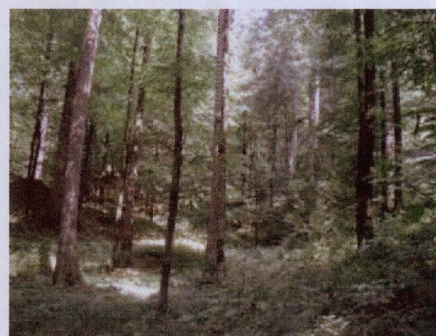
Problematika hranil pri intenzivnem izkoriščanju lesne biomase

Eler Klemen, Kobal Milan,
Skudnik Mitja, Simončič Primož



Namen prispevka

- Iznos biomase pomeni hkrati tudi iznos rastlinskih hranil
- Opozoriti na morebiten prekomeren iznos hranil, ki vpliva zmanjšan produkcijski potencial gozdnih ekosistemov
- Hranila so v rastlinskih delih neenakomerno porazdeljena – vpliv vrste iznesene biomase (deblo $\neq$ veje $\neq$ listi); hranila se nahajajo tudi v gozdnih tleh!
- Pri povečani intenziteti sečnje nujno ovrednotiti potencial teh dejavnosti na stanje prehranskih razmer drevja zaradi povečanih iznosov hranil iz gozdnih ekosistemov



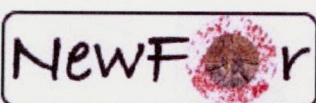


Steljarjenje v Srednji Evropi konec 19.st.



Posledice pretiranega izkoriščanja gozda v preteklosti

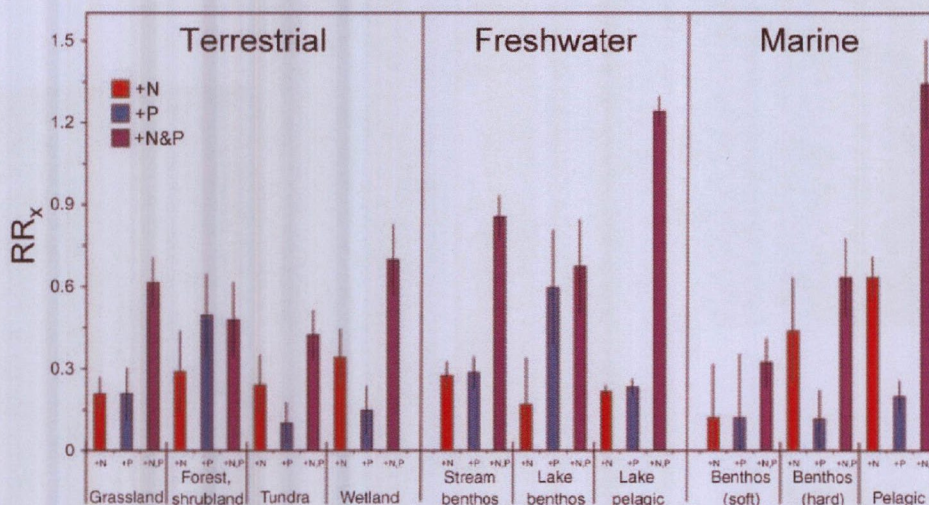
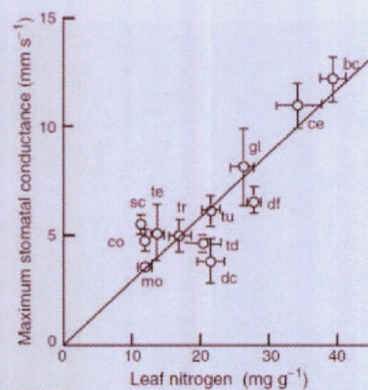
- Pomanjkanje hranil v gozdnih tleh (N, P, K, Mg, Ca, ...)
- Slabše pomlajevanje gozda
- Prevlada manj zahtevnih drevesnih vrst kot sta bor, breza – degradacijske faze
- Bolj presvetljeni, zatravljeni gozdovi
- Izguba biotske pestrosti
- Panjevski gozdovi manjših višin



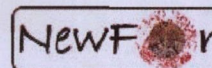
Globalni pomen hranil

Hranila – poleg vode vir, ki najbolj omejuje rastlinsko produkcijo v ekosistemih

Gozdni ekosistemi so večinoma omejeni z razpoložljivostjo hranil



Elser et al.,
2007, Ecol. Lett.



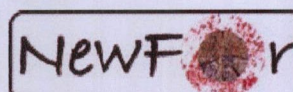
Pomen makro in mikrohranil za rastline

Makrohranila

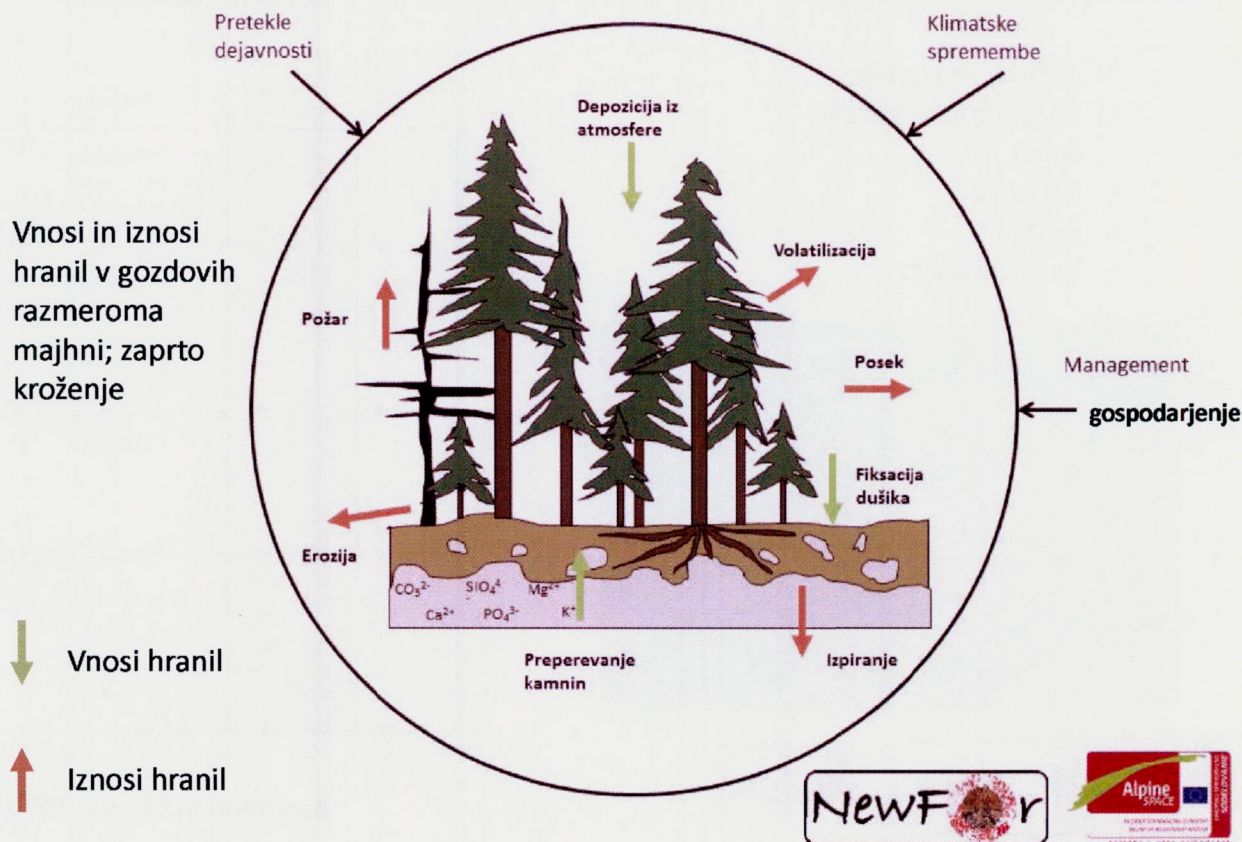
Dušik (N)	Gradnik proteinov, encimov, fosfolipidov, nukleinskih kislin
Fosfor (P)	Gradnik proteinov, koencimov, nukleinskih kislin, fosfolipidov v celičnih membranah, prenos energije v obliki ATP
Kalij (K)	Gradnik proteinov, vloga v fotosintezi, transportu ionov, osmoregulaciji, katalizator encimskih reakcij
Kalcij (Ca)	Gradnik celičnih sten, vloga pri strukturi in permeabilnosti membran, rasti korenin, katalizator encimskih reakcij
Magnezij (Mg)	Komponenta klorofila, aktivator encimov
Žveplo (S)	Gradnik proteinov in večine encimov, toleranca na mraz, aktivacija encimov

Mikrohranila

Bor (B)	Translokacija sladkorjev in osmoregulacija
Klor (Cl)	Vloga v fotosintezi in osmoregulaciji
Baker (Cu)	Kofaktor v encimih, katalizator reakcij
Železo (Fe)	Sinteza klorofila, encimov in prenos kisika
Mangan (Mn)	Aktivator encimov, katalizator encimskih reakcij
Molibden (Mo)	Vloga pri fiksaciji dušika, absorpcija in prenos železa
Cink (Zn)	Aktivator encimov, regulacija porabe sladkorjev

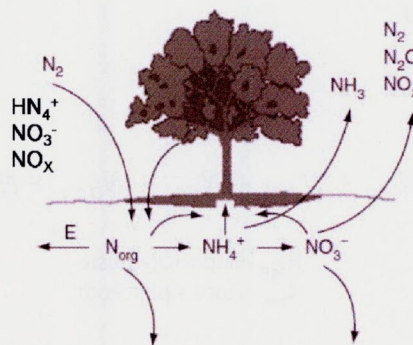


Snovni tokovi hranil v gozdnem ekosistemu

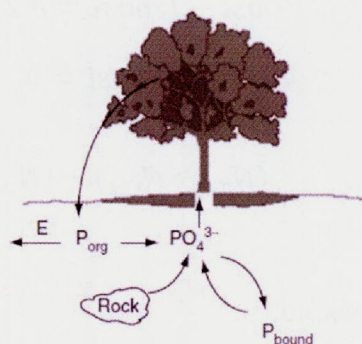


Razlike med hranili v njihovih vnosih in iznosih so velike

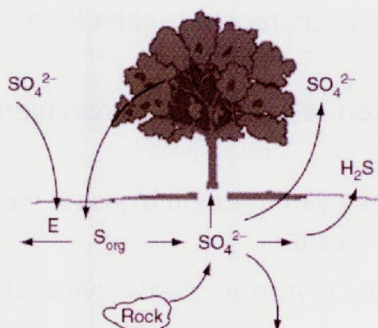
Dušik



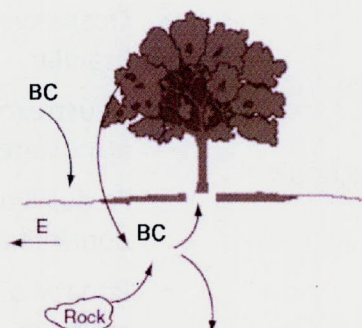
Fosfor



Žveplo



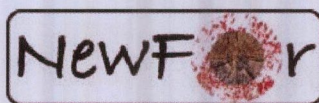
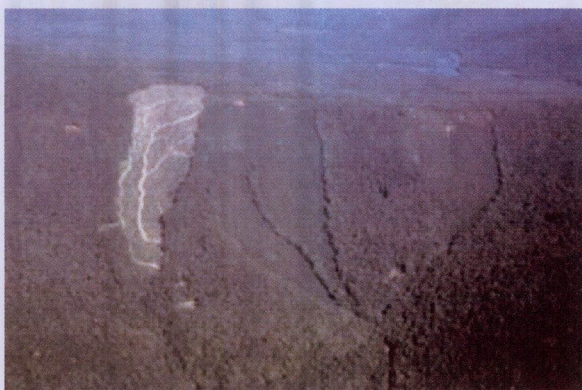
Bazični kationi



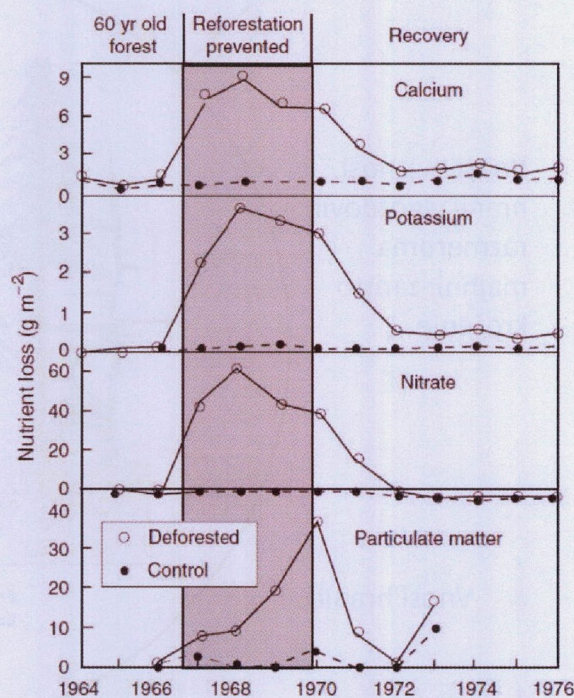
Posredni vs. neposredni iznosi hranil s posekom

Po poseku se poveča:

- Razgradnja organske snovi
- Izpiranje
- Erozijska
- Denitrifikacija



Hubbard Brook
Experimental Forest



Bormann in Likens, 1979

Osnovna in poenostavljena bilanca hranil

Splošno: $Vnosi - Iznosi = \Delta Zaloge$

$$Vnosi - Iznosi = 0$$

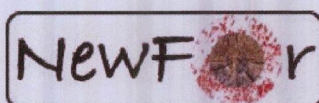
Za dušik: $(N_{dep} + N_{fix}) - (N_{pos} + N_{izp} + N_{ero} + N_{vol} + N_{den} + N_{pož}) = 0$

Poenostavljeno: $N_{dep} - N_{pos} = 0$

N_{dep} - depozicija dušika
 N_{pos} - iznos s posekom

Preveč
poenostavljeno?

- Ocena tveganja za enkrat izračunana le za dušik, ne pa za druga hranila;
- Ni ustreznih ocen za vnose s preperevanjem, fiksacijo dušika iz atmosfere, idr.
- Za dušik ni upoštevanih drugih iznosov - izpiranje, denitrifikacija, erozija
- Podatki o depoziciji niso merjeni - izvedeni iz koncentracij v mahovih



Povratna doba

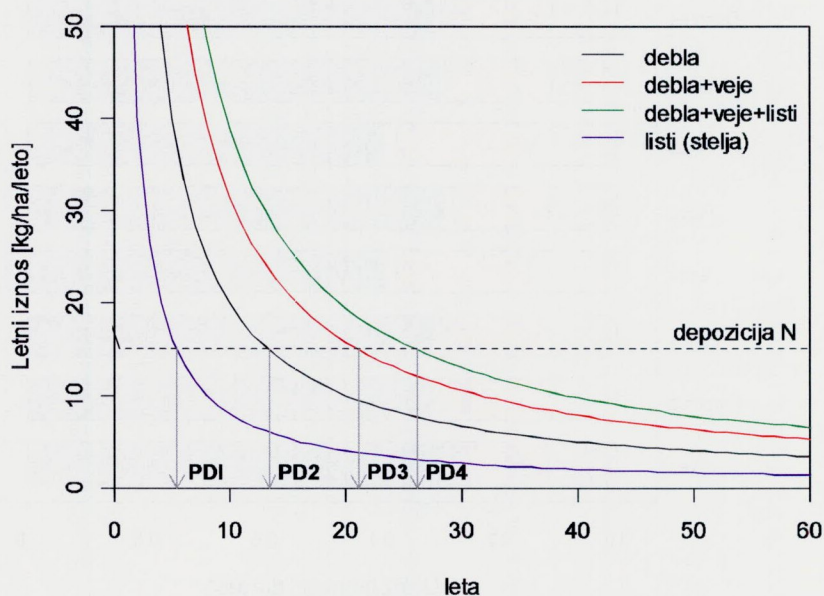
Čas, v katerem depozicija iz zraka kompenzira neposredne izgube z iznosom dušika z biomaso

$$\frac{M_{drev,p}}{T} = N_{dep}$$

$M_{drev,p}$ - skupna vsebnost dušika v izneseni drevesni biomasi v kg/ha

N_{dep} - depozicija dušika iz zraka v kg/ha/leto

T - čas v letih, ki porazdeljuje iznose s posekom

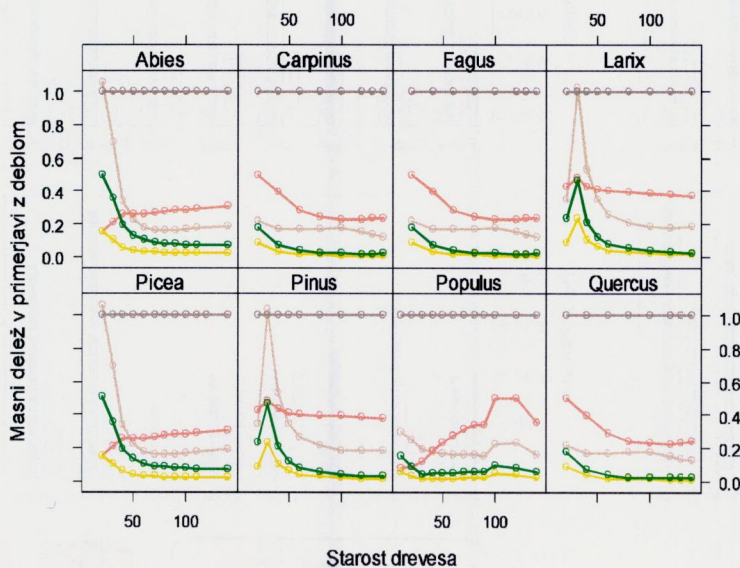


Vsebnost hranil v sestoji

$$M_{drev} [kg/ha] = \sum_i^S d_i \cdot (m_{d,i} + m_{v,i} + m_{l,i} + m_{dk,i} + m_{fk,i})$$

$$m_{l,i} [kg/ha] = V_{d,i} \cdot \rho_{d,i} \cdot k_{l,i} \cdot c_{l,i}$$

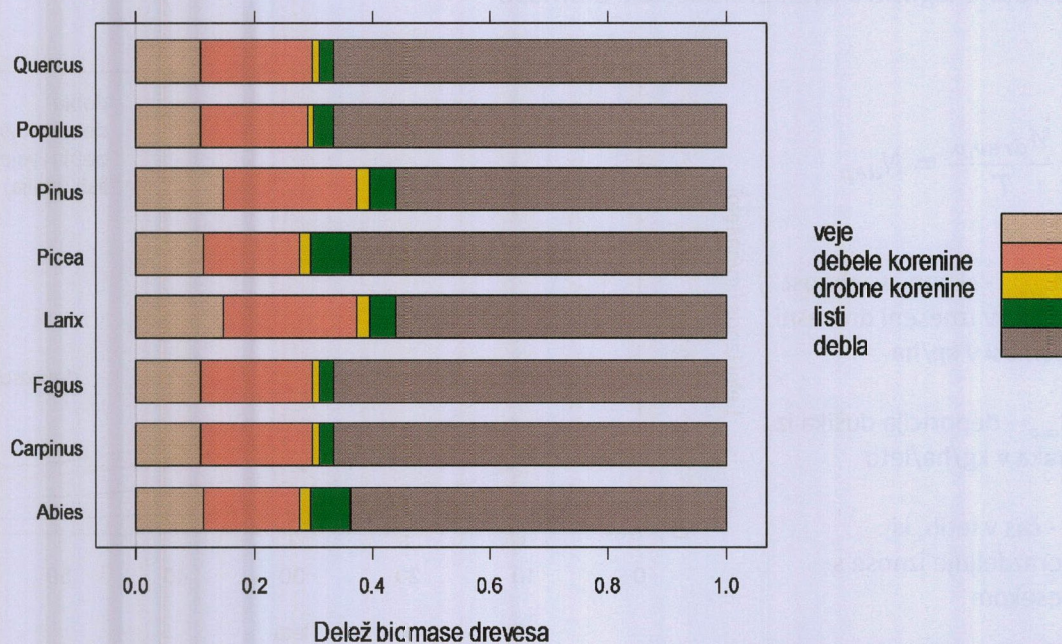
$V_{d,i}$ - volumen debel [m^3/ha]
 $\rho_{d,i}$ - gostota lesa [kg/m^3]
 $k_{l,i}$ - alometrično razmerje [kg/kg]
 $c_{l,i}$ - koncentracija hranila [kg/kg]



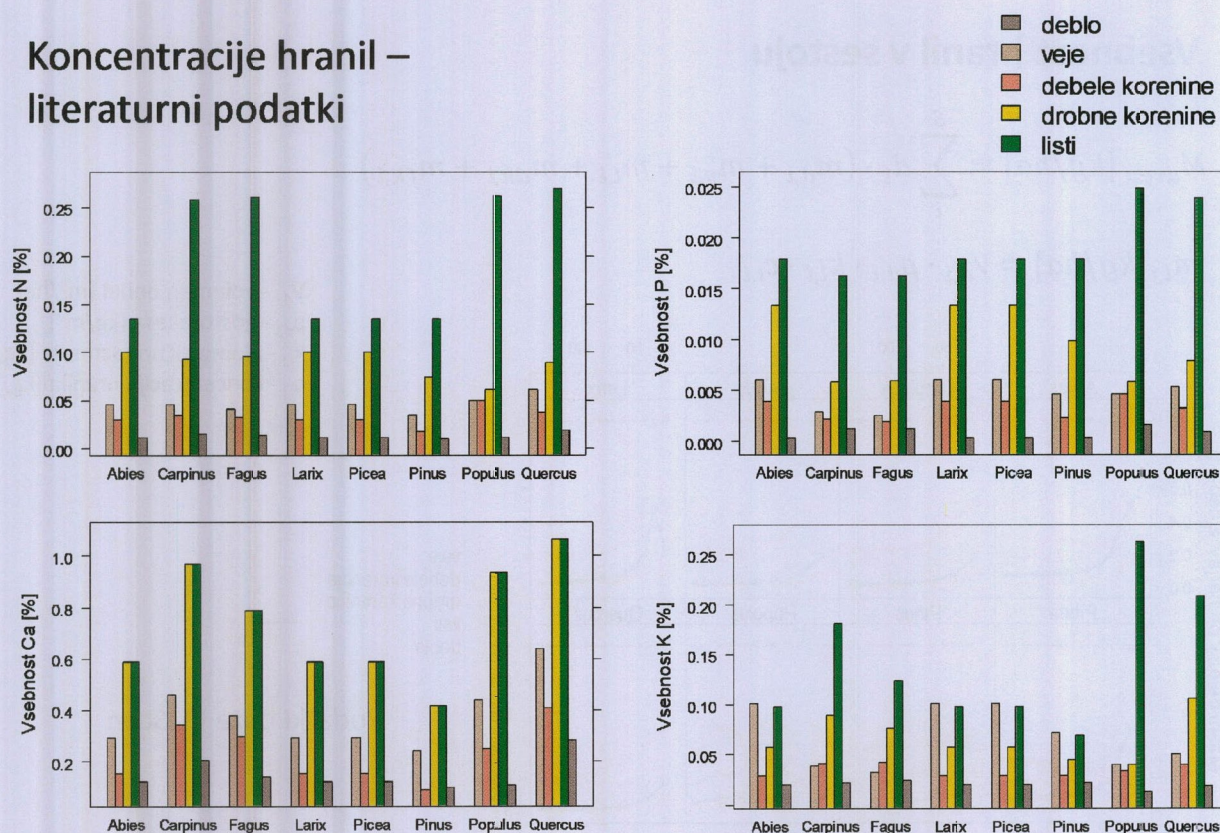
Podatki baze EFIScen



Povprečne alometrične zveze, uporabljene v tej raziskavi – pri starosti 50 let

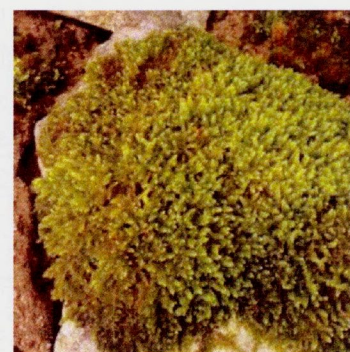
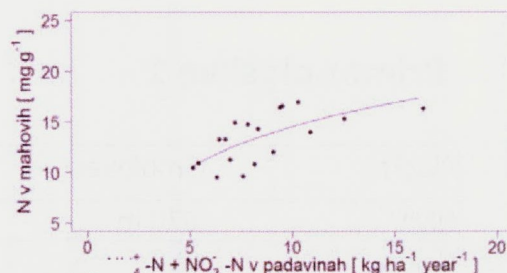
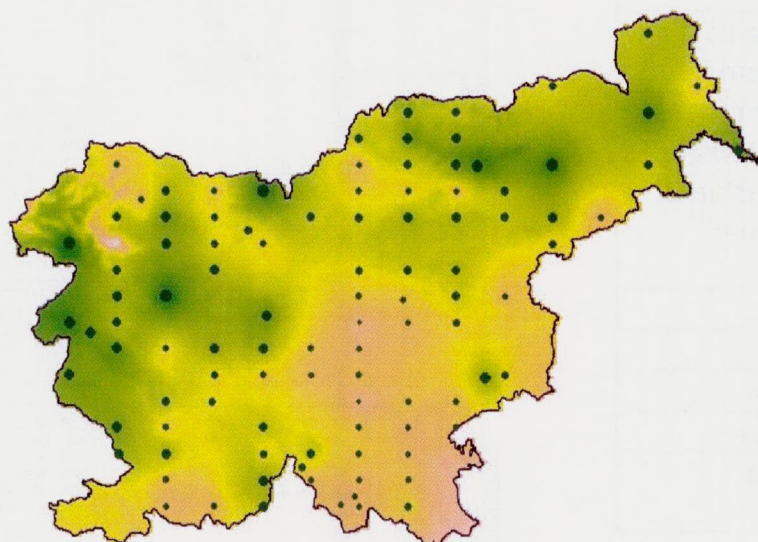


Koncentracije hranil – literaturni podatki



Depozicija dušika iz atmosfere

Ocenjena na podlagi vsebnosti dušika v mahu *Hypnum cupressiforme*, vzorčen na 16 x 8 km mreži



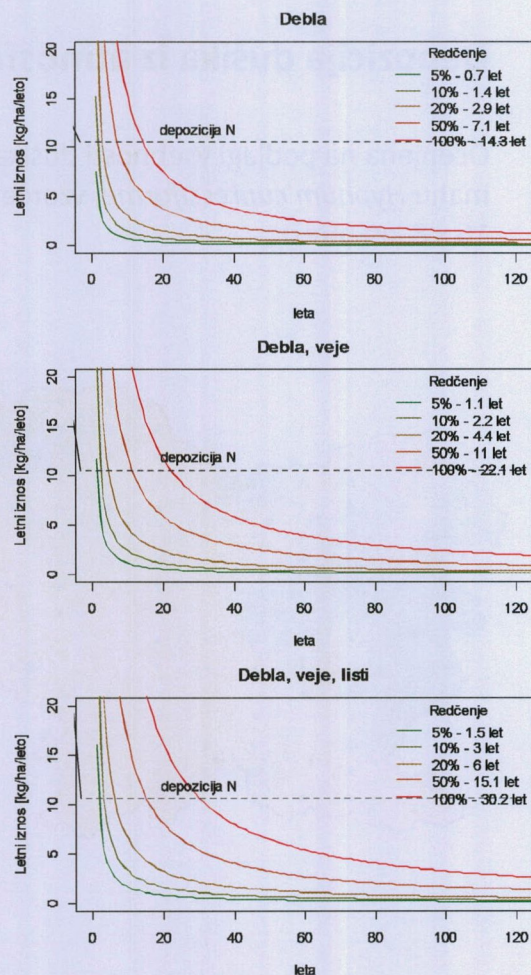
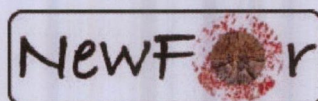
Potek izračunov za Slovenijo

- Za 4 x 4 km mreži za Slovenijo pridobiti podatke o lesni zalogi
- Na podlagi deleža drevesne vrste v sestoji in alometričnih zvez izračunati razpoložljivo (nadzemno biomaso) – v deblih, vejah, listih
- Iz literarnih podatkov o vsebnosti hranil v posameznih drevesnih delih izračunati skupno količino hranil gozdnega sestoja
- Uporabiti scenarije sečnje (intenziteta redčenja in izneseni drevesni deli) pri izračunu iznesenih hranil
- Za dušik uporabiti poenostavljeno bilanco: primerjati LETNI iznos hranil pri določenem scenariju sečnje z ocenjeno letno depozicijo dušika v gozdni sestoj z uporabo
- Izračunati povratno dobo – število let za nadomestitev iznesenega dušika z depozicijo iz zraka
- Primerjati povratne dobe s produktivnostjo, po intenzitetah redčenja, po vrstah sestojev, ...



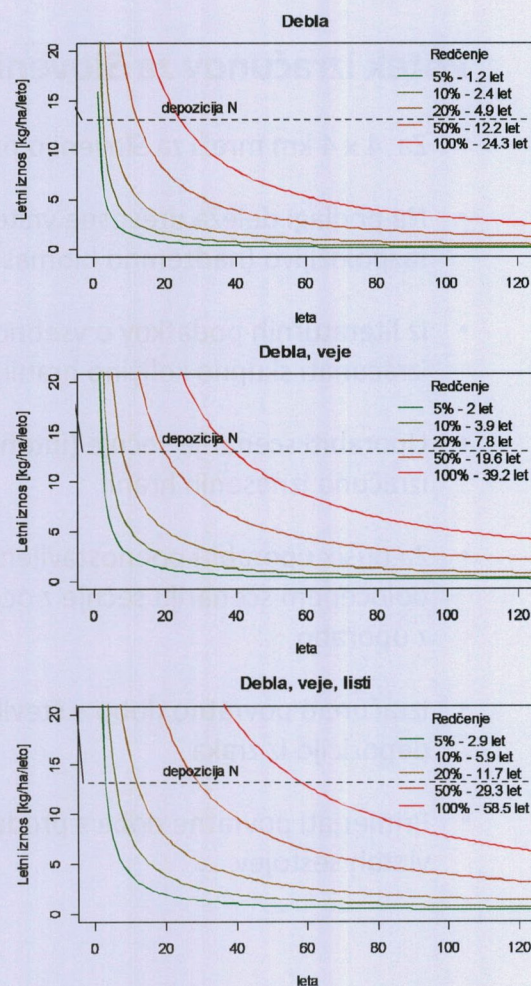
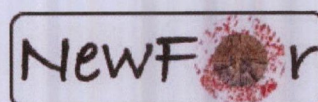
Primer ploskve 1

Ploskev	Smolovec
NMV	676 m
Nagib	15 °
Tla	Distrična rjava tla, na nekarbonatnem flišu
Združba	Primorski zmerno kisloljubni bukov gozd s kostanjem; <i>Castaneo sativae</i> - <i>Fagetum sylvaticae</i>
Lesna zaloga	236 m ³
Iznos debla	151.4 kg N/ha
Iznos debla+veje	233.8 kg N/ha
Iznos debla+veje+listi	319.7 kg N/ha



Primer ploskve 2

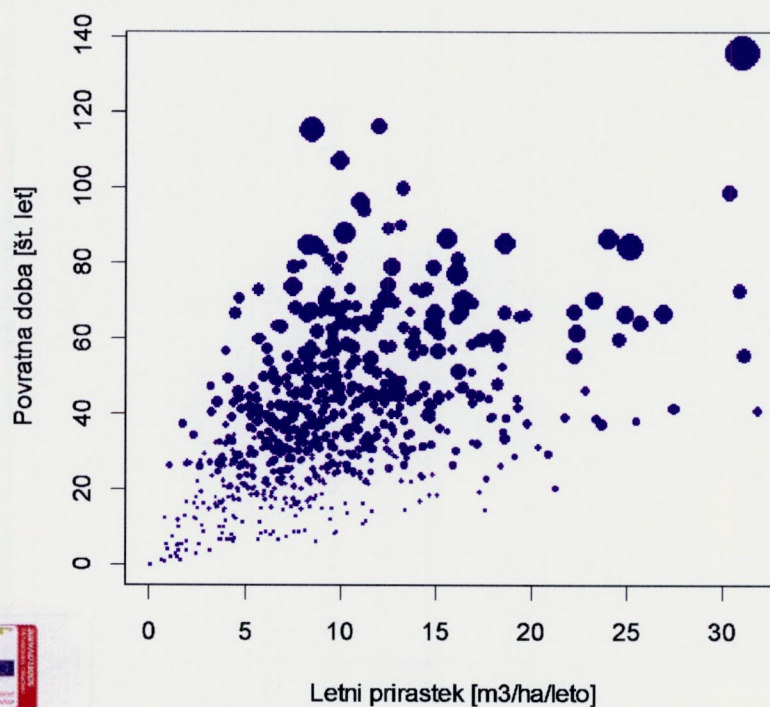
Ploskev	Stojna
NMV	689 m
Nagib	15 °
Tla	Rjava pokarbonatna tla na apnencu
Združba	Preddinarski gorski bukov gozd z veliko mrtvo koprivo; <i>Lamio orvalae</i> - <i>Fagetum</i>
Lesna zaloga	612 m ³
Iznos debla	318.3 kg N/ha
Iznos debla+veje	512.5 kg N/ha
Iznos debla+veje+listi	765.1 kg N/ha



Bolj produktivno rastišče -> večja končna lesna zaloga -> večji iznosi hranil -> daljše povr. dobe

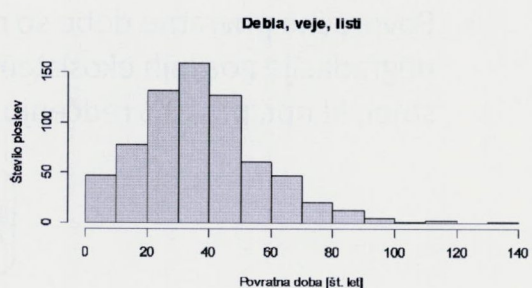
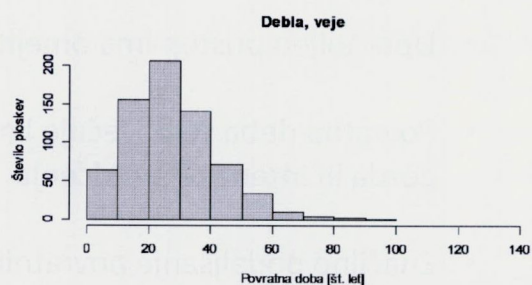
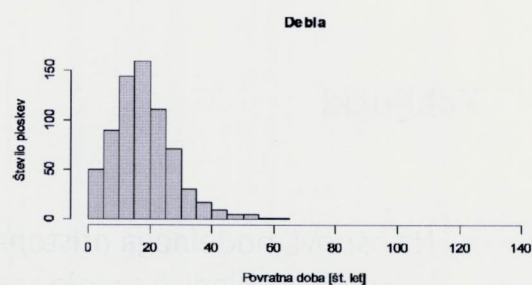
Dva vidika iznosov:

- (1) velikost iznosov oz. izčrpavanja
- (2) hitrost odziva ekosistema na izčrpavanje

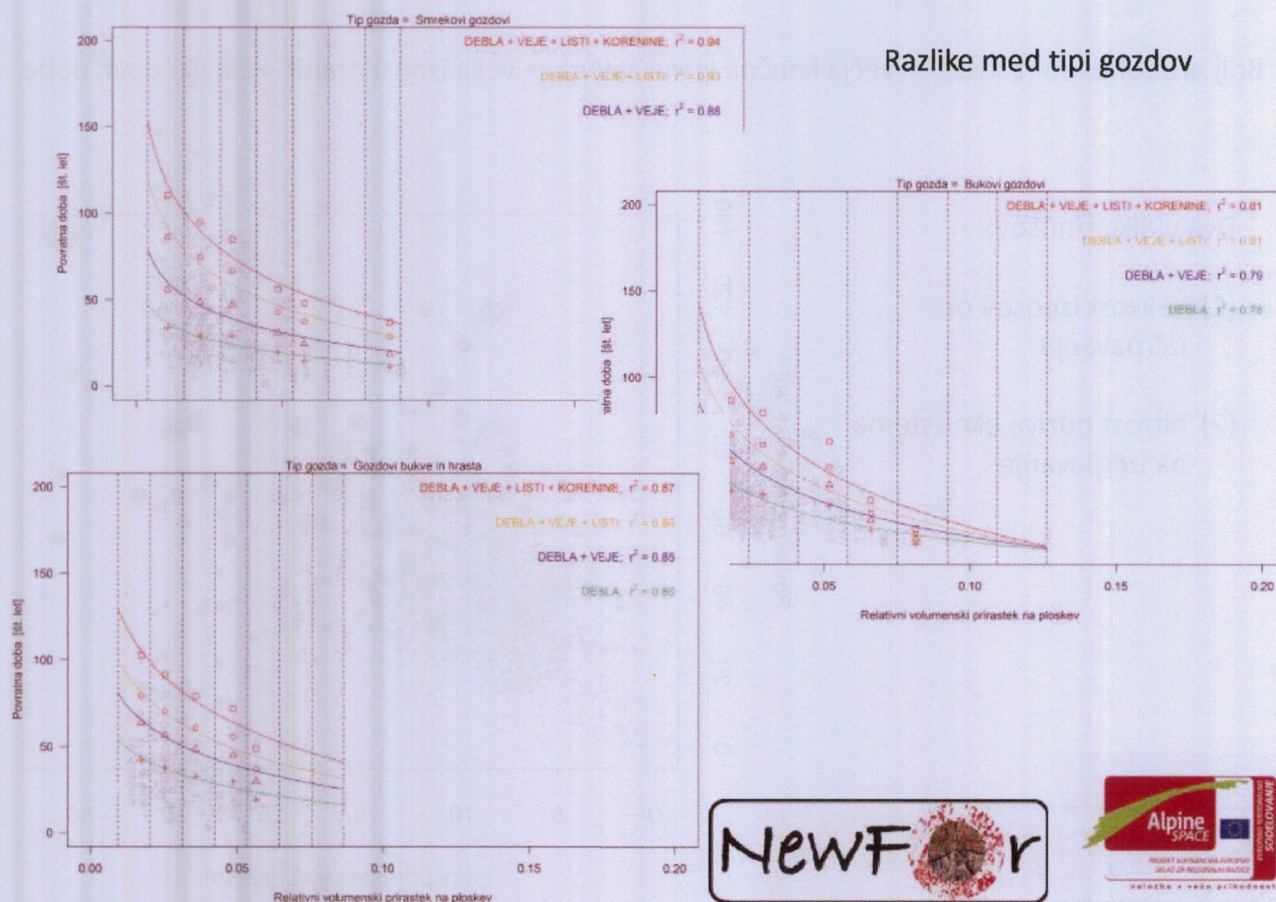


Sintezni rezultati za celo Slovenijo

	Poprečna povratna doba [št. let]	Minimalna povratna doba [št. let]	Maksimalna povratna doba [št. let]
100% posek			
Debla	18.0	0.1	62.5
Debla, veje	27.7	0.2	92.2
Debla, veje, listi	37.5	0.2	135.6
50% redčenje			
Debla	9.0	0.1	31.3
Debla, veje	13.9	0.1	46.1
Debla, veje, listi	18.7	0.1	67.8
20% redčenje			
Debla	3.6	0.0	12.5
Debla, veje	5.5	0.0	18.4
Debla, veje, listi	7.5	0.0	27.1
10% redčenje			
Debla	1.8	0.0	6.3
Debla, veje	2.8	0.0	9.2
Debla, veje, listi	3.7	0.0	13.6



Razlike med tipi gozdov



Zaključki

- Na osnovi modelnega pristopa in specifičnih podatkov smo izračunali iznos hranil kot posledica sečnje različne intenzitete
- Uporabljen pristop ima omejitve zaradi težko opredeljivih vnosov in iznosov
- Povratna doba se povečuje linearno z velikostjo iznesene biomase – produkcija gozda in intenziteta redčenja
- Značilno podaljšanje povratnih dob z iznosom vej in listja iz gozda
- Povprečne povratne dobe so razmeroma kratke in neproblematične iz vidika degradacije gozdnih ekosistemov; določena rastišča odstopajo v negativno smer, ki npr. pri 10% redčenju presegajo 10 letno obdobje



POŠKODBE TAL

CRP V4-1126;

Možnosti in omejitve pri pridobivanju
lesne biomase iz gozdov

Predstavitev na
Gozdarskem inštitutu
Slovenije, 29.10.2013

*Univerza v Ljubljani
Biotehniška fakulteta*



Matevž Mihelič,
univ.dipl.inž.gozd.

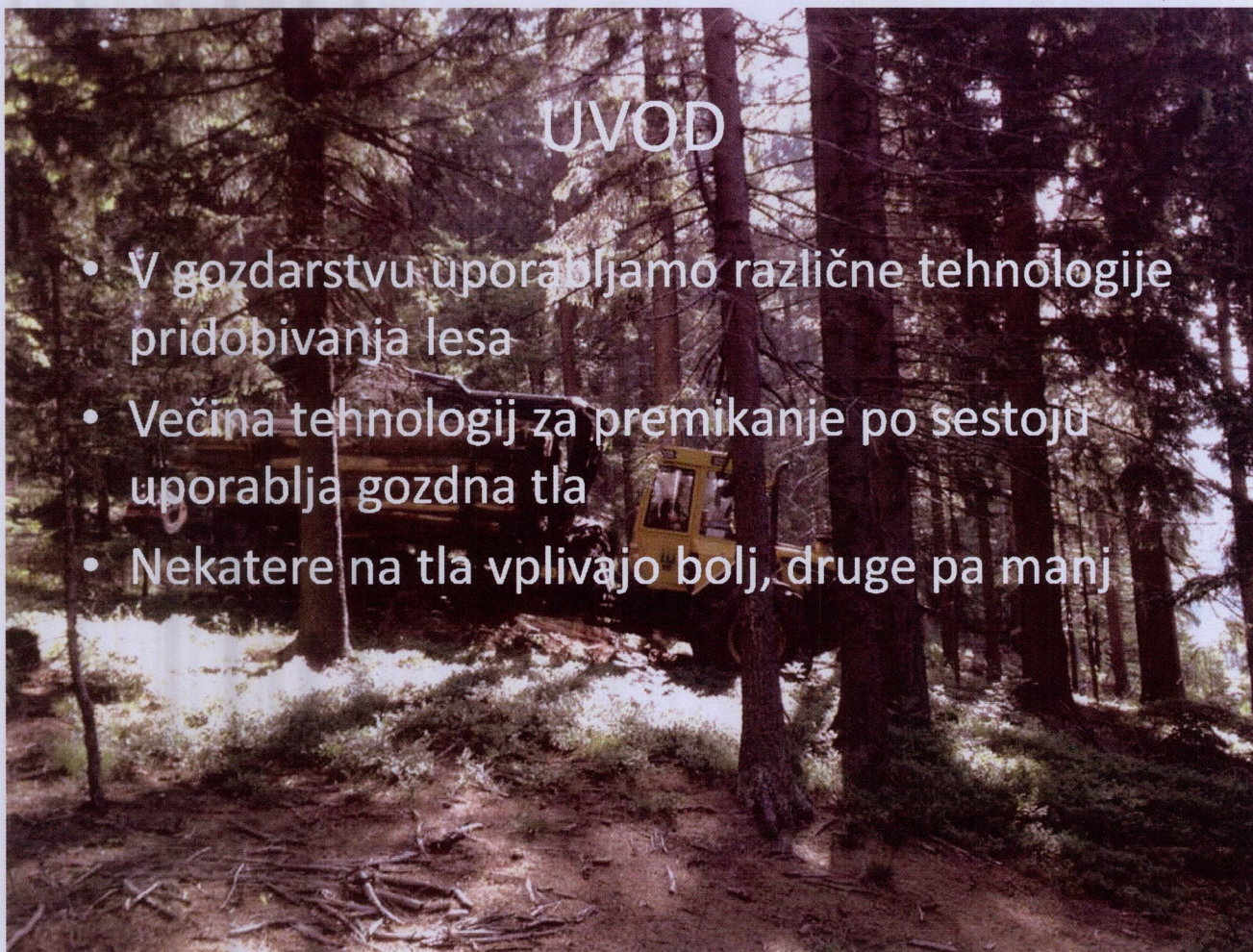
UVOD

- Tla so (neobnovljiv) naravni vir
- Tla so vir hranil in vode drevju, ki mu dajejo mehansko oporo
- Zaradi neobnovljivosti tega vira se je Evropska unija zavezala k zaščiti tal- predlog direktive COM(2006)232



UVOD

- V gozdarstvu uporabljamo različne tehnologije pridobivanja lesa
- Večina tehnologij za premikanje po sestoji uporablja gozdna tla
- Nekatere na tla vplivajo bolj, druge pa manj



UVOD

- Možne posledice poškodb tal so številne
 - Zmanjšanje rasti sestoja
 - Degradacija rastišča
 - Erozija
 - ...
- Resnost poškodb tal je odvisna od naravnih razmer in načina uporabe ter vrste mehanizacije (za spravilo)



UVOD

- V naših gozdovih je prepovedana vožnja izven načrtovanih vlak in sečnih poti (Ur.l.RS št.55/1994)
- To je tudi najvažnejši mehanizem preprečevanja poškodb tal z gozdarsko mehanizacijo
- Vpliv sodobnih tehnologij kratkega lesa na tla pri nas še ni bil kvantificiran



UVOD

- Namen naše raziskave:
 - Razviti metode
 - Oceniti velikost in obseg poškodb
 - Primerjava z drugimi tehnologijami
 - Razvoj pravil s katerimi bi lahko napovedovali poškodbe tal



KOLESNICE

- Po pregledu literature (Saarilahti, 2002, Poršinsky, 2005, Košir, 2010) smo za indikator poškodbe tal vzeli globino kolesnic
- Na skoraj vseh podlagah nastanejo po premaganem kotalnem uporü kolesnice
- Globina kolesnic kaže na usklajenost stroja in tal
- Kolesnice so predvsem indikator zbijanja tal

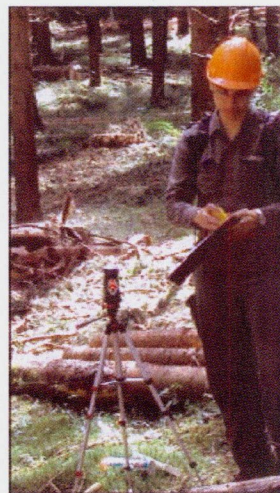
KAJ VPLIVA NA GLOBINO KOLESNIC?

- Lastnosti tal in njihova vlažnost
- Lastnosti stroja
- Število prehodov stroja
- Koreninski pletež
-



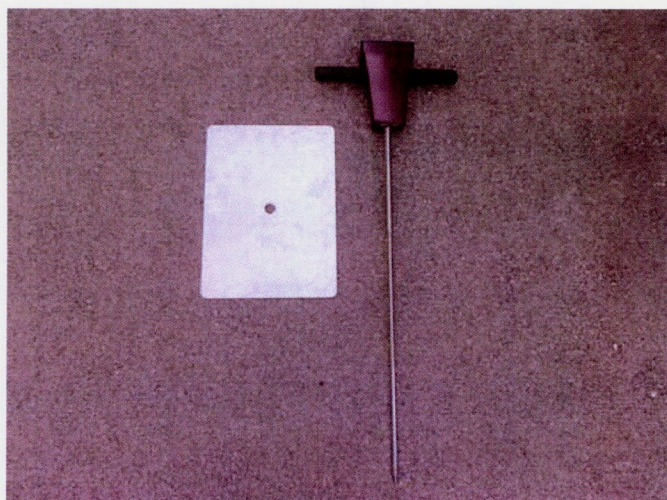
METODE

- Metode so bile opisane na delavnici strojne sečnje (2010)
- Merjeni parametri metode ugotavljanja globine kolesnic
 - Globina kolesnic
 - Širina sečne poti
 - Širina svetlega profila
 - Pokritosti profila s sečnimi ostanki



METODE

- Ugotavljali smo parametre lastnosti tal
 - Nosilnost nemotenih tal
 - Vlažnost tal



LOKACIJE NAŠIH OBJEKTOV

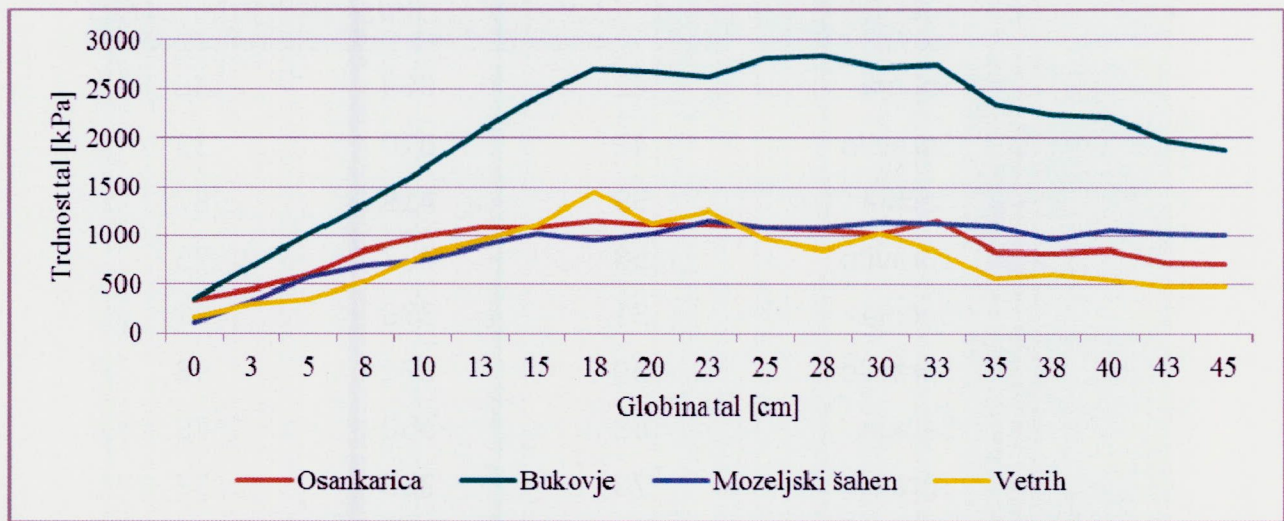


REZULTATI

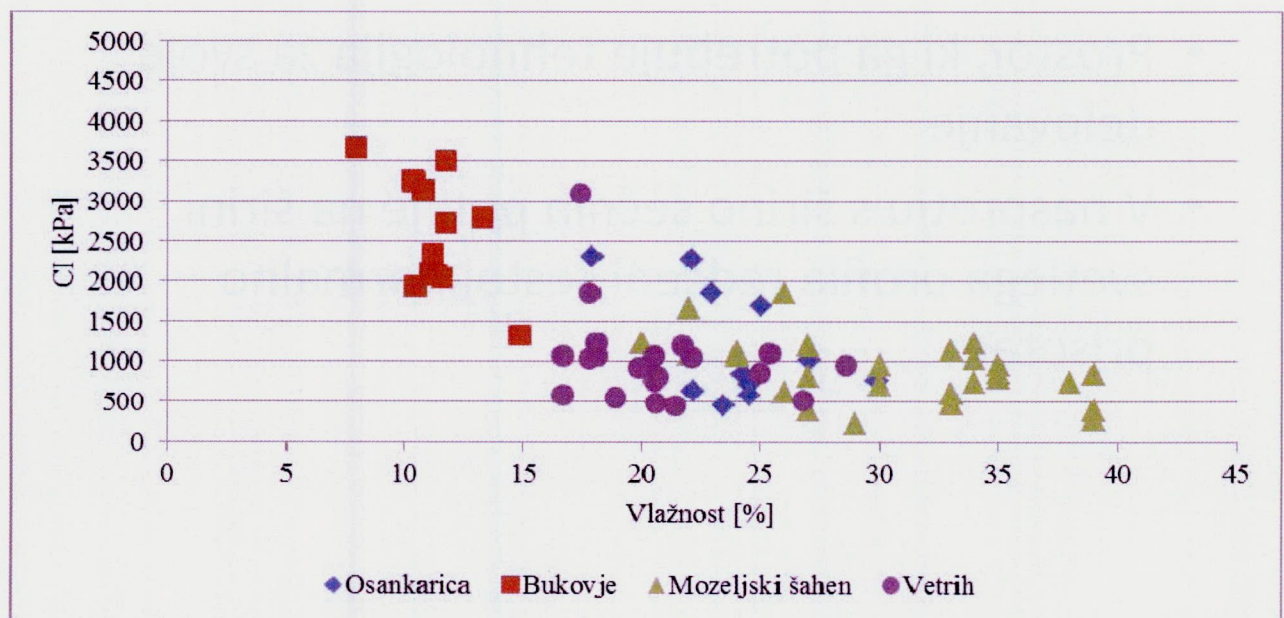
- Vlažnost
- Konusni indeks
- Širina poti
- Širina svetlega profila
- Globina kolesnic
- Sečni ostanki



KONUSNI INDEKS



VLAŽNOST TAL



ŠIRINA SEČNIH POTI (CM)

Objekt	Proces	Število profilov	Aritmetična sredina	Standardni odklon
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

ŠIRINA SVETLEGA PROFILA

- Prostor, ki ga potrebuje tehnologija za svoje delovanje
- V nasprotju s širino sečnih poti je na širini svetlega profila redčeni sestoj normalno prisoten



ŠIRINA SVETLEGA PROFILA (CM)

Objekt	Proces	Število profilov	Aritmetična sredina	Standardni odklon
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

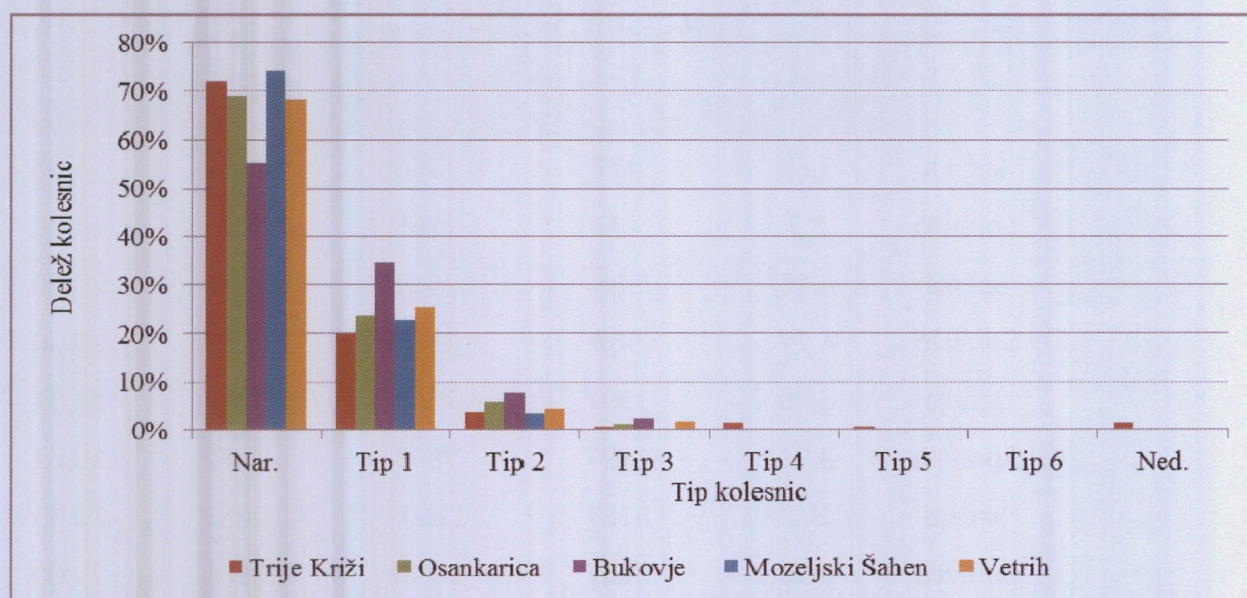
MOTENA POVRŠINA

Objekt	Proces	Povp. širina sečne poti [m]	Dolžina prometnice [m]	Motena površina [m²]	Motena površina [m²/ha]	Površina [%/ha]
Osankarica	Sečnja	3,69	477	1760	1467	14,67
	Spravilo	3,7	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	3,5	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

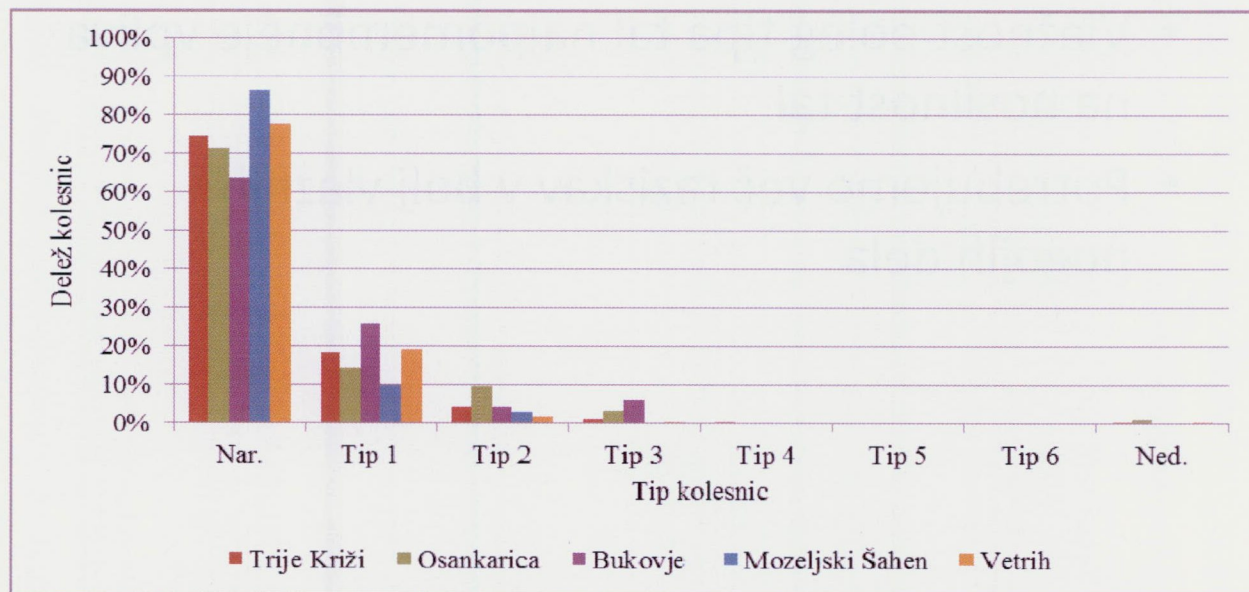
KOEFICIENTI ŠIRINE SEČNE POTI GLEDE NA ŠIRINO STROJA

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

GLOBINA KOLESNIC PO SEČNJI



GLOBALNA KOLESNIC PO SPRAVILU



RAZPRAVA; Lastnosti tal

- Tla na objektih so bila suha do sveža
- Gozdna proizvodnja poteka skozi celo leto
manjkajo objekti, spremljani v mokrem delu leta



RAZPRAVA; Lastnosti tal

- Vlažnost poleg tipa tal najpomembneje vpliva na nosilnost tal
- Potrebujemo več raziskav v bolj vlažnih pogojih dela



RAZPRAVA; Motena površina

- Motena površina v naših raziskavah je primerljiva s tujino
- Sodobna tehnologija popolne strojne sečnje s srednje velikimi stroji za delo potrebuje med 12 in 25 % površine sestoja v naklonih do 20 %.



RAZPRAVA; Motena površina

Širina sečne poti glede na širino stroja je:

- po sečnji manjša kot po spravilu
- po sečnji med 1,17 in 1,44
- po spravilu pa med 1,22 in 1,54



RAZPRAVA; Sečni ostanki

- Sečni ostanki dobro vplivajo na nastanek manjših kolesnic
- Debelina sečnih ostankov se z naraščanjem števila prehodov stroja zmanjšuje
- Strojniki polagajo dovolj sečnih ostankov na kolesnice – ne zlagajo vseh ostankov na os sečne poti



RAZPRAVA; Globina kolesnic

- Na objektih je večje število narinjenih, kot stisnjenih kolesnic
 - Suha tla
 - Stiskanje tal v večji globini
 - Rahljanje tal



u3

Razprava

- Narinjene kolesnice so višje
 - boljše kot stisnjena tla
 - regenerirajo se hitreje
 - malo profilov s kritičnimi globinami kolesnic
- Slaba stran naših podatkov je v pomanjkanju objektov
 - delali samo v suhih razmerah
 - v tuji literaturi ni veliko podatkov o delu v suhem, delali v mokrih, po možnosti glejnih tleh



Zaključek

- Poškodbe tal so bile samo ena izmed tem v mojem doktoratu
- Uspeli smo dokazati da:
 - Strojna sečnja v suhih razmerah ni problematična
 - Vejne preproge učinkovito zmanjšujejo poškodbe tal
 - Na kolesnice se polaga več sečnih ostankov, kot na sredino poti



Zaključek

- Nujno potrebujemo dobra, na raziskavah utemeljena pravila, na podlagi katerih bi že vnaprej lahko predvideli poškodbe na objektu
- V teh pravilih moramo povezati sledeče dejavnike:
 - velikost poškodb
 - talne razmere,
 - vrsto tal in
 - uporabljene stroje
- Prav tako je potrebno proučiti tudi ekonomski aspekt omejitev, ki jih bomo postavili



Literatura

Saarilahti M., Soil interaction model; Development of a protocol for ecoefficient wood harvesting on sensitive sites (ECOWOOD):Quality of Life and Management of Living Resources Contract. Helsinki: University of Helsinki, Department of Forest Resource Management; 2002.

Wasterlund I, Bygden G. Soil disturbance in forestry: Problems and Perspectives. In: Yoshimura T, editor. Proceedings of the international seminar on new roles of plantation forestry requiring appropriate tending and harvesting operations. Tokyo, Japan; 2002.

Poršinsky T. Djelotvornost i ekološka pogodnost forvardera Timberjack 1710 pri izvoženju oblovine iz nizinskih šuma Hrvatske. Šumarski fakultet. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu; 2005, p. 170 str.

Pravilnik o izvajanju sečnje, ravnanju s sečnimi ostanki, pravilu in zlaganju gozdnih lesnih sortimentov UR.I.RS št.55/1994



KAKŠNE POŠKODBE TAL NASTAJAJO PO STROJNI SEČNJI?

- Kolesnice
- Zablatenje
- Mešanje tal
- Erozijski na profilu



Slide 32

u1

dej kakšno sliko strojne sečnje, kolesnic in blata na delovišču. Tvoje ali ukradene slike
user: 25.10.2013

Predvidevanje poškodb tal

Za predvidevanje globine kolesnic, ki bodo nastale pri uporabi strojev moramo poznati:

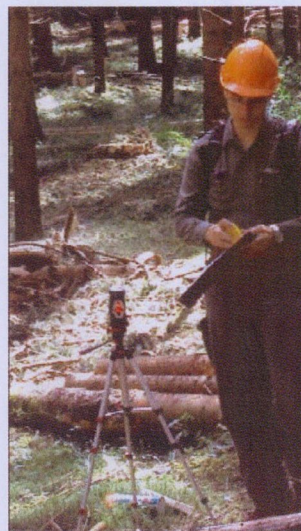
Vlažnost tal

Nosilnost tal



METODE

- Ugotavljali smo tudi glavne parametre lastnosti tal
 - Nosilnost nemotenih tal
 - Vlažnost tal

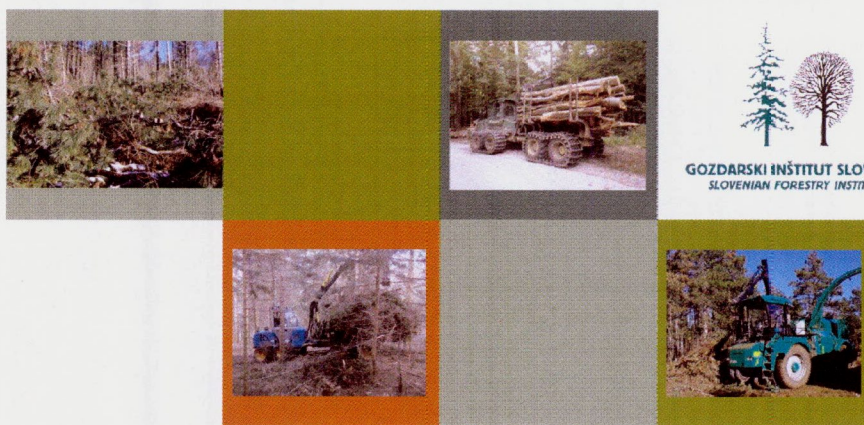


RAZPRAVA; Svetli profil

- 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.
- Razumljivo je, da zgibni polprikoličar v svetli profil posega manj, kot stroj za sečnjo, saj ima tudi bistveno krajše hidravlično dvigalo.



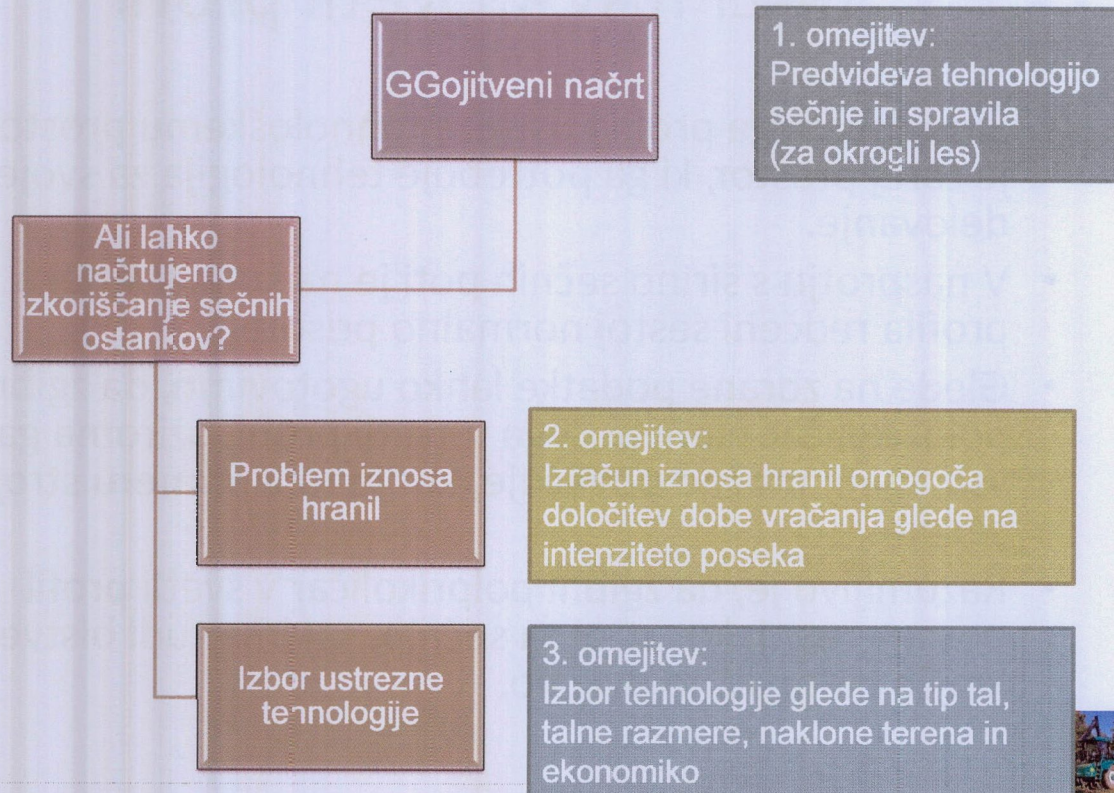
PREDLOG SMERNIC ZA IZKORIŠČANJE SEČNIH OSTANKOV



Nike Krajnc, Primož Simončič, Robert Robek, Matevž Triplat,
Klemen Eler



Diagram odločanja



Vsebine smernic

Uvod

Problematika iznosa hranil in modelni izračun iznos hranil pri različni intenziteti gospodarjenja za 10 značilnih tipov gozdov

Izbor ustreznih tehnologij glede na tip tal, talne razmere in značilnosti posameznih strojev (upoštevana je tudi ekonomika)

Priloge:

1. Opis 4 testnih primerov

2. Izbira tehnološkega modela pri proizvodnji zelenih sekancev



Hranila

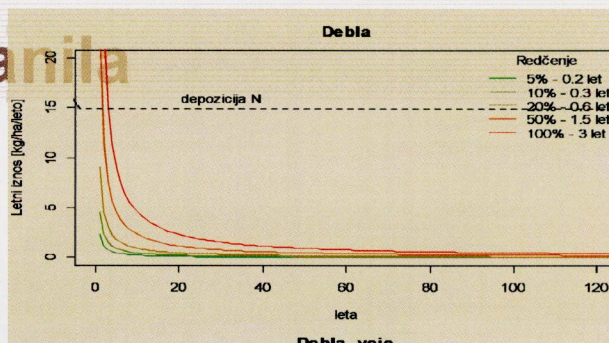
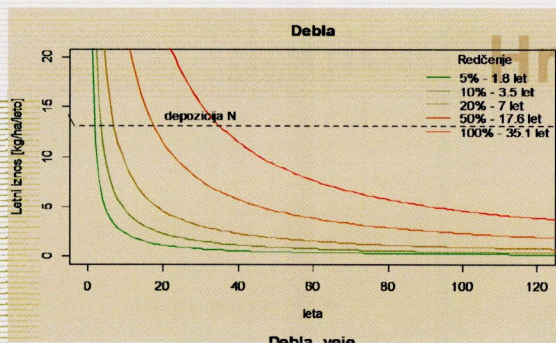
Primer kaj model omogoča - sintezni rezultati za Slovenijo

faza odločanja glede
poseka - intenziteta
sečnje in iznos
okroglega lesa +
zelenih sekancev

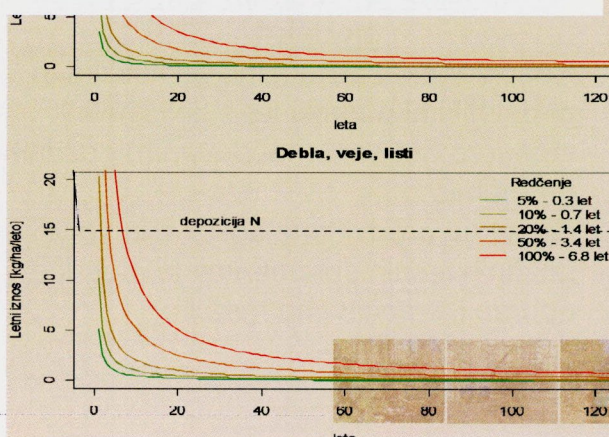
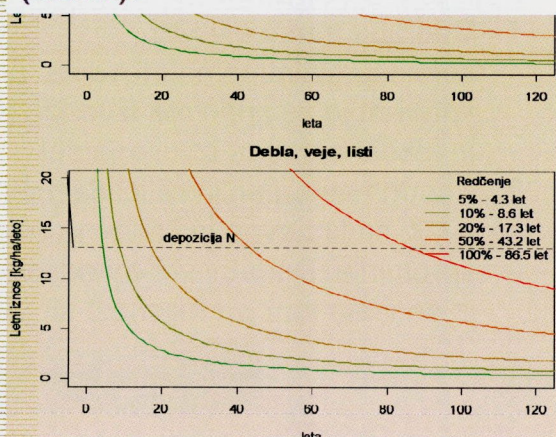
Odločitev na osnovi

1. Razpolagamo z informacijo o rastiščih, tipov gozdov oz. drugimi informacijami*.
2. Informacijo preverimo s pomočjo „Modela za izračun/oceno povratnih dob“
3. Odločitev zeleni sekanci **DA** oz. **NE** (veje oz. oleseneli del + listje/iglice)

	Poprečna povratna doba [št. let]	Minimalna povratna doba [št. let]	Maksimalna povratna doba [št. let]
100% posek			
Debla	18.0	0.1	62.5
Debla, veje	27.7	0.2	92.2
Debla, veje, listi	37.5	0.2	135.6
50% redčenje			
Debla	9.0	0.1	31.3
Debla, veje	13.9	0.1	46.1
Debla, veje, listi	18.7	0.1	67.8
20% redčenje			
Debla	3.6	0.0	12.5
Debla, veje	5.5	0.0	18.4
Debla, veje, listi	7.5	0.0	27.1
10% redčenje			
Debla	1.8	0.0	6.3
Debla, veje	2.8	0.0	9.2
Debla, veje, listi	3.7	0.0	13.6



Učinek intenzitete redčenja na krivulje letnih iznosov dušika in na povratne dobe za tri scenarije sečnje in pet intenzitet redčenja za ploskev št. 243 (levo) in 744 (desno) 4x4 km mreže z lesno zalogo 915 m³/ha (levo) oz. 73 m³/ha (desno).



- „Model za izračun/oceno povratnih dob” omogoča **prvo pripravo ocene!**
- v primeru sprejemljivosti uporabe „Modela...” je nujno, da bo njegova uporaba ali pa uporaba rezultatov enostavna **za uporabo v praksi !** (rastišča, gozdni tipi,)
- **Izračun/ocena povratnih dob** je bila pripravljena na osnovi različnih predpostavk kot so npr. uporaba alometrijskih razmerij podatkovne zbirke EFISCEN, modelnega vnosa N (Skudnik et al. 2012..), rezultatov inventure za KP s 4x4km mreže...; **predpostavke se morajo dodatno preveriti in obnavljati tudi v prihodnosti;**
- **Vzpostaviti/nadaljevati je potrebno zbiranje podatkov** o sečnji, intenziteti sečenj, iznosu okroglega lesa, zelenih sekancev **v času** iz vidika npr. hranil, poškodb gozdnih tal, sestoja, uporabljenih tehnologij zlasti na ekstremnih rastiščih, gozdnih ekosistemih... (*ekonomika..*)



Načrtovanje tehnologij

ZGS s pomočjo tehnološkega dela gozdnogojitvenega načrta opredeljuje robne pogoje za izbor tehnološkega modela.

Izvajalec del v okviru določenih robnih pogojev izbere iz odločitvene matrike možne tehnologije

Okvirni izbor dovoljenih tehnoloških modelov.

1. Razpolagajo z reliefnimi, geološkim in pedološkimi podatki ter s količino in strukturo grajenih (načrtovanih) gozdnih prometnic.
2. Glede na predvidene količine in vrste gozdnih lesnih sortimentov je mogoče uporabiti odločitveno matriko

Dejanski izbor tehnoloških modelov.

1. Uporaba matrike v fazi sečnospravnega načrtovanja, pri katerem je že znan rok izvedbe del in tekom samega izvajanja del.
2. Vhodna spremenljivka je vlažnost tal, ki se krajevno in časovno zelo spreminja. Dodatni vplivni dejavnik je še vrsta ter opremljenost stoja.



Primer praktične uporabe matrike

	do 35%		35% - 60%		nad 60 %	
Šota	6	6	Določi izvajalec glede na vremenske razmere razpoložljive stroje			
Globoka silikatna tla	2, 3	2, 3, 5.B, 5.F	1, 2, 3	1, 2, 3	Določi ZGS v GGJN	
Globoka karbonatna tla	2, 3, 5.B, 5.F	2, 3, 4, 5.A, 5.B, 5.C, 5.D, 5.E, 5.F, 5.G, 5.H	1, 2, 3	1, 2, 3, 5.B*, 5.F*	1	1
Plitva tla	2, 3, 4, 5.A, 5.B, 5.C, 5.D, 5.E, 5.F, 5.G, 5.H	2, 3, 4, 5.A, 5.B, 5.C, 5.D, 5.E, 5.F, 5.G, 5.H	2, 3, 4, 5.B, 5.C, 5.D, 5.F	2, 3, 4, 5.A, 5.B, 5.C, 5.D, 5.F	1	1
	vlažna tla	suha tla	vlažna tla	suha tla	vlažna tla	suha tla

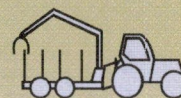
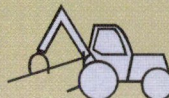
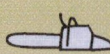
Primer rezultata uporabe odločitvene matrike

ZGS v okviru tehnološkega dela gozdnogojitvenega načrta (glede na tip tal in naklon terena) določi širši izbor tehnologij:

- Model 1. spravilo z žičnim žerjavom (Drevesna metoda)
- Model 2. motorna žaga (Drevesna metoda)
- Model 3.1 Drevesna do vlake, nato debelna
- Model 3.2 – drevesna do vlake, nato sortimentna
- Model 5.B - SS (veliki stroji) + gosenice
- Model 5.F Kombinacija strojne in klasične tehnologije

1, 2, 3	1, 2, 3, 5.B*, 5.F*
---------	---------------------

Izvajalec izbere tehnološki model glede na vremenske razmere in razpoložljive stroje

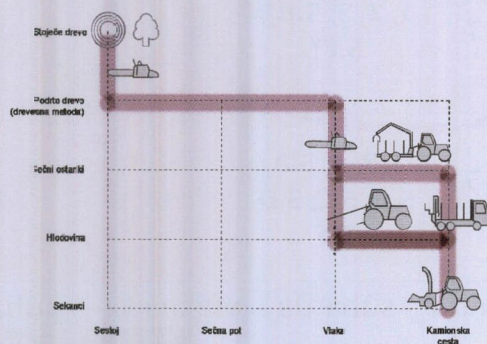


- Model 3.1 Drevesna do vlake, nato debelna



Opis izbranega tehnološkega modela

- predstavlja poznano kombinacijo klasičnega poseka z motorno žago in spravilom s prilagojenim kmetijskim traktorjem.
- Gre za skupinsko delo, kjer sekač podira drevesa po drevesni metodi, medtem ko jih traktorist z gozdarskim vitlom povleče do roba vlake in oklesti (sečni ostanki torej ležijo neposredno ob vlaki).
- Sledi spravilo hlodovine do kamionske ceste. Sečni ostanki v tem primeru ostanejo neposredno ob vlaki in so v dosegu nakladalne naprave nameščene na traktorski prikolici ali zgibnem prikoličarju. Izdelava sekancev se izvrši na kamionski cesti.



Natančni opis vseh tehnoloških modelov bo v prilogi smernic



Postopek izdelave smernic

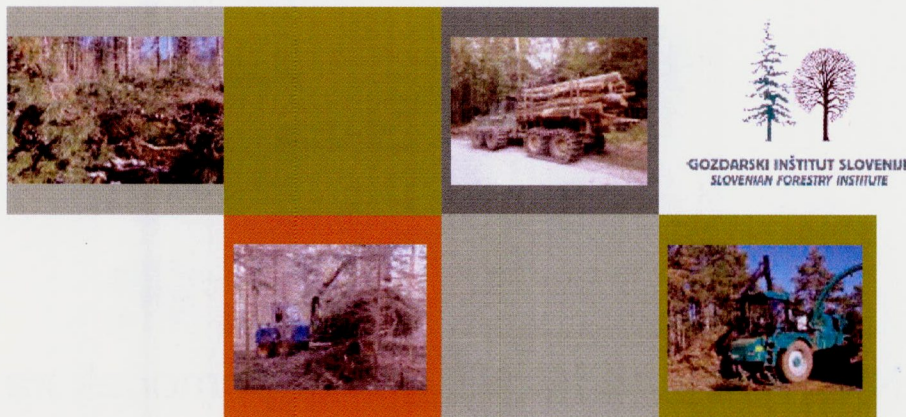
Predstavitev ideje na delavnici

Objava 1. delovne različice in javna razprava – do konca novembra

Objava nove verzije smernic (ob upoštevanju pripomb in dopolnil „iz prakse“) – do sredine decembra 2013



Izbira tehnološkega modela pri proizvodnji zelenih sekancev



Matevž Triplat, Nike Krajnc, Robert Robek



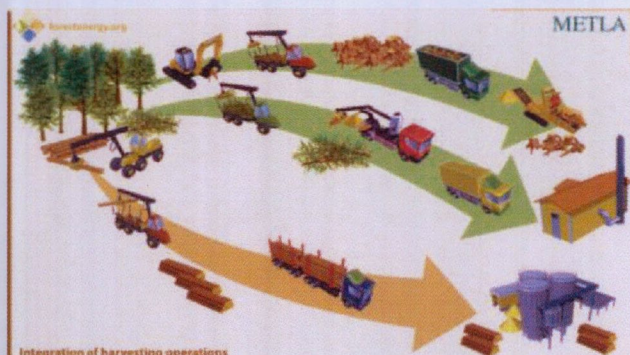
Uvod

- Porast “novih” oblik lesnih goriv
- Zeleni sekanci (SIST EN 14588:2010) - lesni sekanci izdelani iz svežega lesa in svežih sečnih ostankov (vključno z vejami in vrhači).
- Akcijski načrt za povečanje konkurenčnosti gozdno lesne verige
- Potenciali za proizvodnjo sekancev (tehnološke možnosti)?!

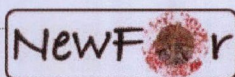


Gozdno-lesne verige

- Proizvodnja zelenih sekancev v gozdu je vezana na sečnjo in spravilo okroglega lesa.

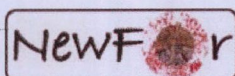


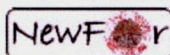
- Namen je predstaviti nov pripomoček za praktično odločanje pri izbiri najustreznejše tehnologije pridobivanja zelenih sekancev v Sloveniji.



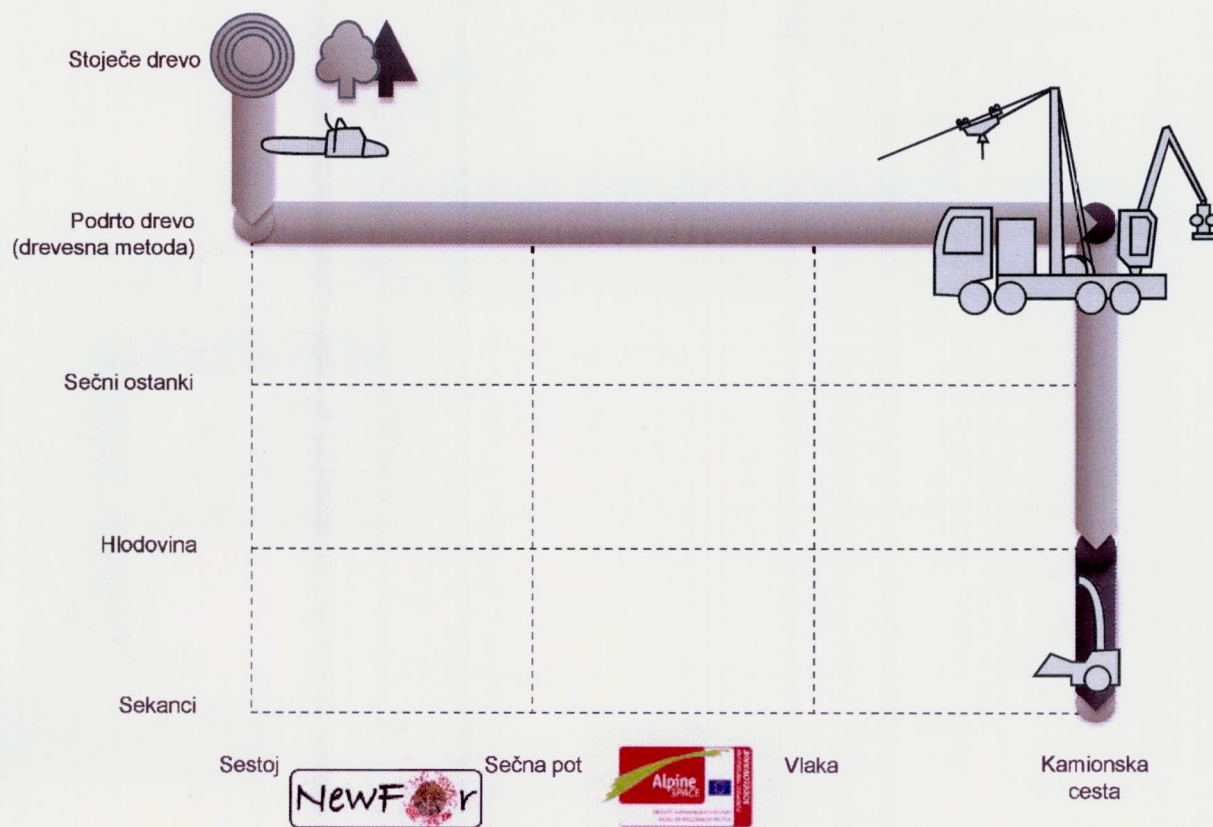
Zakaj tehnološki model ?

- Z uvajanjem strojne sečnje se je razvoj tehnologij precej pospešil, s tem se tudi pri nas pri proizvodnji lesnih sekancev pojavljajo nove tehnološke rešitve.
- Za kakovostno izbiro tehnološkega modela izdelave lesnih sekancev potrebujemo nazorne in primerljive opise možnih tehnologij.
- Ideja vizualizacije tehnološkega modela ni nova. V zadnjem času jo je uporabil prof. Joern Erler za potrebe medsebojne primerjave pravilnih metod.

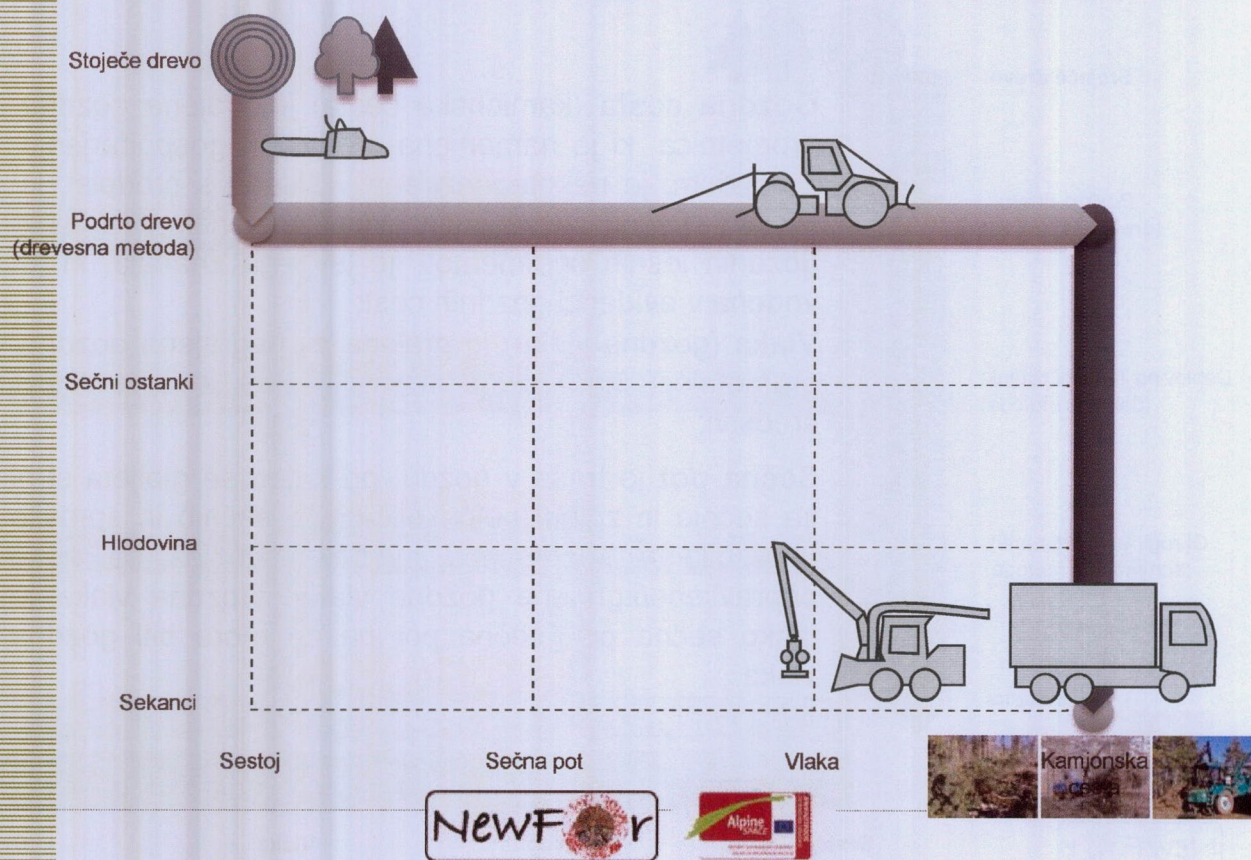




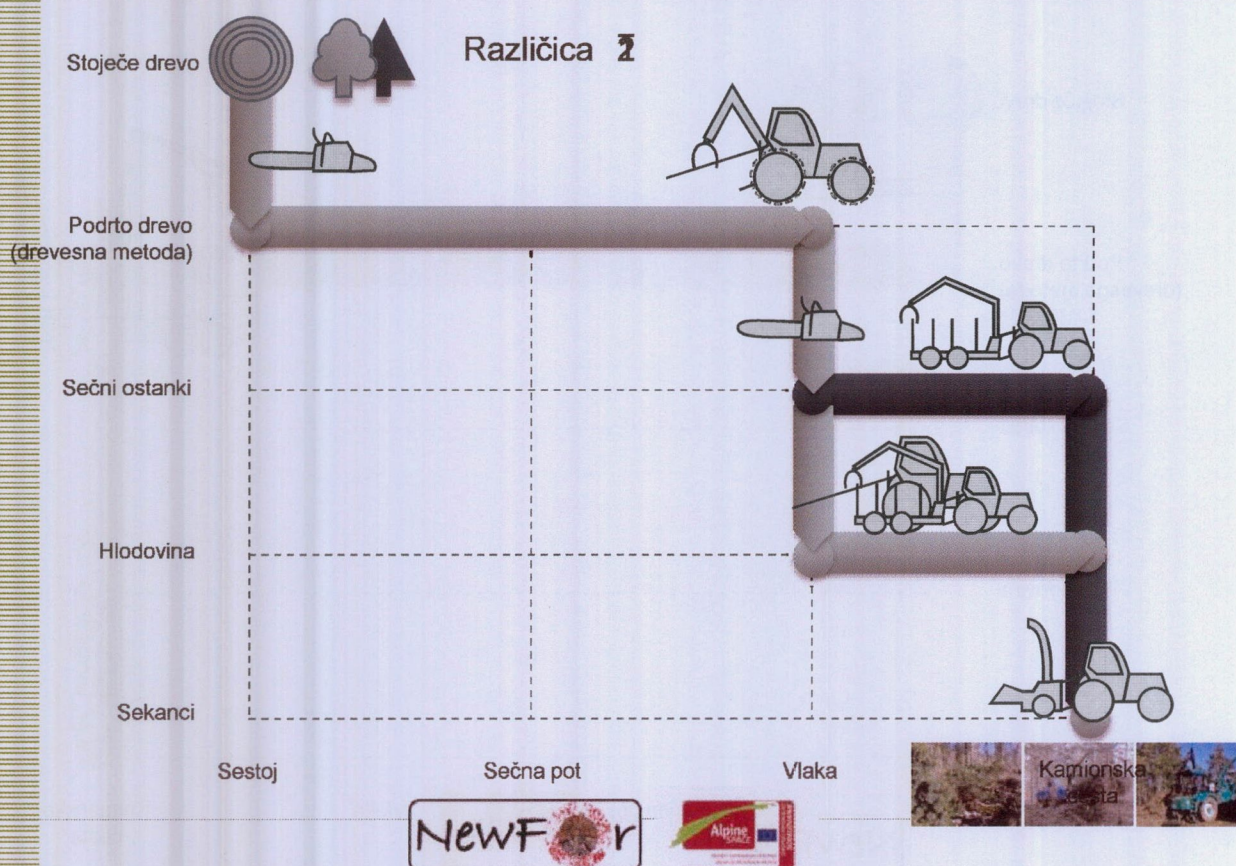
Stoječe drevo



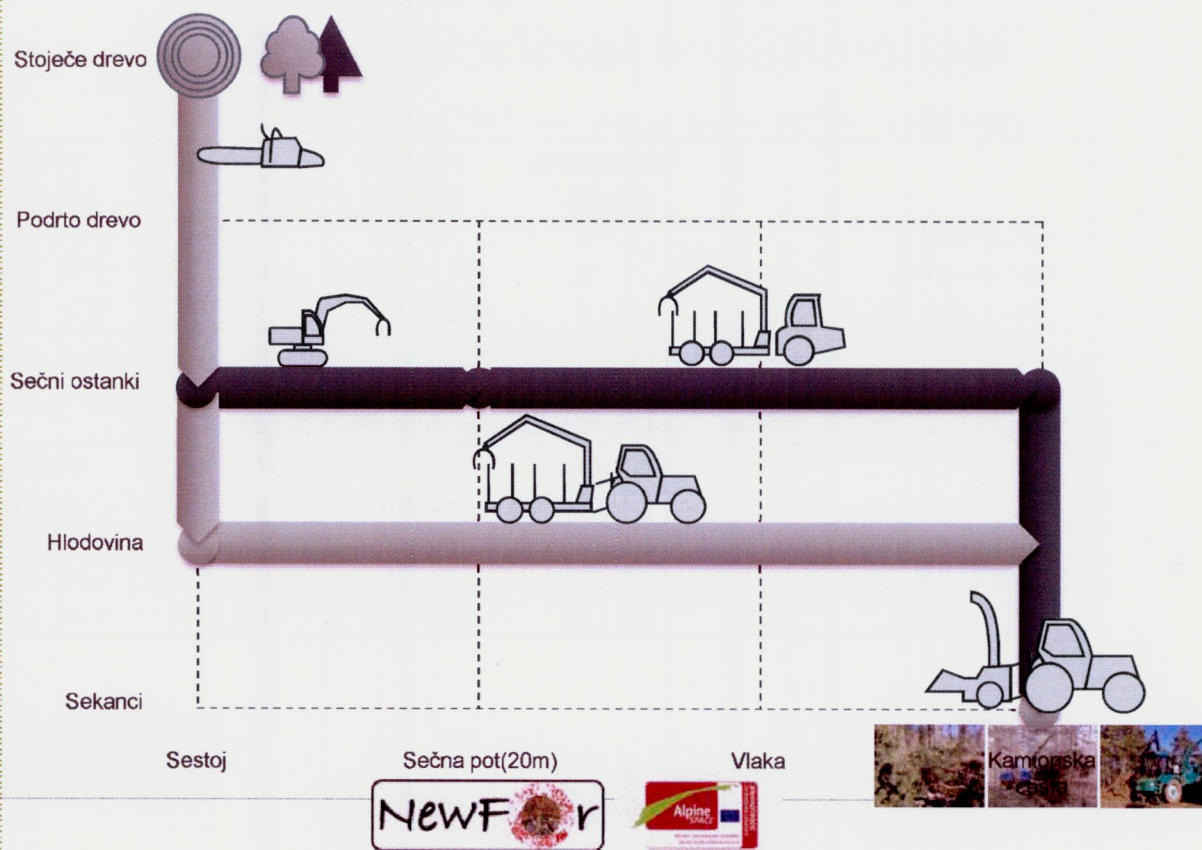
Model 2 - Motorna žaga - drevesna metoda



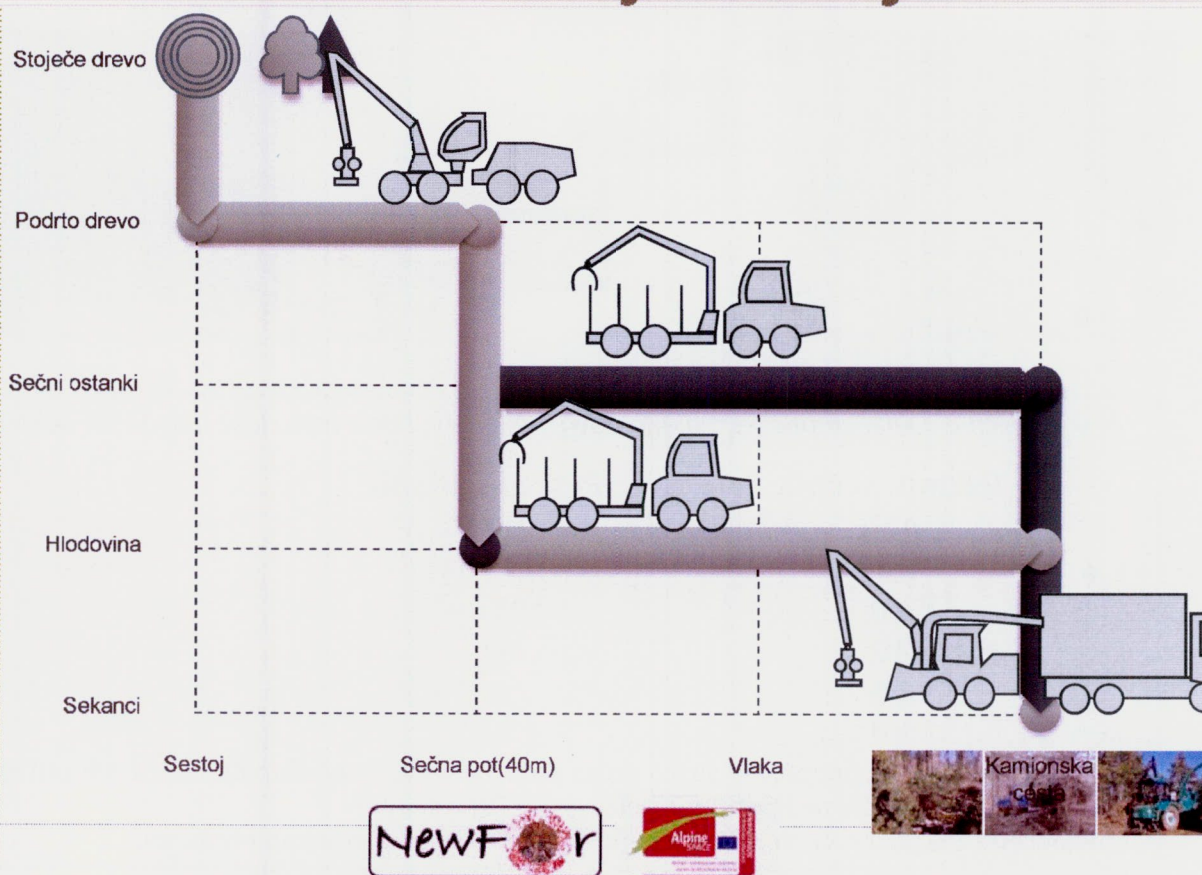
Model 3 - Motorna žaga - drevesna metoda do vlake



Model 4 - Motorna žaga - sortimentna metoda



Model 5 – Strojna sečnja



Delitev strojne sečnje

- Modeli SS v 4 različicah glede na:

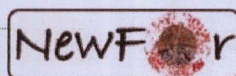
Preglednica 2: Delitev sečnih strojev (vir: FHP 2010)

		Najmanjši stroji	Majhni stroji	Srednji stroji	Veliki stroji
Masa vozila	t	4 - 8	9 - 15	15 - 21	21 - 50
Moč motorja	kW	< 70	71 - 140	141 - 175	175 - 300
Doseg dvigala	m	5 - 8	8,1 - 11,6	8,3 - 10,7	8,3 - 15,5

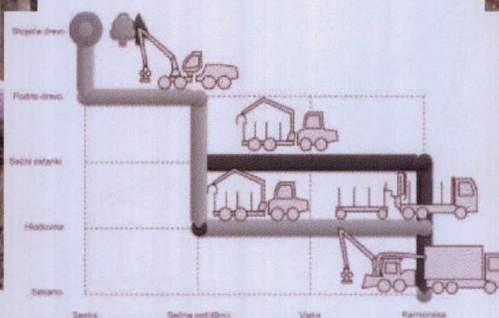
Preglednica 3: Razdelitev spravilnih zgibnikov (vir: FHP 2010)

		Najmanjši stroji	Majhni stroji	Srednji stroji	Veliki stroji
Masa tovora	t	1 - 7	8 - 10	11 - 14	> 14
Masa vozila	t	1 - 9	9 - 15	12 - 18	15 - 23
Moč motorja	kW	10 - 50	50 - 140	80 - 175	140 - 220

- ter...



Delež motene površine



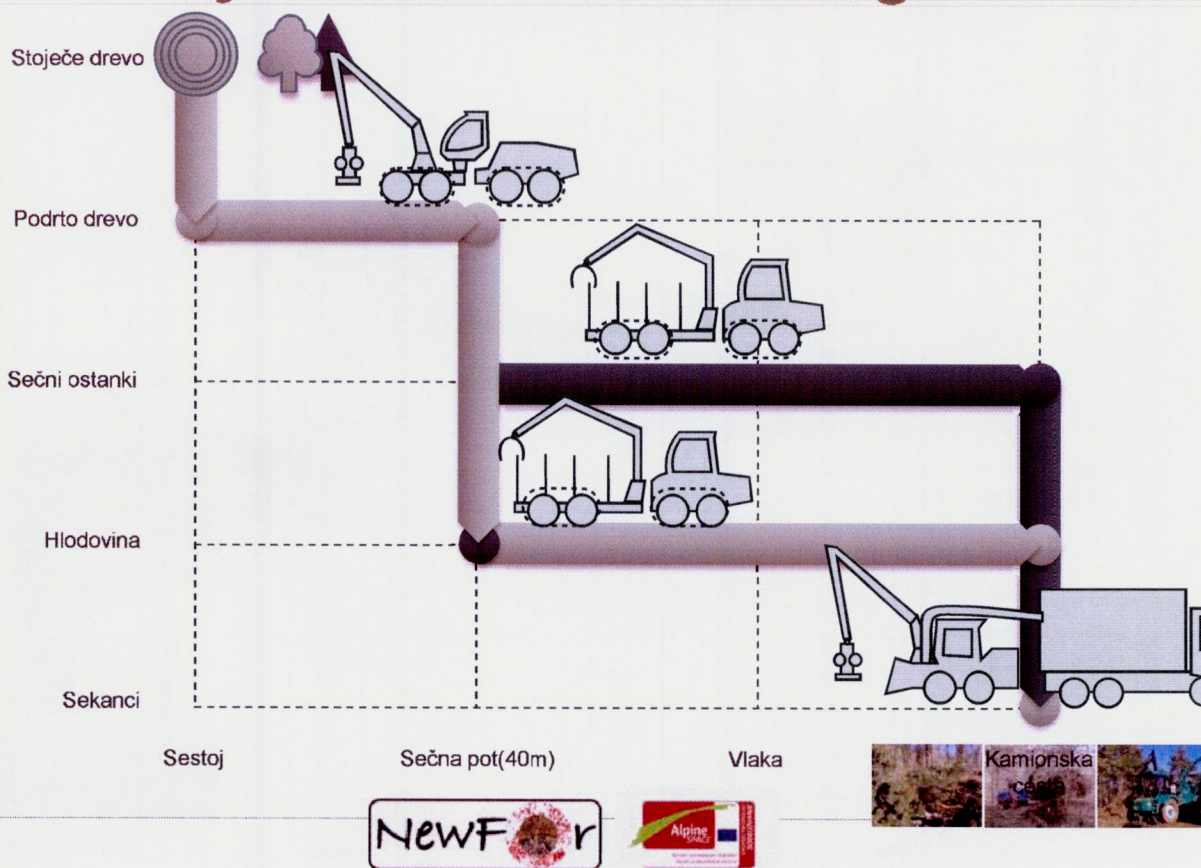
Preglednica 5: Delež dopustne motene površine tal pri pridobivanju lesa in izdelavi sekancev

Razmik sečnih poti (m)	Površina sečnih poti* (m ² /ha)	Delež motene površine** (%)
20	1029	15
40	417	10
60	213	8
80	110	6

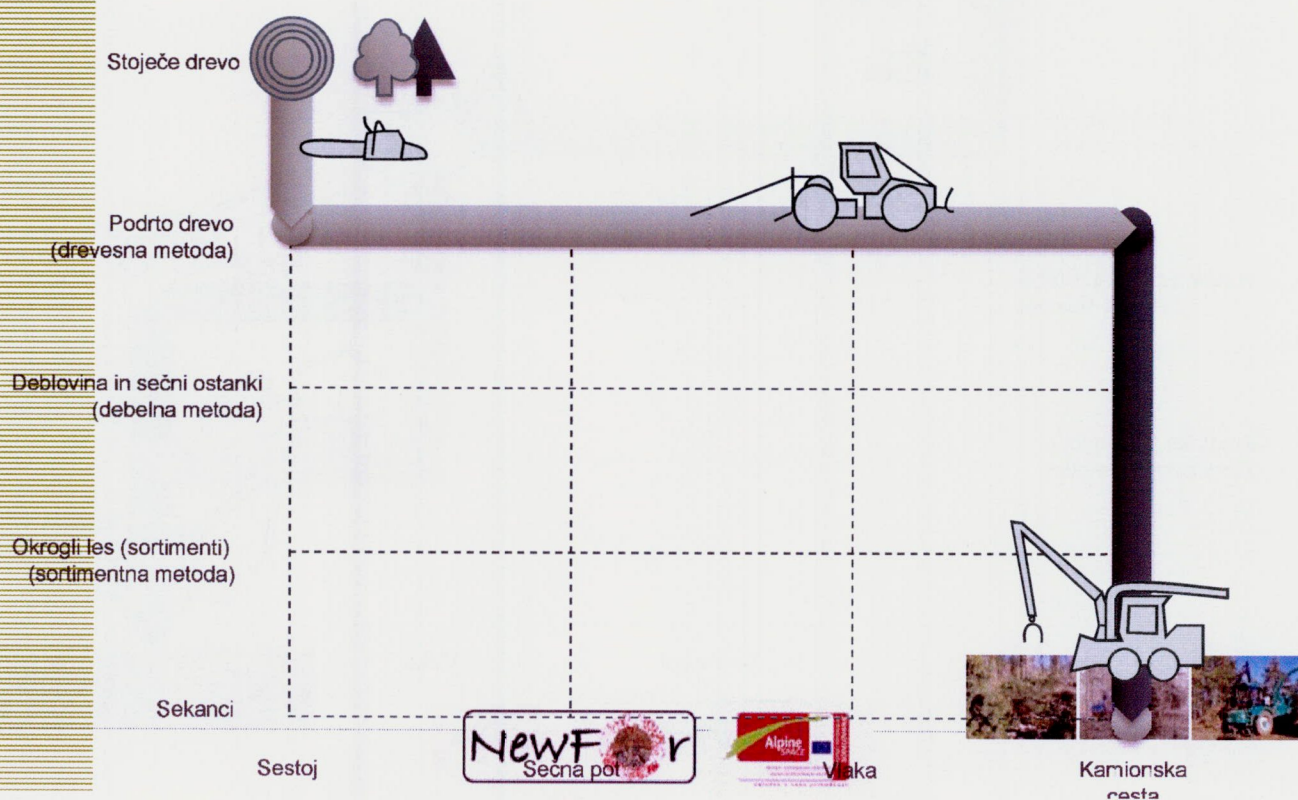
* upošteva 3,5m za povprečno širino sečne poti, 70% delež sečnih poti, na katerih prihaja do ponavljajočih voženj ter ne upošteva delež grajenih prometnic

** vključno s 5% povprečnim deležem motene površine zaradi grajenih prometnic

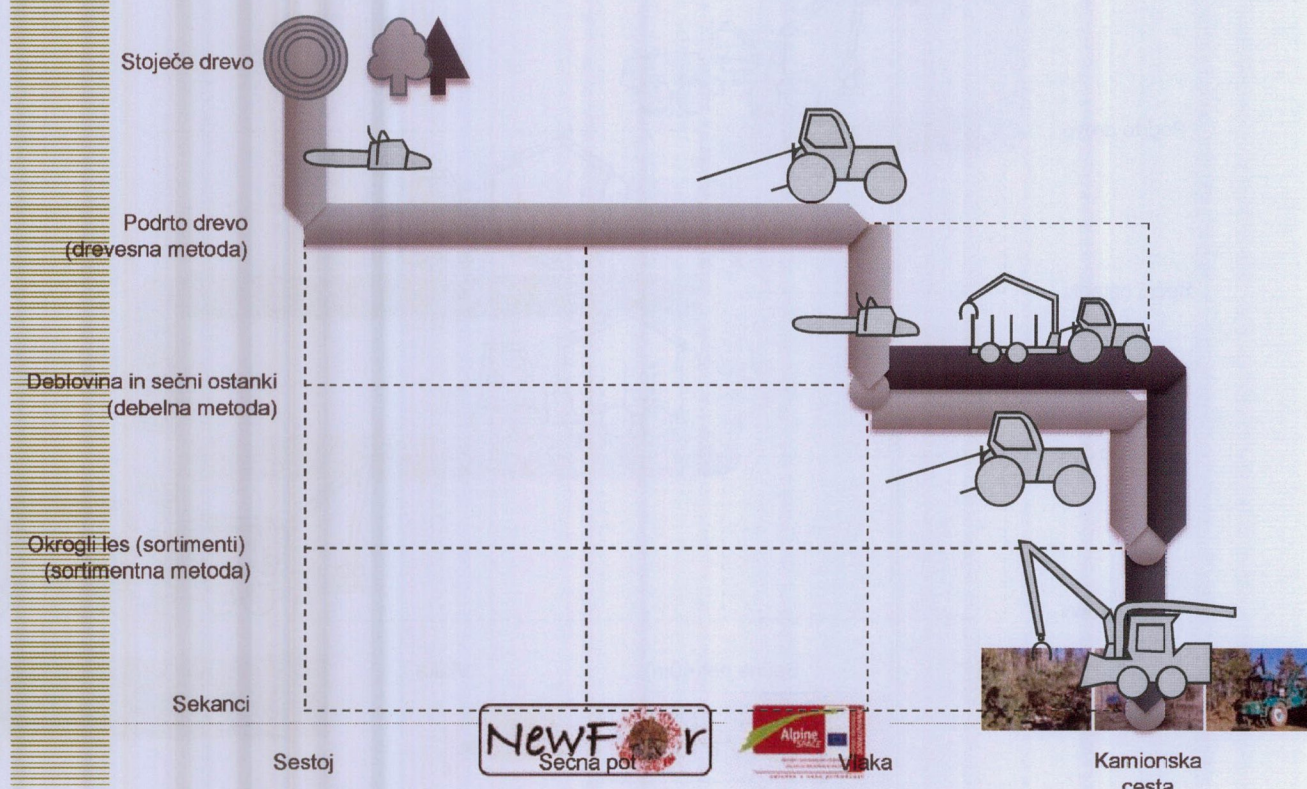
Stroji z nameščenimi verigami



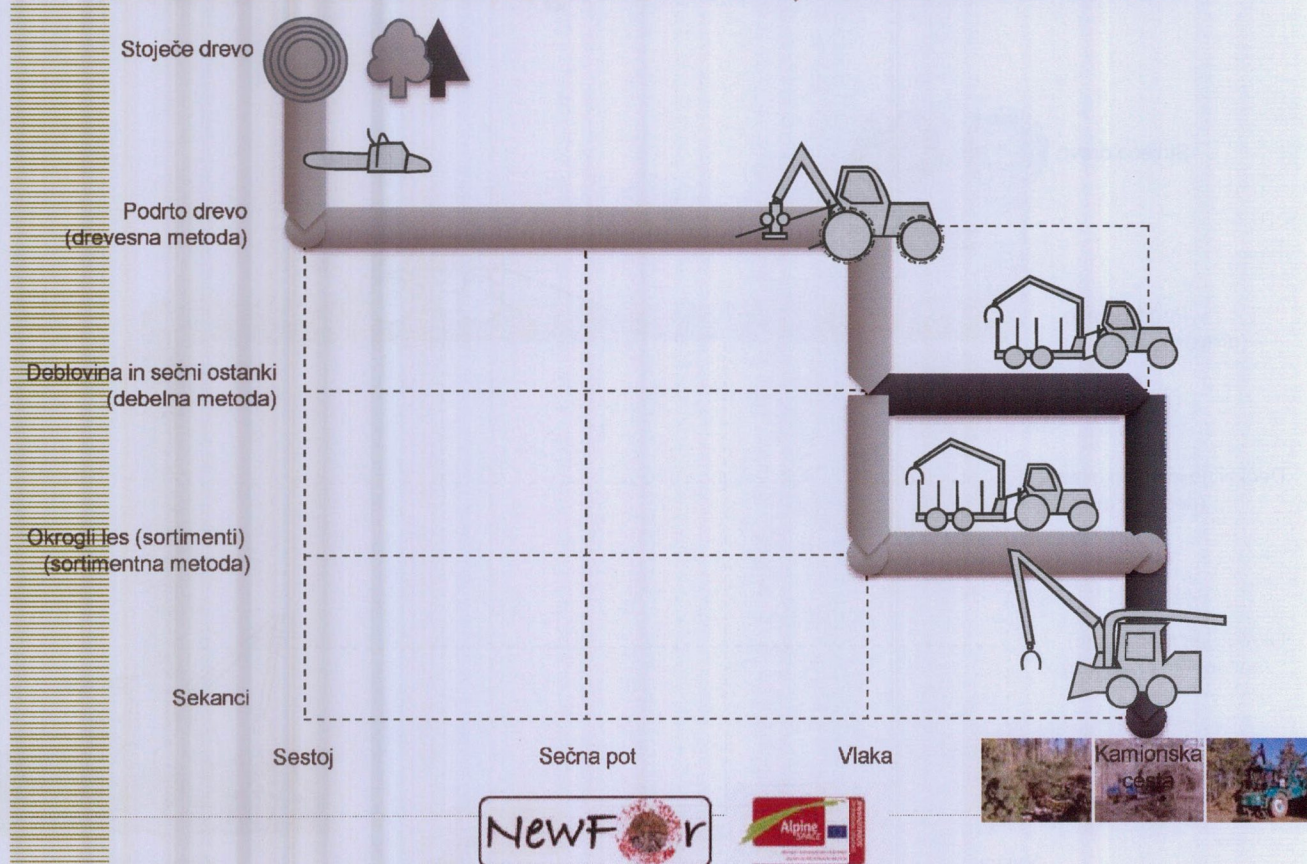
Model 2. Model 2. motorna žaga (Drevesna metoda)



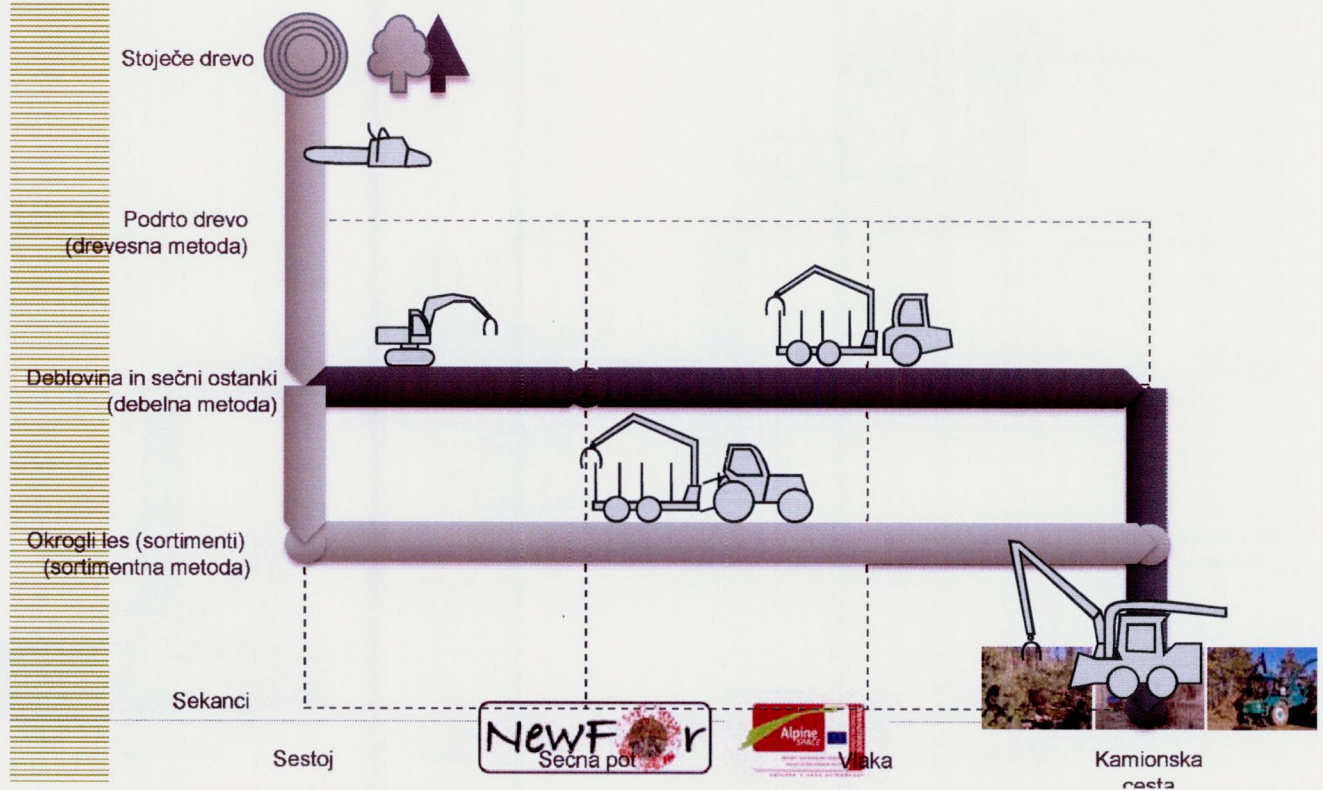
Model 3.1 Drevesna do vlake, nato debelna



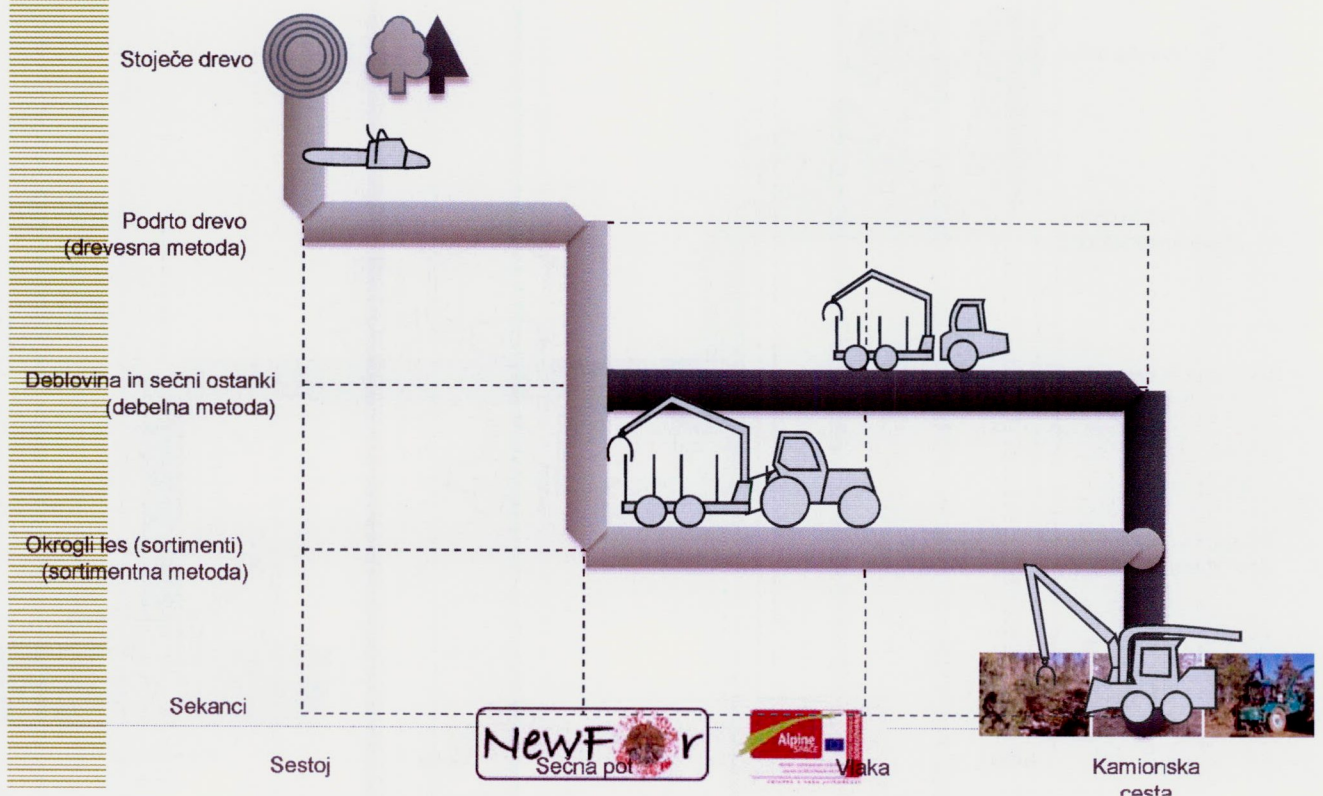
Model 3.2 – drevesna do vlake, nato sortimentna



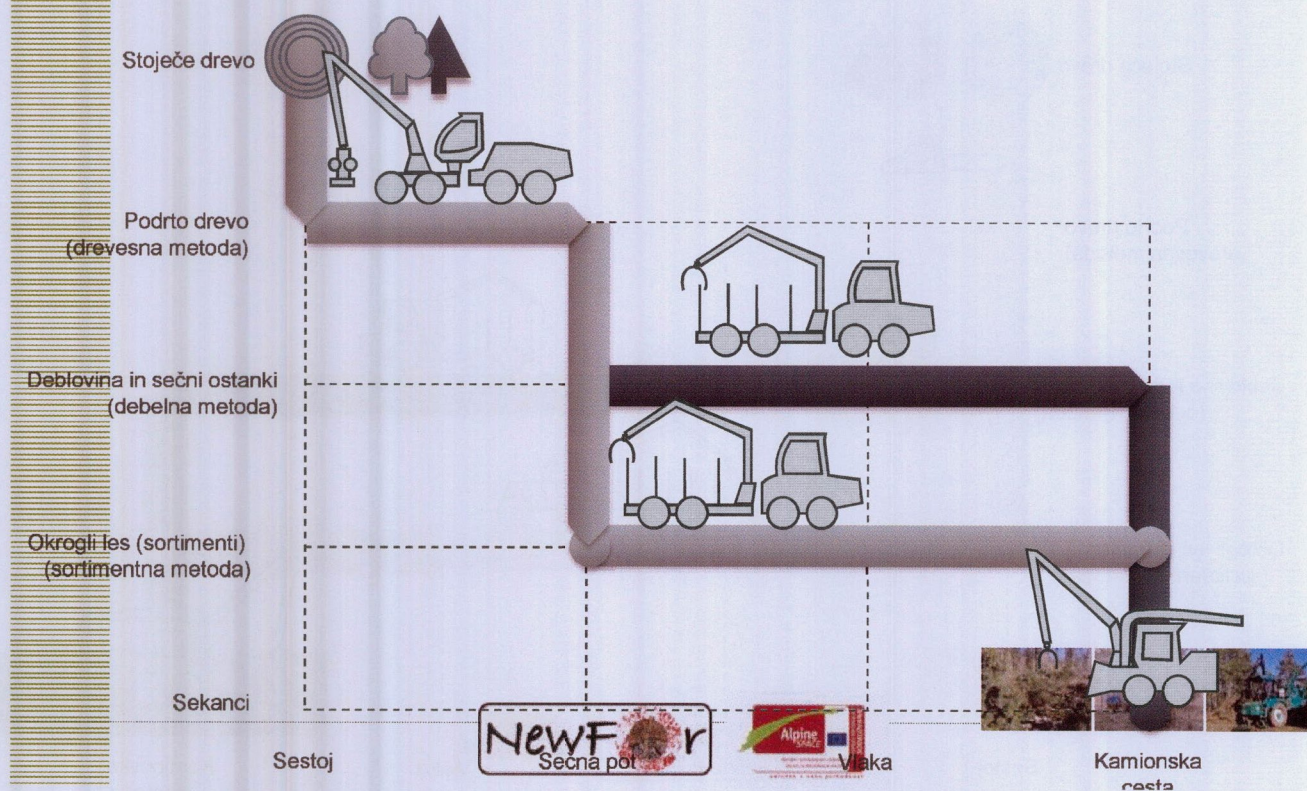
Model 4.1 MŽ (sortimentna) + goseničar



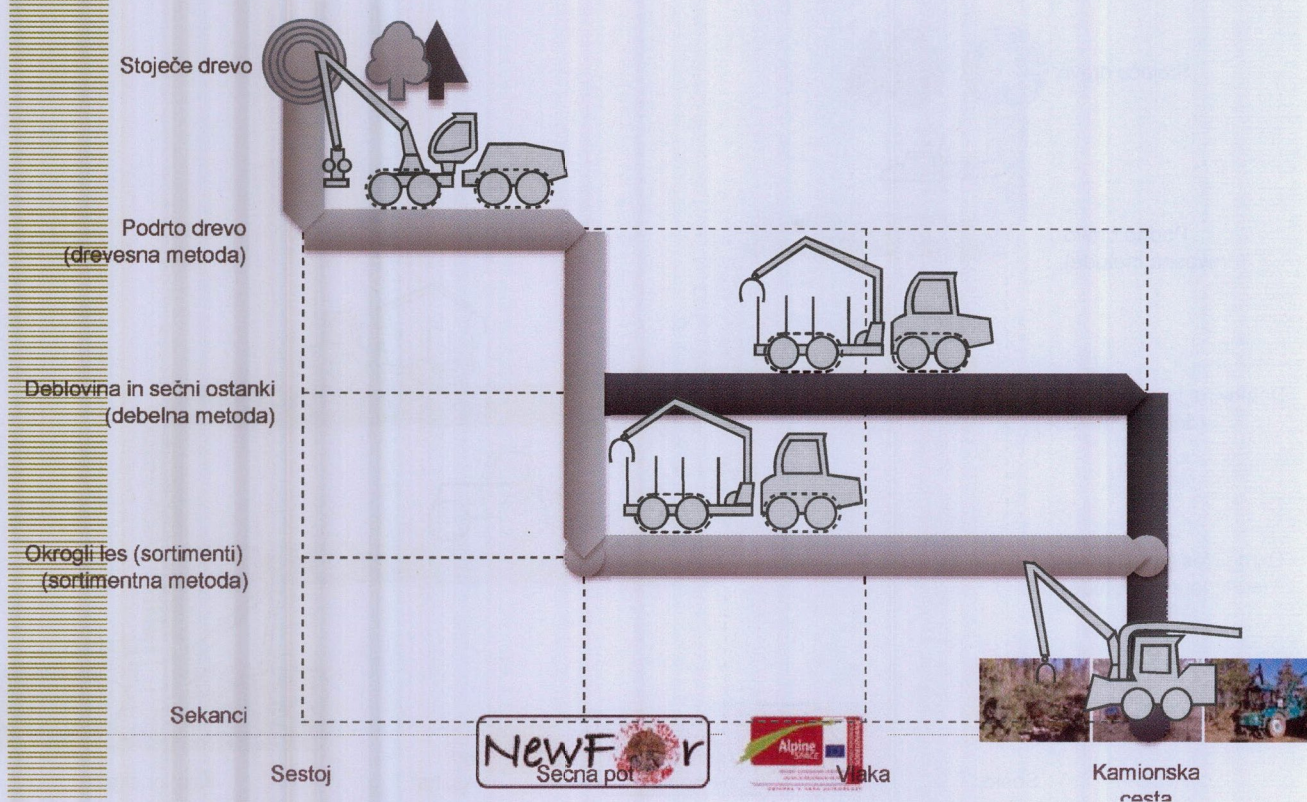
Model 4.2 – MŽ (sortimentna)



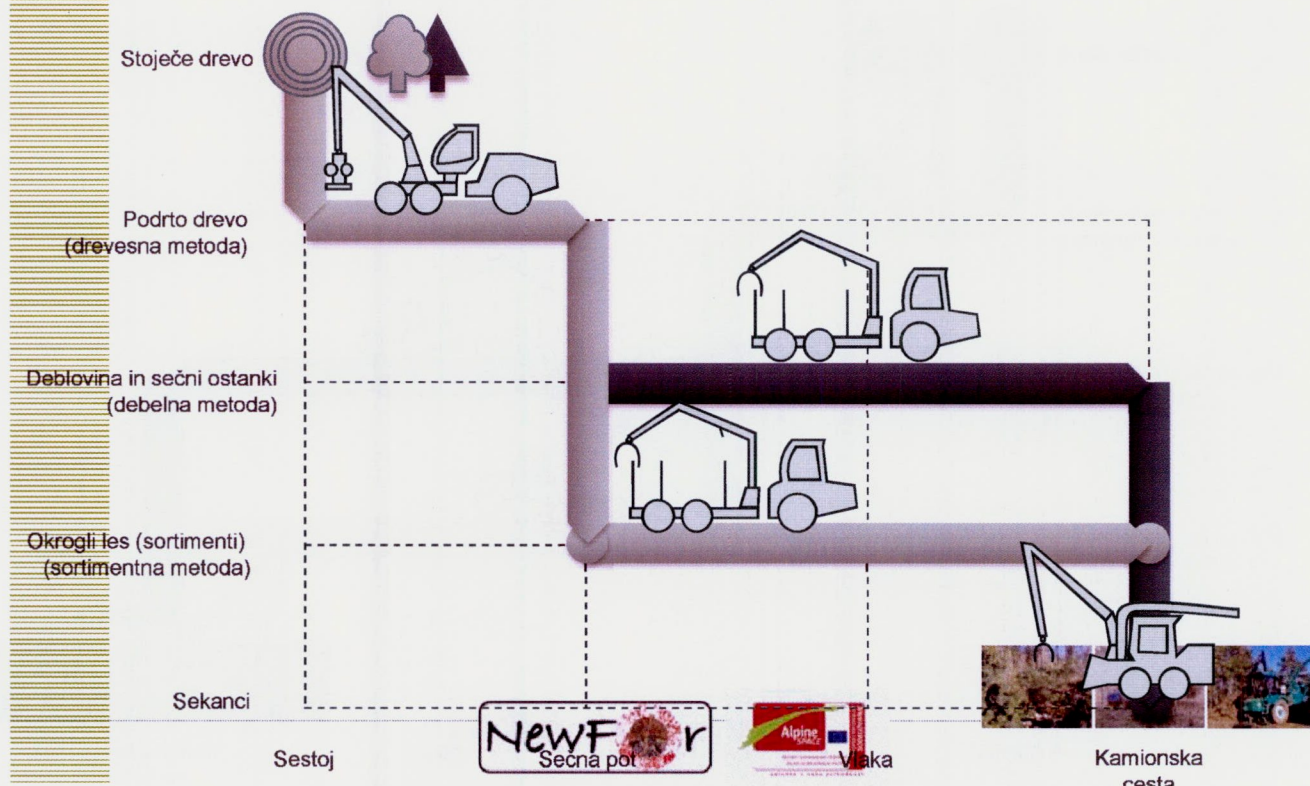
Model 5.A - SS (veliki stroji)



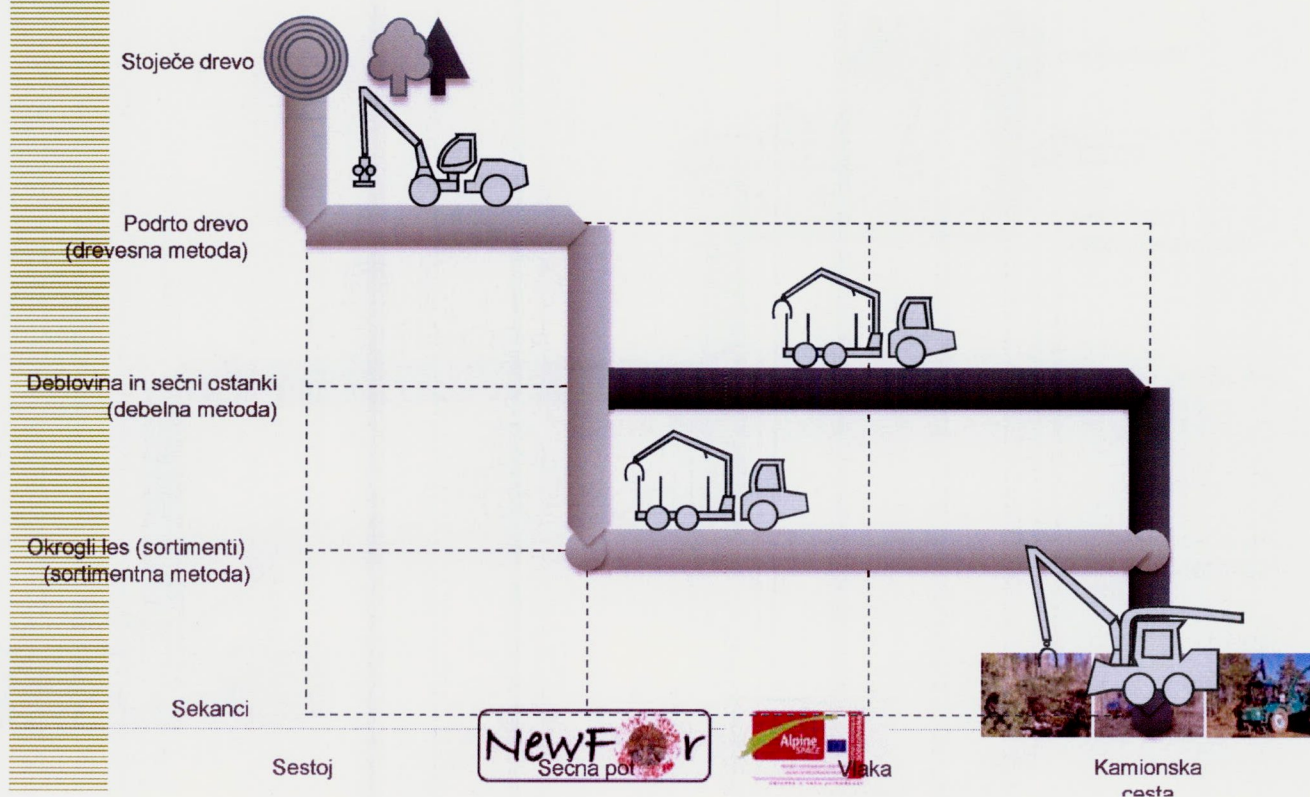
Model 5.B - SS (veliki stroji) + gosenice



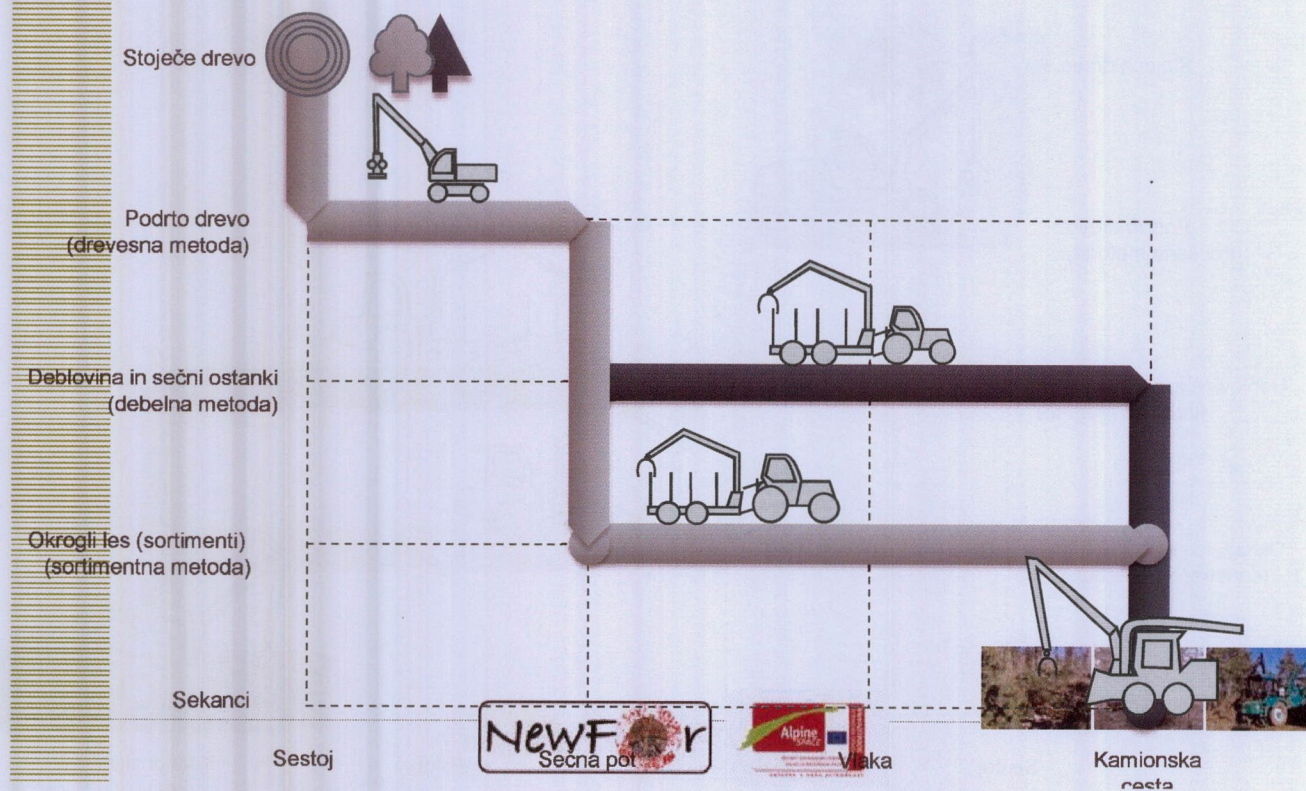
Model 5.C - SS (srednje veliki stroji)



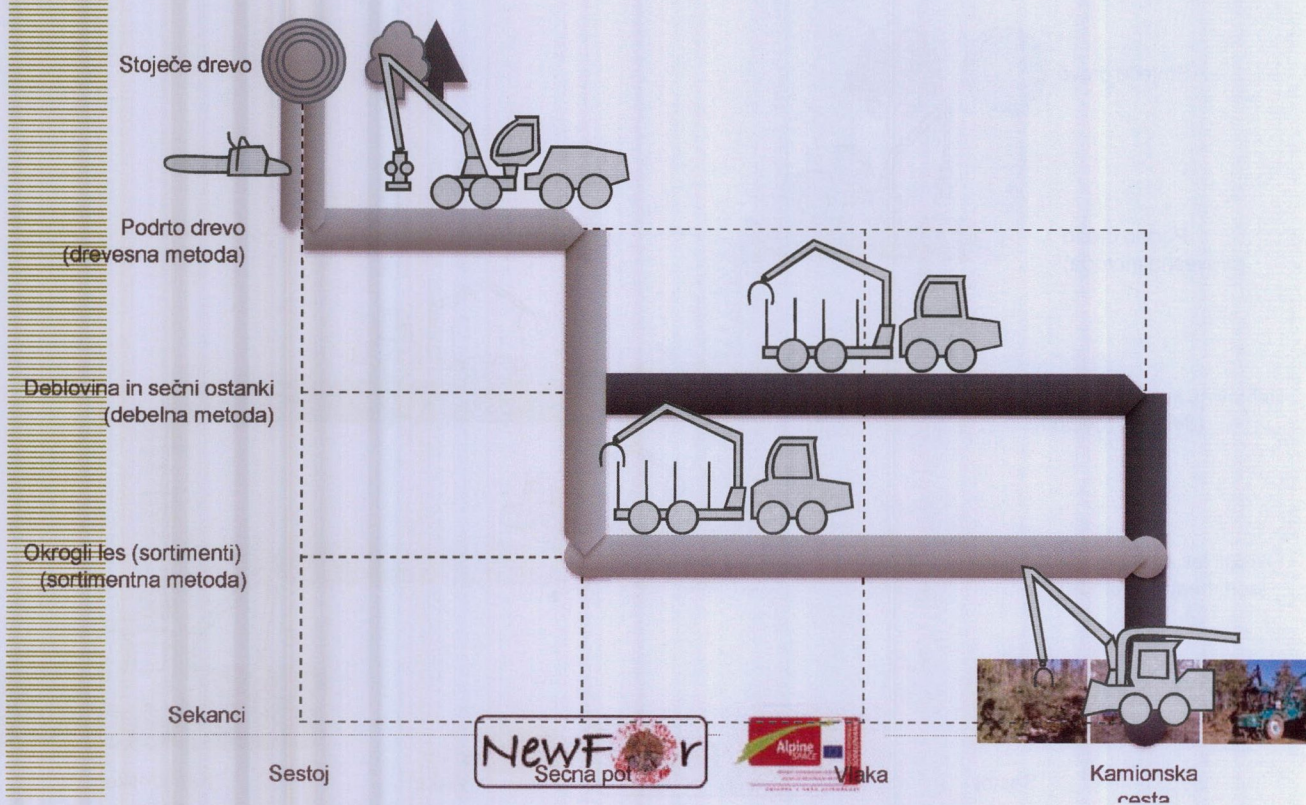
Model 5.D - SS (majhni stroji)



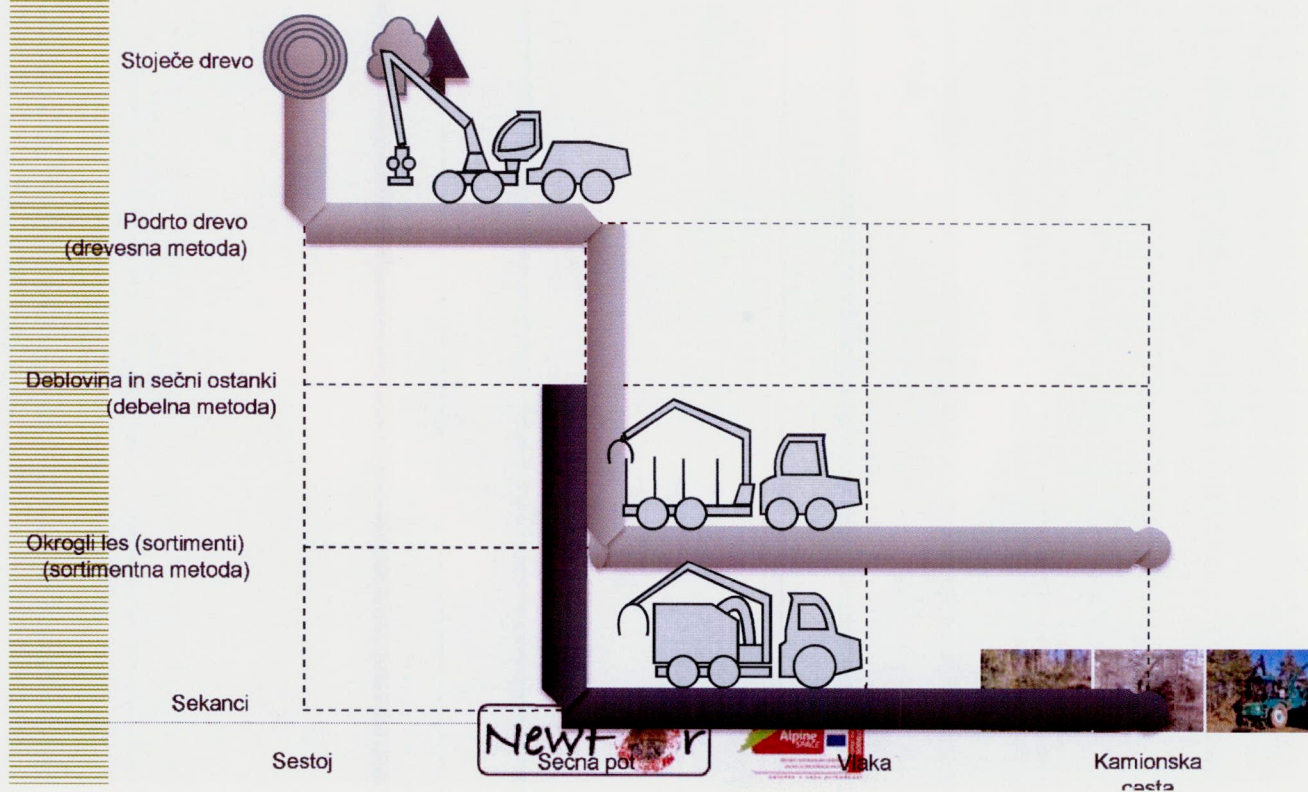
Model 5.E - SS (najmanjši stroji)



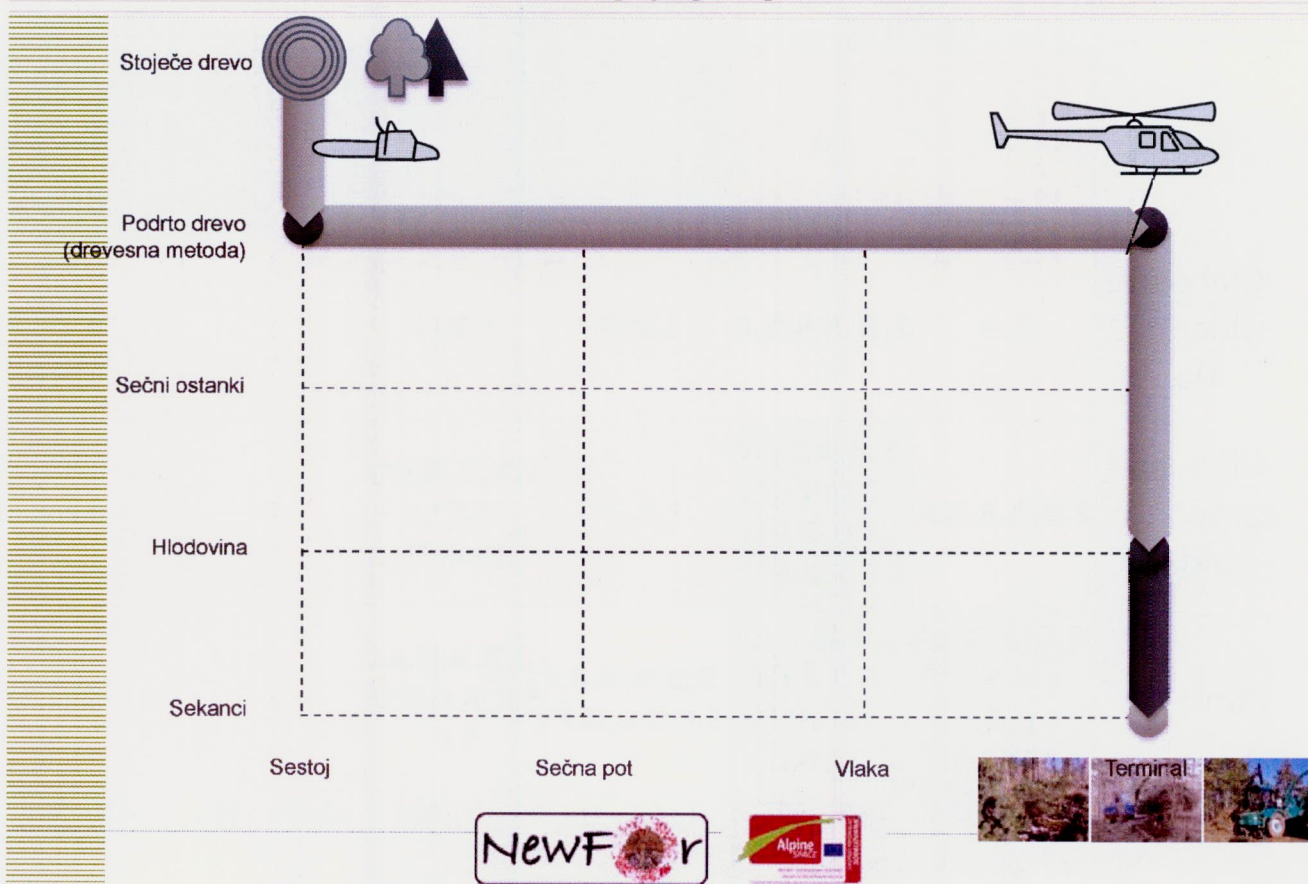
Model 5.F – kombinacija SS + MŽ



Model 5.G – SS (sekalnik na sečnih poteh)



Model 6





Odločitvena matrika

	do 35%		35% - 40%		nad 40%	
Šota	6	6				
Globoka silikatna tla	2,3	2,3,5.B,5.F	1,2,3	1,2,3	1	1
Globoka karbonatna tla	2,3,5.B,5.F	2,3,4,5.A,5.B,5.C,5.D,5.E,5.F,5.G	1,2,3	1,2,3,5.B*,5.F*,(5.E??)	1	1
Plitva tla	2,3,4,5.A,5.B,5.C,5.D,5.E,5.F,5.G	2,3,4,5.A,5.B,5.C,5.D,5.E,5.F,5.G	2,3,4,5.B,5.C,5.D,5.F	2,3,4,5.A,5.B,5.C,5.D,5.F	1	1
	vlažna tla	suha tla	vlažna tla	suha tla	vlažna tla	suha tla

* Tehnologije primerne samo na naklonih od 35 % - 40 %

Zaključki

- **Tehnološki modeli** – primerljive sheme načinov dela v deloviščih, kjer smemo odstranjevati dodatno biomaso za izdelavo lesnih sekancev.
- **Delež dopustne motene površine tal** – praktično preverljive dogovorjene mejne vrednosti za strokovno ustrezno izvedbo del.
- **Odločitvena matrika** – nabor sprejemljivih tehnoloških modelov v delovišču glede na naklon terena, vrsto tal in njihovo vlažnost.



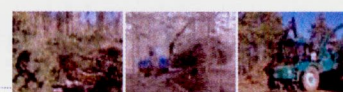
Hvala za pozornost!

Vabljeni k ogledu in sodelovanju:

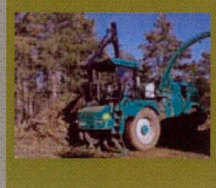
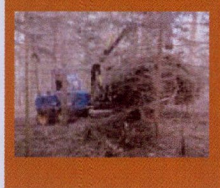
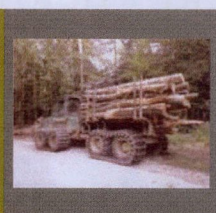
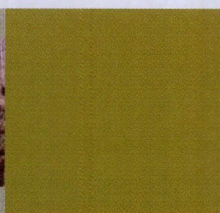
www.gozdis.si

www.facebook.com/gisgte

matevz.triplat@gozdis.si



Tehnološki in ekonomski vidiki pridobivanja zelenih sekancev na 4 testnih področjih



Nike Krajnc, Matevž Triplat, Robert Robek, Mitja Piškur, Jaka Klun,
Tine Premrl

Testna območja

Nanos –
smreka

- Redčenje v smrekovi monokulturi

Vremščica –
črni bor

- Redčenje v borovem drogovnjaku

Vremščica –
črni gaber

- Obnova panjevca

Trnovo –
mešan gozd

- Redčenje v mešanem gozdu bukve, jelke in smreke



Testne ploskve

- Naš glavni namen je bil oceniti različne vidike pridobivanja zelenih sekancev
- Na vseh 4 testnih območjih smo določili:

Ploskev 1
(0.25 ha)
Zeleni sekanci

Ploskev 2
(0.25 ha)
Okrogli les



- Pri vseh parih ploskev smo na:
- **Ploskvi 1:** pospeševanje proizvodnje sekancev, kar pomeni, da je bil zadnji prečni prerez pri večjem premeru (10-15 cm), krošnja pa je ostala cela
- **Ploskev 2:** pospeševanje okroglega lesa, zadnji prečni prerez je bil pri manjšem premeru 6-7 cm, kleščenje vej.



NANOS - SMREKA

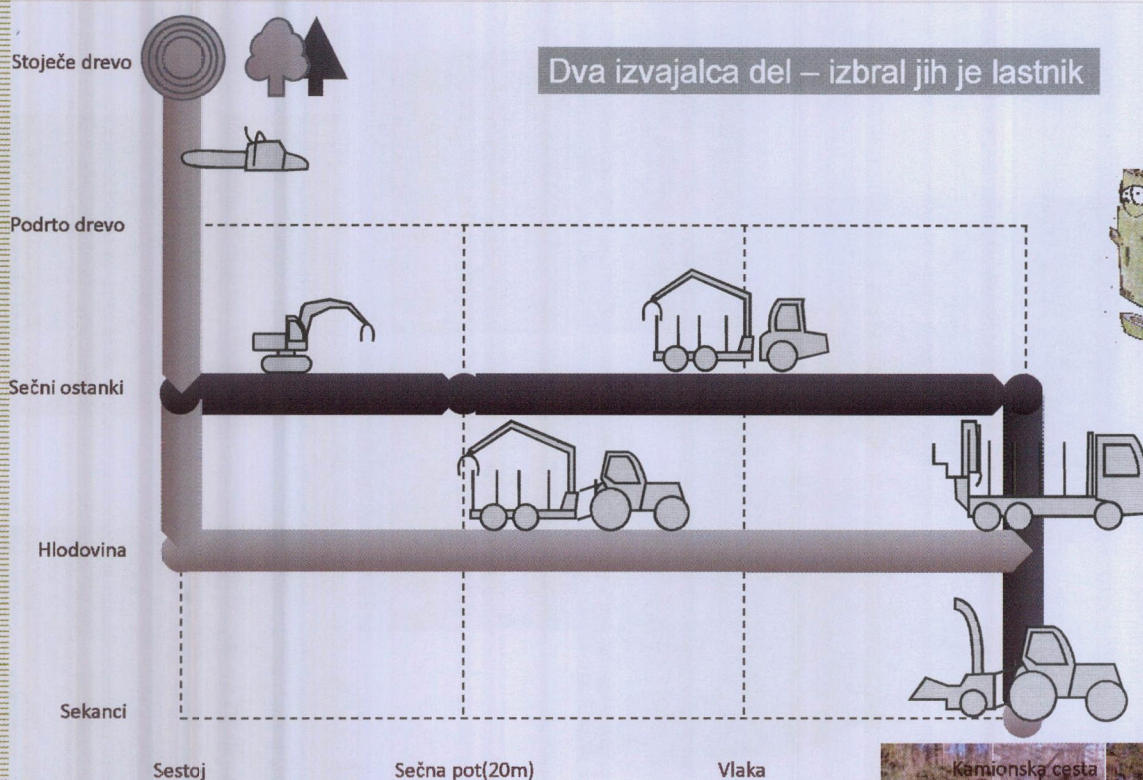


Osnovni podatki o ploskvah

	Ploskev 1 "Zeleni sekanci"	Ploskev 2 "Okrogli les"	Celotna delovišče
Lokacija	Flancovše - Nanos	Flancovše - Nanos	Flancovše - Nanos
Nadmorska višina (m.a.s.l.)	890 - 910	890 - 900	880-930*4
Površina ploskev (ha)	0.25 ha	0.25 ha	16.31 ha*4
Povprečni naklon (%)	18	17	15*4
Starost sestoja (years)	51	51	51*4
Lesna zaloga (m³/ha)	-	-	341*4
Število odkazanih dreves	121	114	6397*4
Intenziteta redčenj (%)	-	-	22.6
Št. posekanih dreves (št. dreves/ha)	484	456	392.2
Skupni posek (t/ha)*1	78.62	58.68	79.66
Delež zelenih sekancev v skupnem poseku (%)	26	25	25
Povp. premer posekanih dreves (d _{1,3}) (cm)*2	17.1	15.9	17.6
Posek okroglega lesa (m³, under bark)	18.81	14.37	1,188.98
Količina zelenih sekancev (nasut m³)	19.67	13.75	1,260
Gostota nasutja (kg/nm3)	263	262	/
Vsebnost vode v sekancih *3	40.4	44.4	43.2



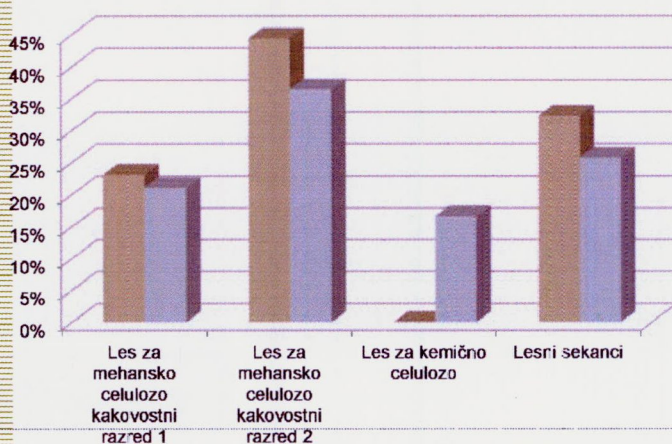
Tehnološki model: Nanos – smreka



Ekvivalenti okroglega lesa

- EOKL m^3_{ss} – ekvivalenti okroglega lesa v m^3 s skorjo (RWE)

	Drevesn a vrsta	Ploskev	Skupaj sortimenti (m^3_{ss})	Izdelani zeleni sekanci (EOKL m^3_{ss})	SKUPAJ (EOKL m^3_{ss})
Nanos	Smreka	P1	20,31	13,7	34,01
Nanos	Smreka	P2	16,3	5,1	21,4

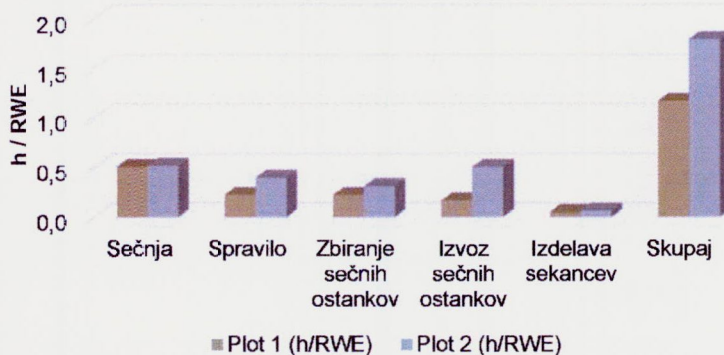


Struktura gozdnih lesnih sortimentov za drevesa s prsnim premerom 10-19 cm

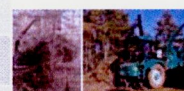


Produktivnost

Struktura produktivnega časa po delovnih fazah



- PRODUKTIVNOST (EOKL/h)	Ploskev 1	Ploskev 2
	“zeleni sekanci”	“okrogli les”
Sečnja	1.97	1.92
Spravilo z kmetijskim traktorjem in gozdarsko prikolico	4.44	2.52
Zbiranje sečnih ostankov	4.47	3.20
Spravilo sečnih ostankov	5.97	1.98
Izdelava sekancev	20.97	16.41



Produktivnost

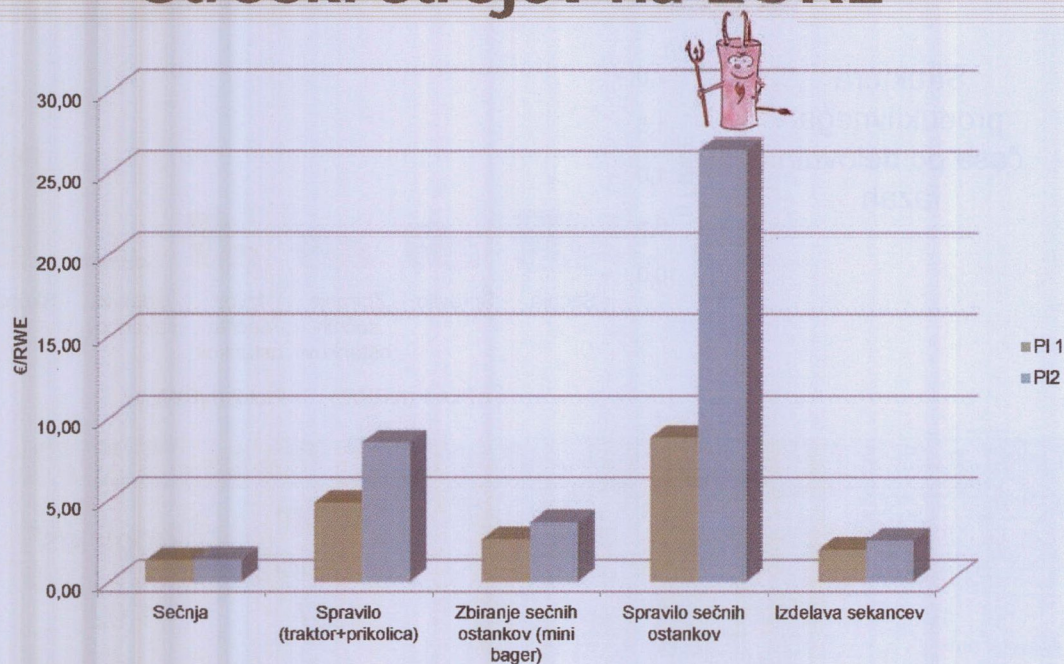
Produktivnost na ploskvi 1 je večja za 31,2 %

Najvišja razlika je v produktivnosti je v fazi spravila sečnih ostankov, saj je le ta na ploskvi 1 višja za kar 66,8 %.

Uporabo mini bagra lahko upravičimo z potrebo po zbiranju sečnih ostankov ob sečnih poteh, kjer jih lahko pobere zgibni prikoličar. Z to fazo dejansko povečamo produktivnost odvoza sečnih ostankov s prikoličarjem.



Stroški strojev na EOKL



Skupni neposredni str. strojev so na PL1 19,5 in 42,4 €/EOKL na PL2.



VREMŠČICA – ČRNI BOR

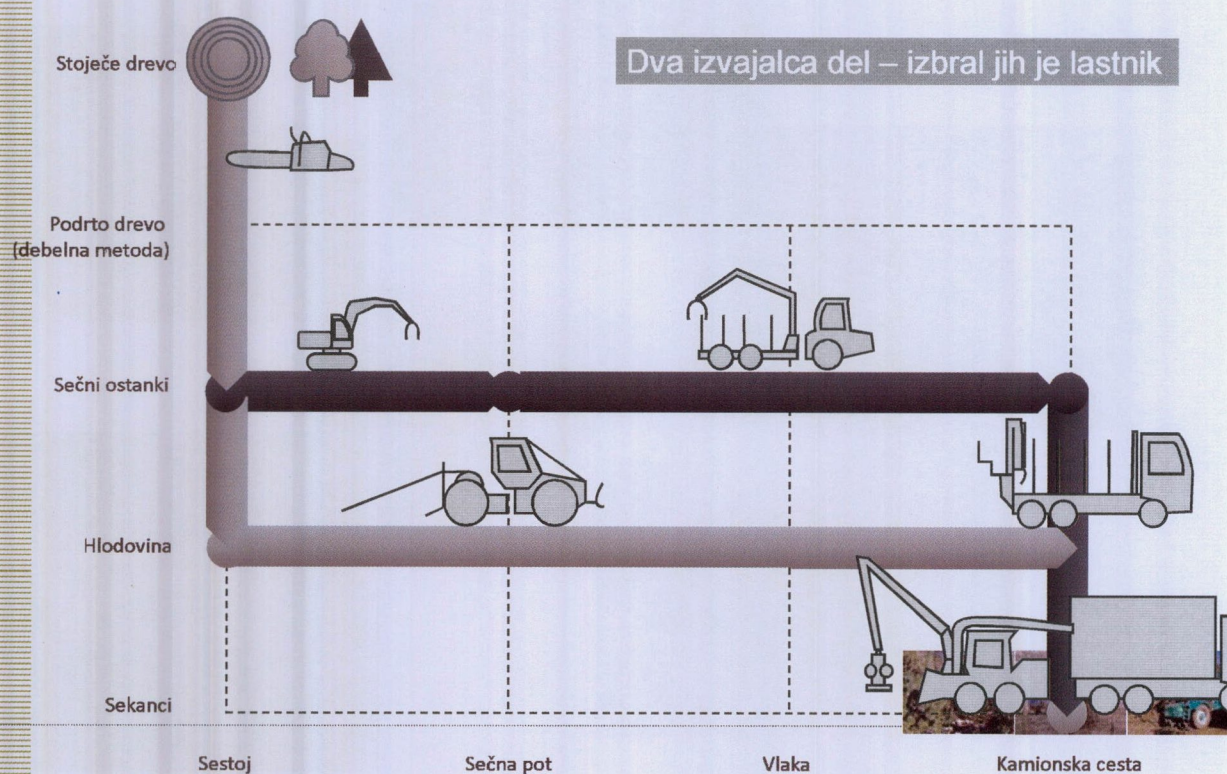


Osnovni podatki o ploskvah

	Ploskev 1 "Zeleni sekanci"	Ploskev 2 "Okrogli les"	Celotna delovišče
Lokacija	–Pod Vremščico	Pod Vremščico	Pod Vremščico
Nadmorska višina (nmv)	575-775	575-775	575-775
Površina ploskev (ha)	0,25	0,25	1
Povprečni naklon (%)	5	5	25
Starost sestoja (leta)	80	80	80
Lesna zaloga (m ³ /ha)	-	-	266
Intenziteta redčenj (%)	25	25	25
Št. posekanih dreves (št. dreves/ha)	128	300	(3382)* ²
Skupni posek (t/ha)* ¹	62,72	122	989,81 t* ^{1*2}
Delež zelenih sekancev v skupnem poseku (%)	25,83	22,33	/
Povp. premer posekanih dreves (d _{1,3}) (cm)* ²	28,31	25,93	26,63
Posek okroglega lesa (m ³ , under bark)	13,69	27,87	41,56
Količina zelenih sekancev (nasut m ³)	17,0808	20,7636	37,84
Gostota nasutja (kg/nm ³)	237	263	/
Vsebnost vode v sekancih * ³	17,1	25,9	21,5



Tehnološki model: Vremščica – črni bor



Ekvivalenti okroglega lesa

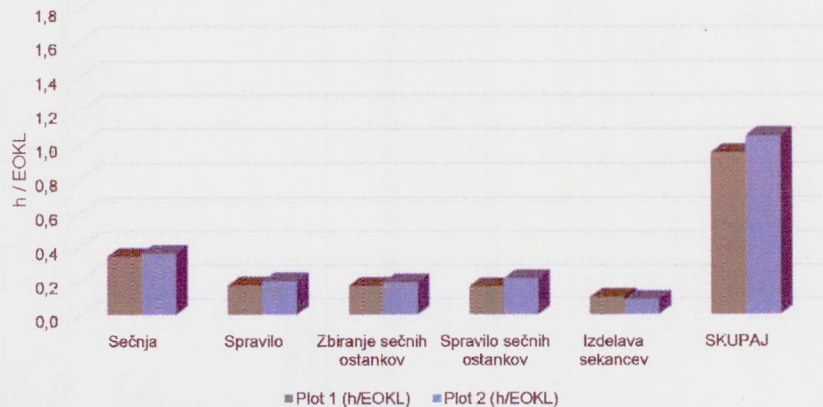
- EOKL m^3_{ss} – ekvivalenti okroglega lesa v m^3 s skorjo (RWE)

	Drevesn a vrsta	Ploskev	Skupaj sortimenti (m^3_{ss})	Izdelani zeleni sekanci (EOKL m^3_{ss})	SKUPAJ (EOKL m^3_{ss})
Nanos	Črni bor	P1	13,74	6,74	20,48
Nanos	Črni bor	P2	28,05	8,03	36,08



Produktivnost

Struktura produktivnega časa po delovnih fazah



PRODUKTIVNOST (EOKL/h)	"zeleni sekanci"	"okrogli les"
Sečnja	2,93	2,77
Spravilo z kmetijskim traktorjem in gozdarsko prikolico	5,78	5,09
Zbiranje sečnih ostankov	4,93	4,39
Spravilo sečnih ostankov	5,07	3,90
Izdelava sekancev	8,26	9,50



Produktivnost

Produktivnost na ploskvi 1 je večja samo za 5 %

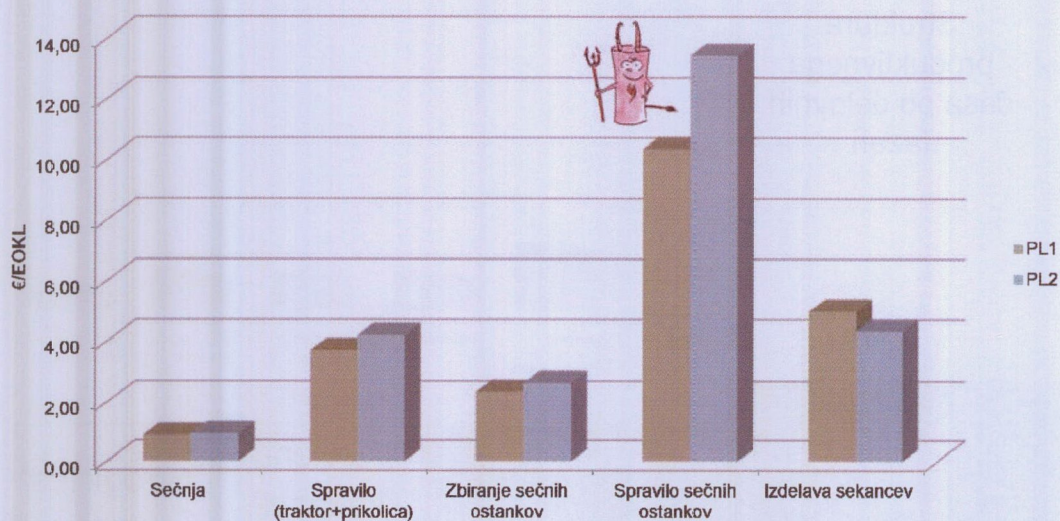
Najvišja razlika je v produktivnosti je v fazi spravila sečnih ostankov (29 %) in izdelavi sekancev (13 %)

Uporabo mini bagra lahko upravičimo z potrebo po zbiranju sečnih ostankov ob sečnih poteh, kjer jih lahko pobere zgibni prikoličar. Z to fazo dejansko povečamo produktivnost odvoza sečnih ostankov s prikoličarjem.

Pri izdelavi sekancev so veliki vrhači problem – več manipulacije in manjši učinki



Stroški strojev na EOKL



Skupni neposredni str. strojev so na PL1 22,29 in 25,57€/EOKL na PL2.

Večino stroškov pri proizvodnji sekancev predstavlja izvoz sečnih ostankov: 58 % na prvi ploskvi in 66 % na drugi



VREMŠČICA – ČRNI GABER

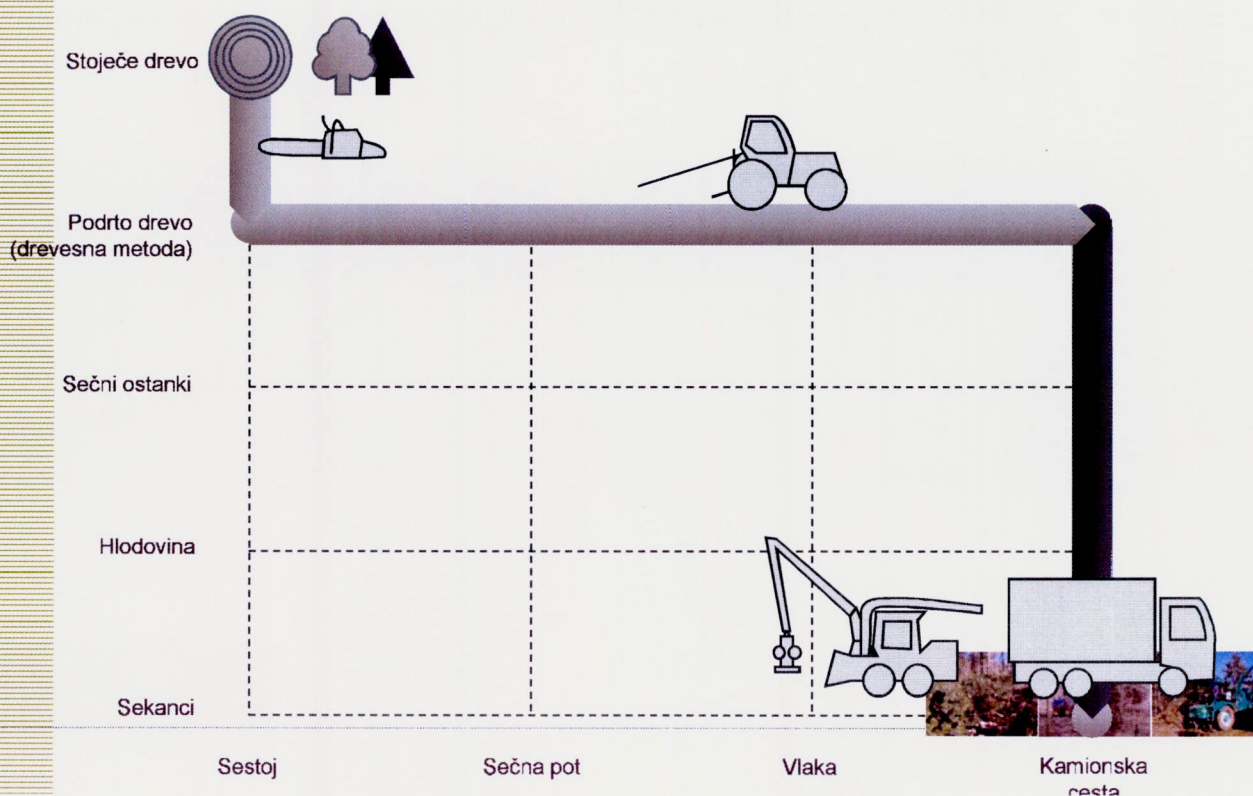


Osnovni podatki o ploskvah

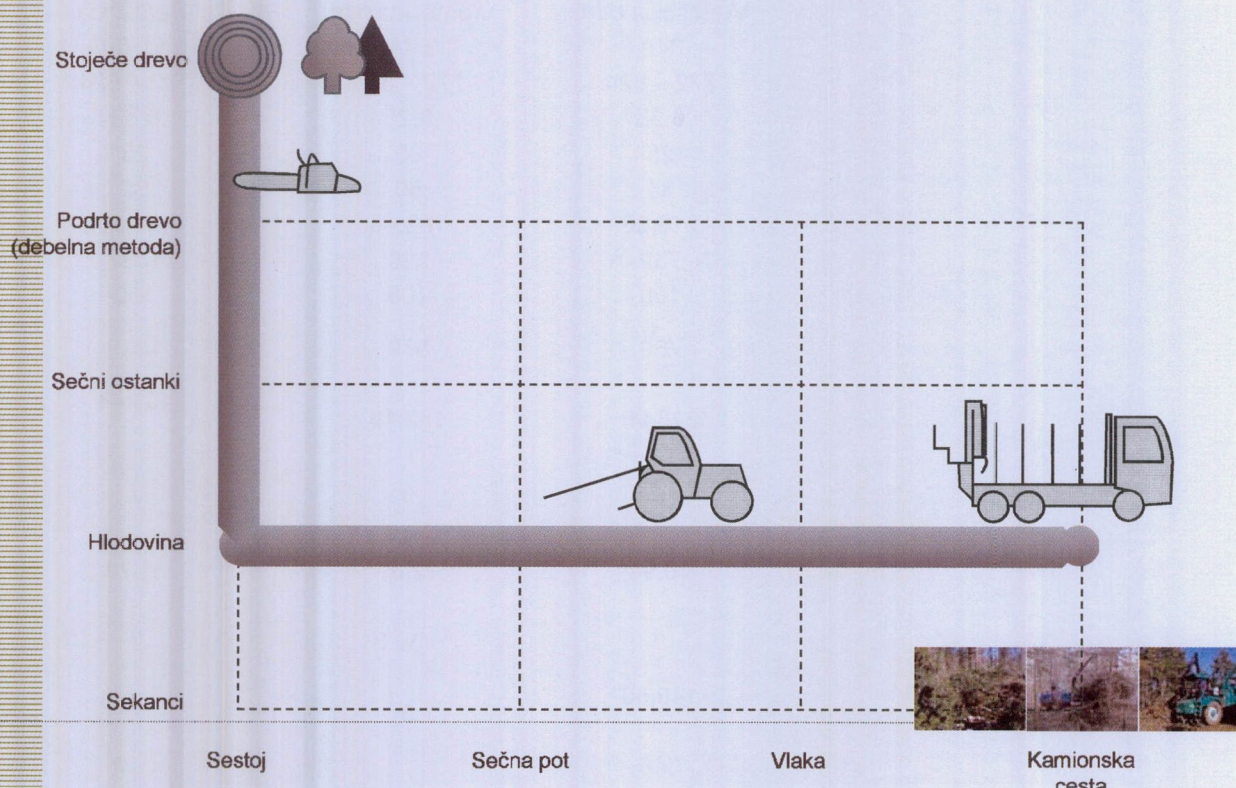
	Ploskev 1 "Zeleni sekanci"	Ploskev 2 "Okrogli les"	Celotna delovišče
Lokacija	Vremščica odd. 84A	Vremščica odd. 84A	Vremščica odd. 84A
Nadmorska višina (m.a.s.l.)	772 – 824	772 – 824	772 – 824
Površina ploskev (ha)	0,25	0,25	0,50
Povprečni naklon (%)	25	30	25
Starost sestoja (years)	80	80	80
Lesna zaloga (m ³ /ha)	218,96	182,48	149,38
Število odkazanih dreves	739	598	1337
Intenziteta (%)	100	100	100
Št. posekanih dreves (no. trees/ha)	760	579	1339
Skupni posek (t/ha)	218,96	182,48	401,44
zelenih sekancev v skupnem poseku Delež s (%)	100	0	/
Povp. premer posekanih dreves (d _{1,3}) (cm)* ²	10,94	12,69	11,73
Posek okroglega lesa (m ³ , under bark)	0	39,6	/
Količina zelenih sekancev (nasut m ³)	149,56	0	
Gostota nasutja (kg/nm ³)	366	/	/



PRINMER: Vremščica – ČRNI GABER – ploskev 1



PRIMER: Vremščica – ČRNI GABER– ploskev 2



Ekvivalenti okroglega lesa

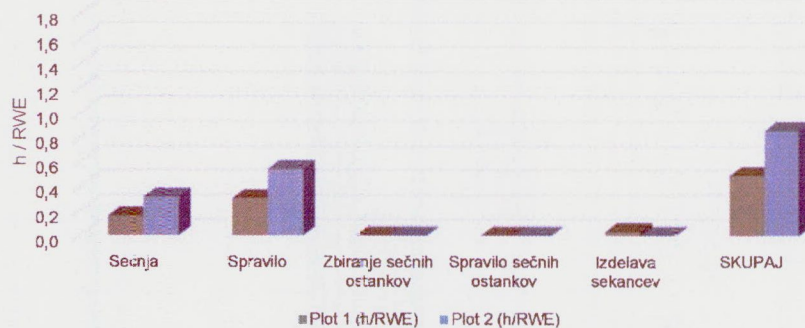
- EOKL m^3_{ss} – ekvivalenti okroglega lesa v m^3 s skorjo (RWE)

	Drevesn a vrsta	Ploskev	Skupaj sortimenti (m^3_{ss})	Izdelani zeleni sekanci (EOKL m^3_{ss})	SKUPAJ (EOKL m^3_{ss})
Gabrče	Črni gaber	P1	0	55,7	55,7
Gabrče	Črni gaber	P2	39,6	0	39,6



Produktivnost

Struktura produktivnega časa po delovnih fazah



- PRODUKTIVNOST (EOKL/h)	Ploskev 1	Ploskev 2
	“zeleni sekanci”	“okrogli les”
Sečnja	6,42	3,19
Spravilo z kmetijskim traktorjem in gozdarsko prikolico	3,31	1,85
Zbiranje sečnih ostankov	0,00	0,00
Spravilo sečnih ostankov	0,00	0,00
Izdelava sekancev	34,31	0,00



Produktivnost

Produktivnost na ploskvi 1 je večja samo za več kot 85 %

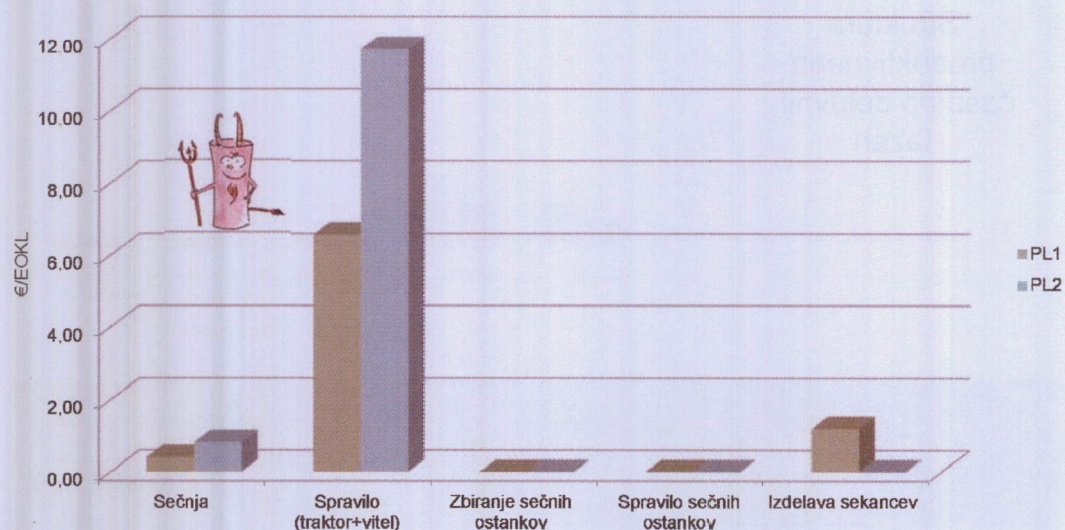
Najvišja razlika je v produktivnosti je v fazi sečnje (50 %) in spravila lesa (44 %)

Poleg analiziranih tehnoloških modelov, so možne tudi druge kombinacije.

Zaradi drevesne metode ni potrebno dodatno zbiranje sečnih ostankov



Stroški strojev na EOKL



Skupni neposredni str. strojev so na PL1 8,17 in 12,53 €/EOKL na PL2.

Izračunani neposredni stroški strojev **pri proizvodnji okroglega lesa** so 6,97 €/EOKL na ploskvi 1 oziroma 12,53 €/EOKL na ploskvi 2.



TRNOVO – MEŠANI GOZD



Osnovni podatki o ploskvah

	Ploskev 1 "Zeleni sekanci"	Ploskev 2 "Okrogli les"	Celotna delovišče
Lokacija	ODDELEK 30	ODDELEK 30	Trnovo
Nadmorska višina (m.a.s.l.)	772 – 824	772 – 824	772 – 824
Površina ploskev (ha)	0,25	0,25	/
Povprečni naklon (%)	10	25	10
Starost sestoja (years)	140	140	140
Lesna zaloga (m ³ /ha)	428	428	428
Število odkazanih dreves	33	39	/
Intenziteta redčenj (%)	/	/	22
Št. posekanih dreves (no. trees/ha)	132	156	/
Skupni posek (t/ha)* ¹	313,97	351,89	
Delež zelenih sekancev v skupnem poseku (%)	37,50%	15,11%	/
Povp. premer posekanih dreves (d _{1,3}) (cm)* ²	37,76	42,41	/
Posek okroglega lesa (m ³ , under bark)	53,39	77,81	
Količina zelenih sekancev (nasut m ³)	77,06	28,05	
Gostota nasutja (kg/nm ³)	382	474	/
Vsebnost vode v sekancih * ³	44,10	47,10	/

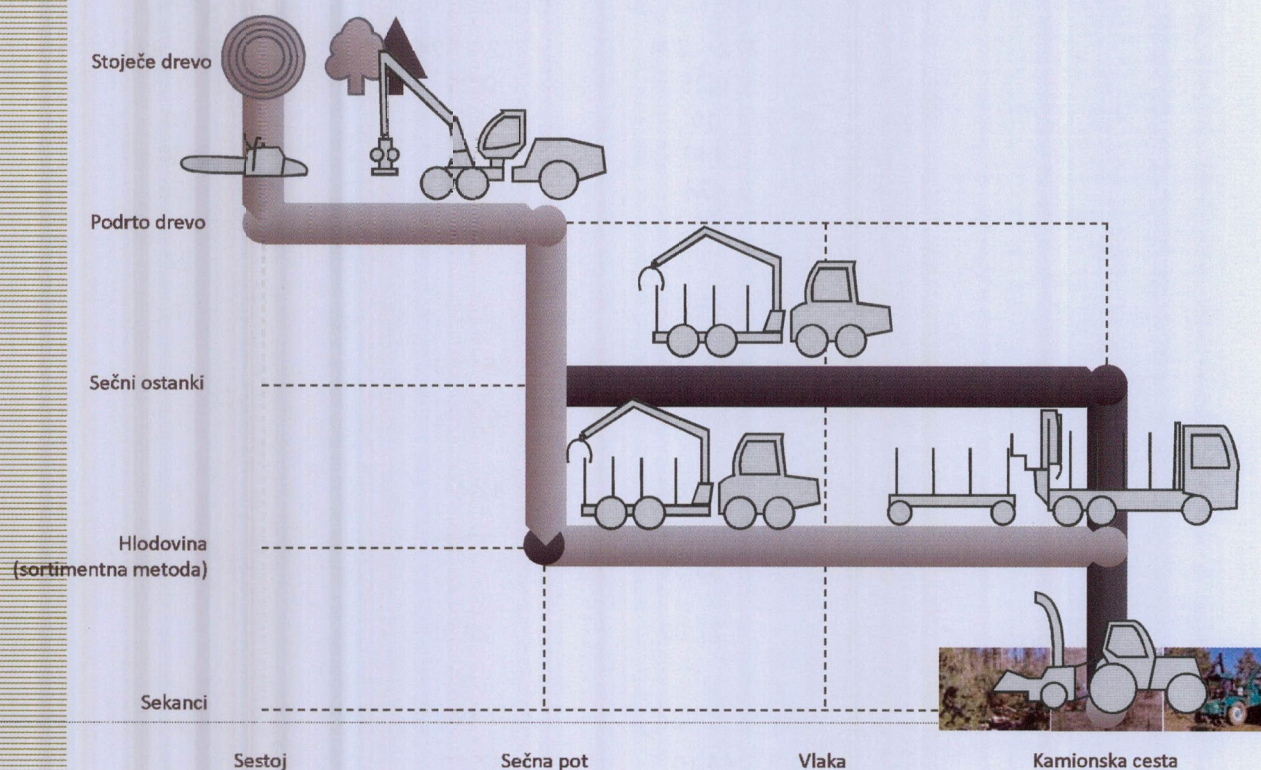
Ekvivalenti okroglega lesa

- EOKL m³_{ss} – ekvivalenti okroglega lesa v m³ s skorjo (RWE)

	Drevesna vrsta	Ploskev	Skupaj sortimenti (m ³ _{ss})	Izdelani zeleni sekanci (EOKL m ³ _{ss})	SKUPAJ (EOKL m ³ _{ss})
Nanos	Črni bor	P1	13,74	6,74	20,48
Nanos	Črni bor	P2	28,05	8,03	36,08

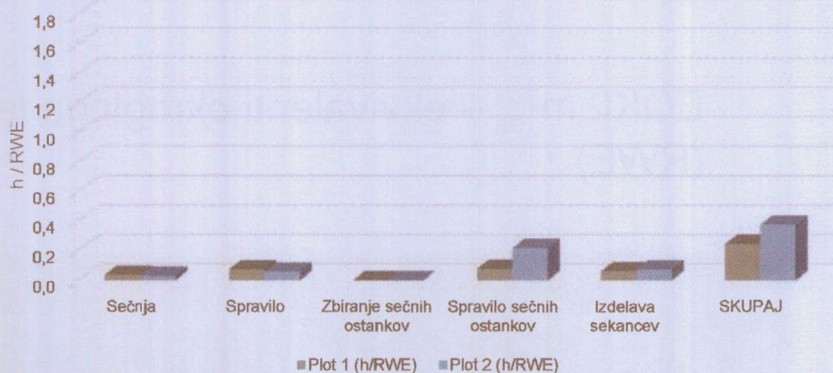


Primer: Trnovo – strojna sečnja



Produktivnost

Struktura produktivnega časa po delovnih fazah



PRODUKTIVNOST (EOKL/h)	Ploskev 1	Ploskev 2
	“zeleni sekanci”	“okrogli les”
Sečnja	28,41	33,15
Spravilo z kmetijskim traktorjem in gozdarsko prikolico	13,66	17,35
Zbiranje sečnih ostankov	0,00	0,00
Spravilo sečnih ostankov	12,89	4,56
Izdelava sekancev	16,35	13,70



Produktivnost

Produktivnost na ploskvi 1 je večja samo za 4 %

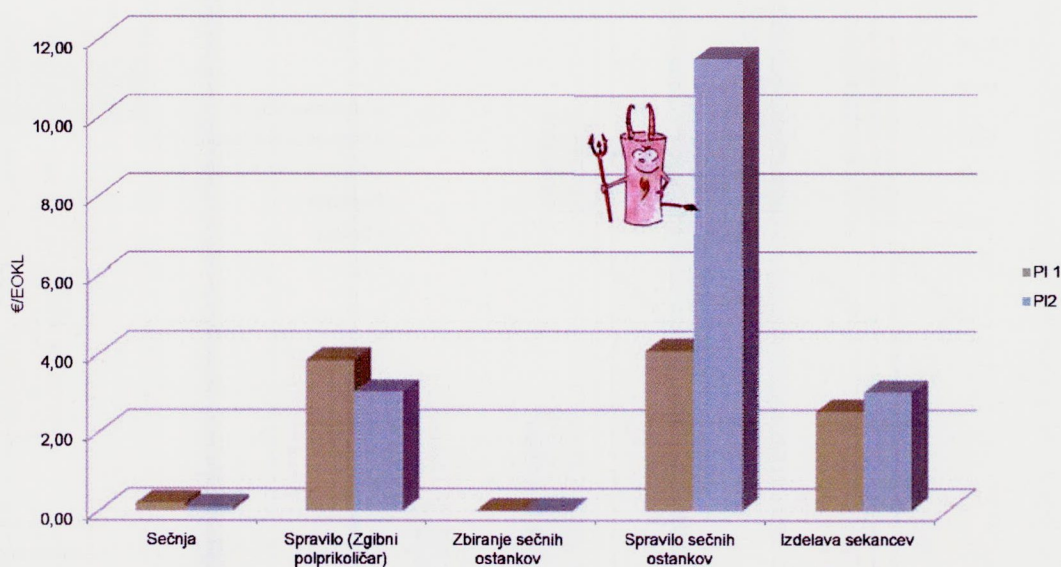
Najvišja razlika je v produktivnosti je v fazi spravila sečnih ostankov (64 %) in izdelavi sekancev (16 %)

Pri pospeševanju proizvodnje zelenih sekancev, se zmanjša produktivnost strojev za sečnjo in produktivnost zgibnega prikoličarja pri spravilu okroglega lesa

Produktivnost stroja za sečnjo je nižja na PL1 za 16 %; produktivnost zgibnega prikoličarja pa za 27 %



Stroški strojev na EOKL

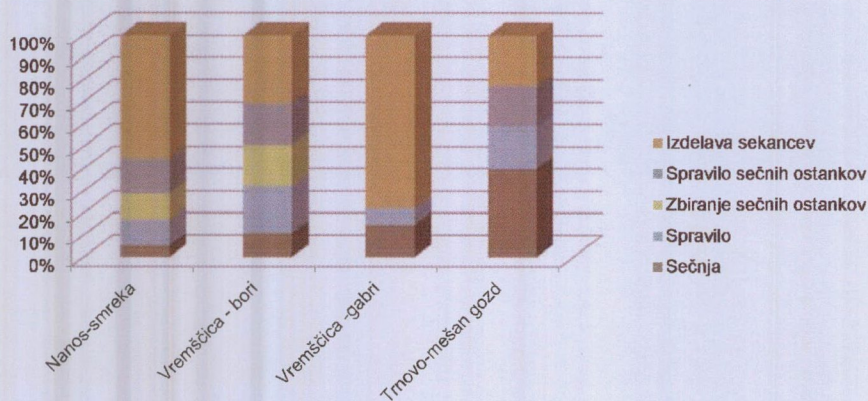


Skupni neposredni str. strojev so na PL1 10,62 in 17,61€/EOKL na PL2.

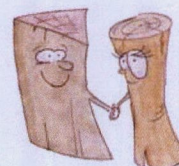
Izvoz sečnih ostankov predstavlja: 38 % na prvi ploskvi in 65 % na drugi



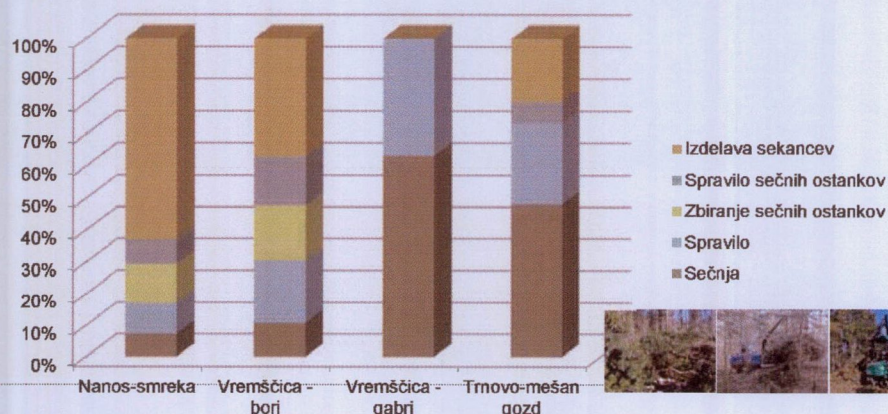
Struktura produktivnega časa



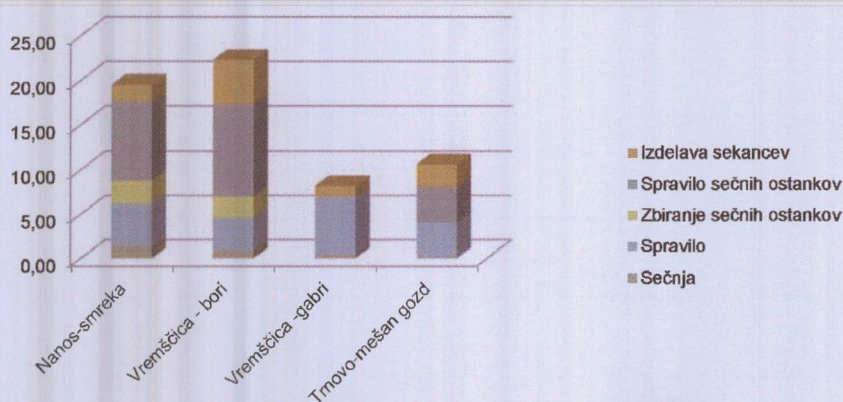
Ploskev 1 – zeleni sekanci



Ploskev 2 – okrogli les



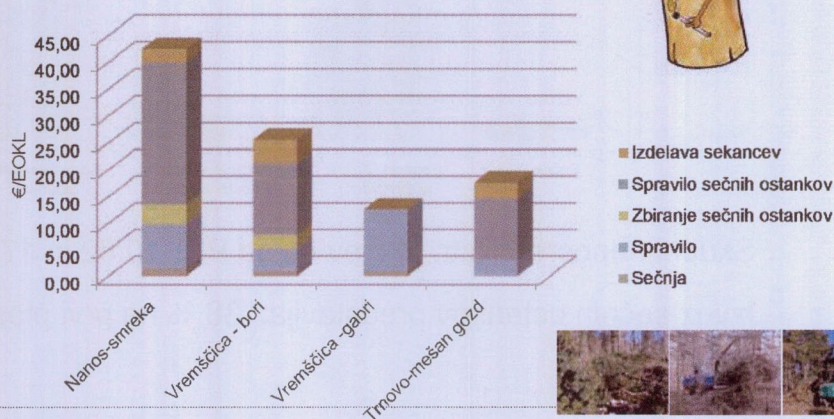
Struktura stroškov



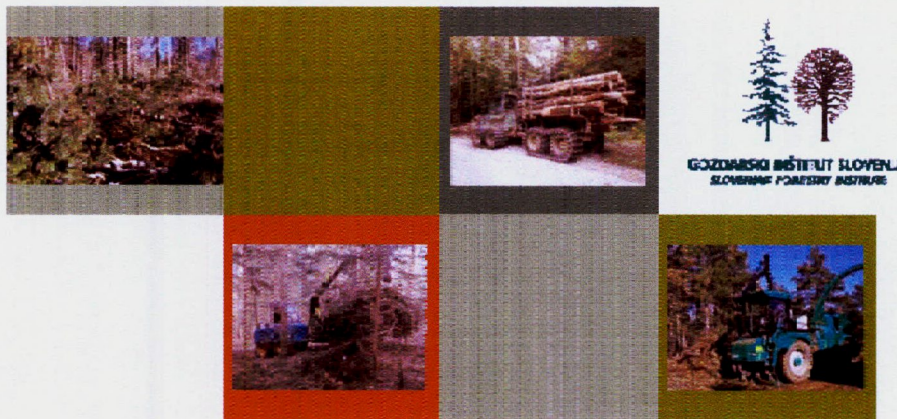
Ploskev 1 – zeleni sekanci



Ploskev 2 – okrogli les



Hvala za pozornost



Nike.krajnc@gozdis.si

WISDOM / SWEIS – GIS ORODJE ZA NAČRTOVANJE VIROV IN PORABE BIOMASE

Delavnica projekta NewFor:

Kakšne so možnosti optimizacije gozdne proizvodnje?

Ljubljana, 29. oktober 2013

mag. Rok Pišek

TRAJNOSTNA RABA GOZDNIH VIROV

- ▶ Lesna biomasa je široko dostopen obnovljivi vir energije
- ▶ Pred industrijsko revolucijo je imela najpomembnejšo vlogo pri oskrbi prebivalstva z energijo, danes pa se njen pomen ponovno povečuje.
- ▶ Zaradi uravnovešene bilance CO₂ ob predpostavki trajnostnega gospodarjenja z gozdom njena raba nima vpliva na klimatske spremembe.

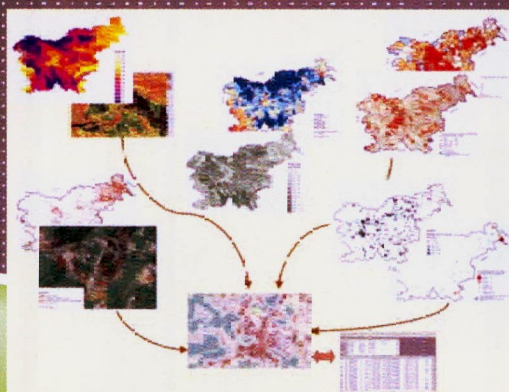
WISDOM METODOLOGIJA

- Pojem WISDOM je okrajšava za "Wood fuel Integrated Supply/Demand Overview Mapping" (WISDOM) in je metoda, ki temelji na georeferenciranih podatkih ter prikazuje in določa prioriteta območja pri oskrbi z lesno biomaso (<http://www.wisdomprojects.net/>).
- V Sloveniji se ideja razvija od leta 2004, ko je ZGS v sodelovanju s FAO izdelal prvi model po tej metodologiji (SWEIS).

WISDOM: STRUKTURA

■ Model sestavljajo naslednji moduli:

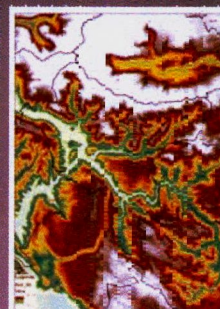
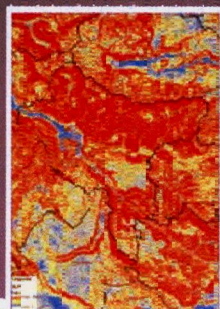
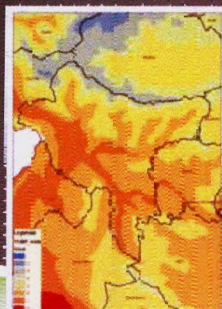
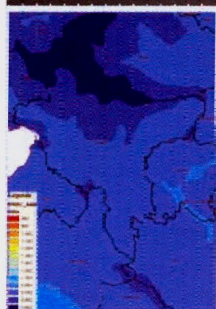
- modul OPIS (vektorski in rasterski podatki)
- modul VIRI (neposredni in posredni viri)
- modul PORABA
- modul INTEGRACIJA
- modul PREDNOSTNA OBMOČJA



MODUL OPIS

modul OPIS (vektorski in rasterski podatki)

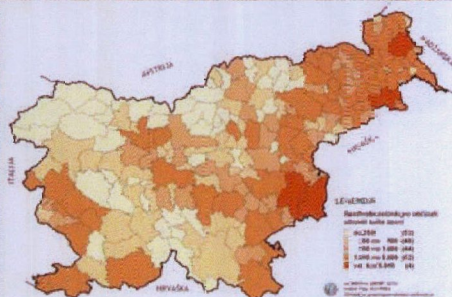
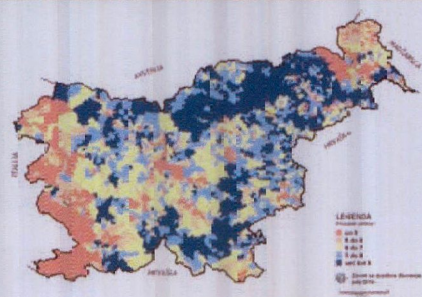
- digitalni model višin in naklonov
- temperatura, padavine
- cestno omrežje
- administrativne meje
- raba tal



MODUL VIRI

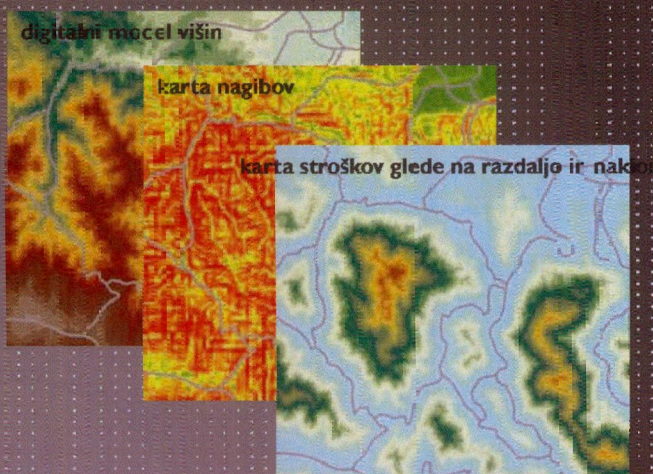
NEPOSREDNI VIRI:

- gozdovi (trenutni in možni posek),
- kmetijske površine (njive, sadovnjaki, vinogradi),
- zaraščajoče površine, parki, območja mešane rabe.

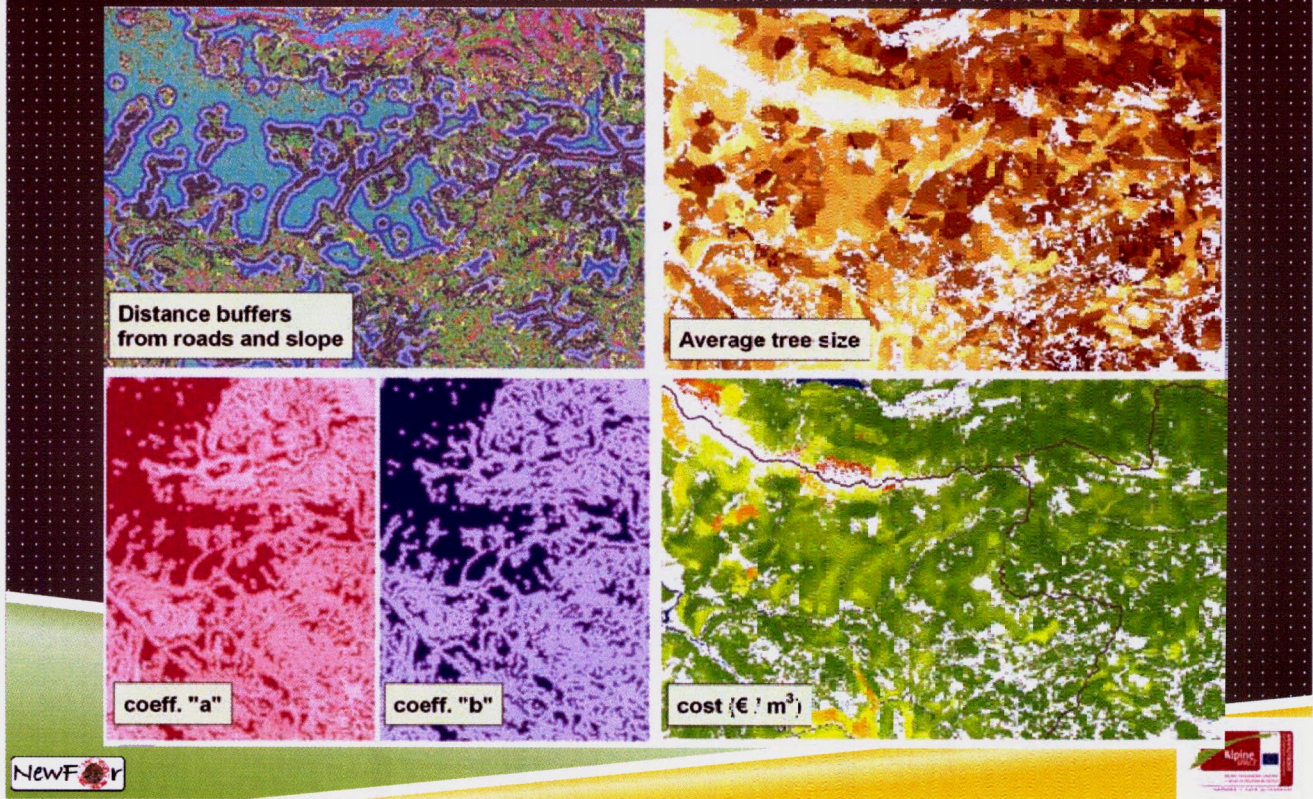


DOSTOPNOST LESNE BIOMASE

- Fizična dostopnost (teren)
- Pravna (ne)dostopnost (npr. zavarovana območja, gozdni rezervati)
- Delne omejitve dostopa ali rabe (npr. poudarjenost določenih funkcij gozda, vodovarstvena območja ipd.)



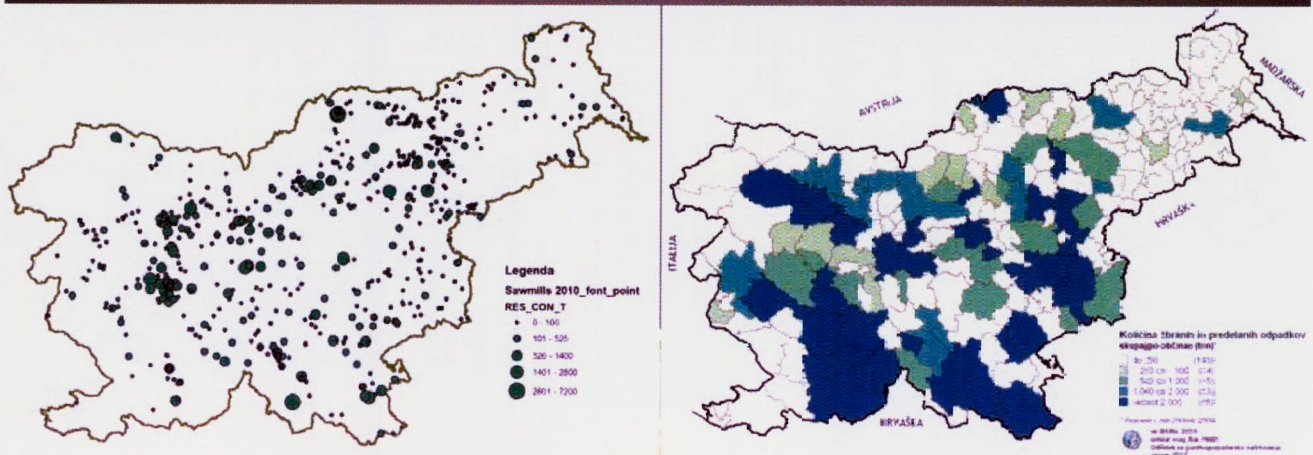
EKONOMSKA DOSTOPNOST VIROV BIOMASE



MODUL VIRI

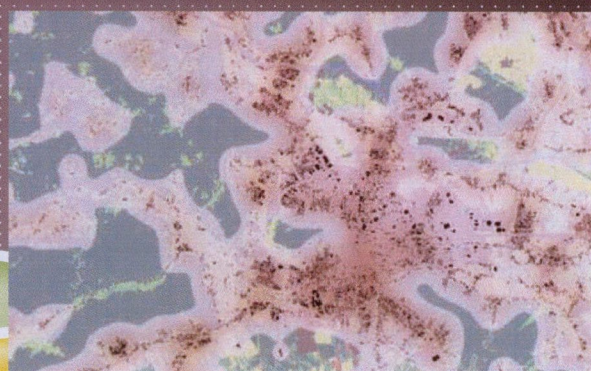
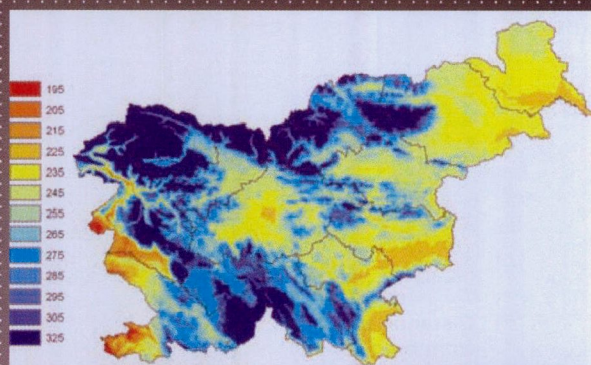
POSREDNI VIRI:

- Žagarski obrati in ostala lesnopredelovalna industrija (pomemben vir),
- Zbrana lesna biomasa na komunalnih deponijah,
- Uvoz lesne biomase.



WISDOM – MODUL PORABA

- **Gospodinjstva:**
 - podatki SURS
 - uporaba lesa za ogrevanje in kuhanje
- **Javni objekti**
- **Lesnopredelovalna industrija**
 - poraba za energijo pri proizvodnem procesu
 - vlakna, papirnice, tanir
- **Energetski sektor (elektrarne, ogrevalni sistemi)**
- **Izvoz lesne biomase**



NewFor

WISDOM – MODUL INTEGRACIJA

Bilanca med viri in porabo lesne biomase:

- analiza je narejena na nivoju piksla (kvadrat s stranico 25 m (625m²),
- možni so različni scenariji (ob trenutni porabi in sečnji, sečnja na nivoju možnega poseka ipd.),
- povzetek bilanc na poljubni ravni (občina, regija, država)
- jasno prikazana območja z večjim primanjkljajem ali viškom lesne biomase

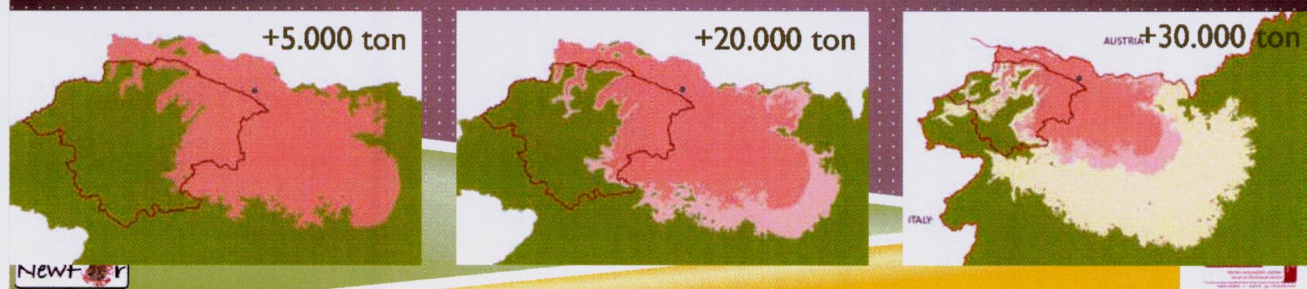


NewFor

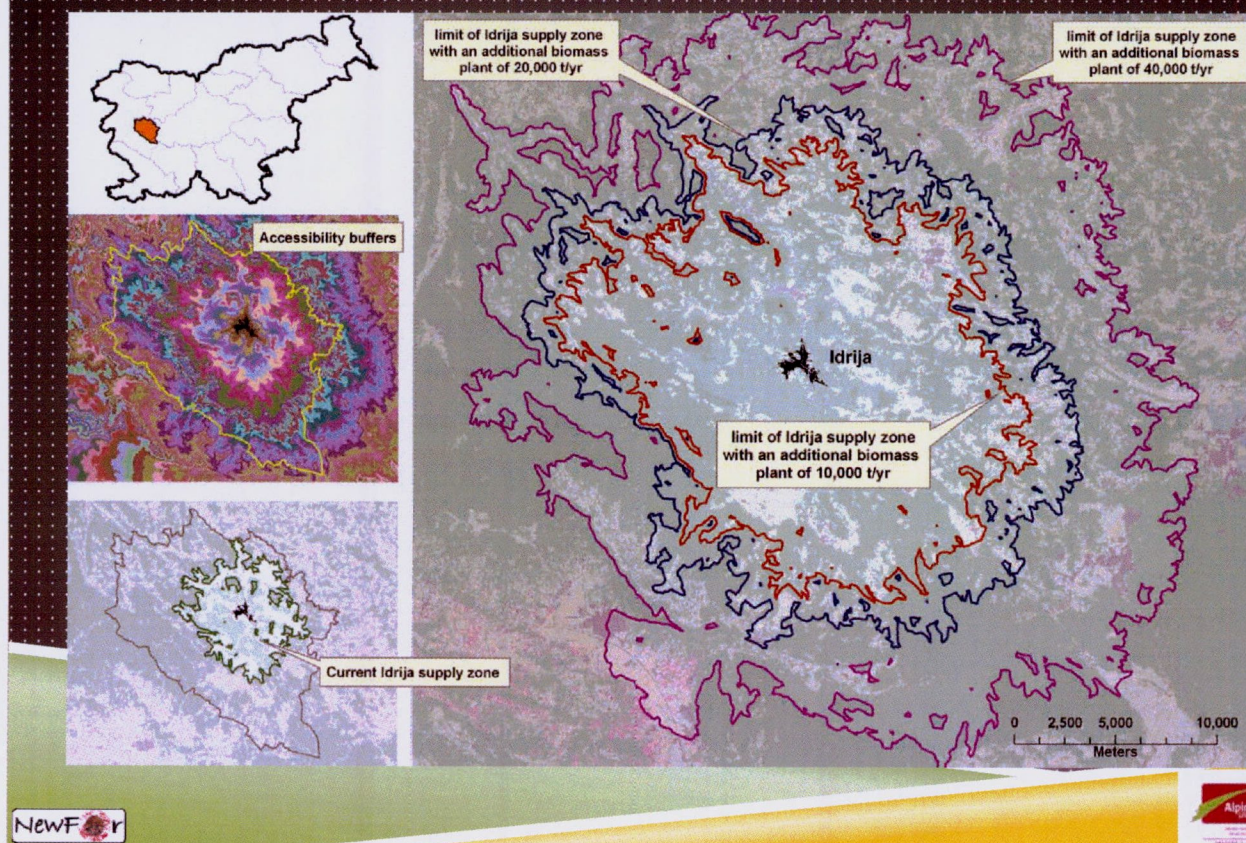
Alpine
Energy

NAČRTOVANJE PORABE BIOMASE

- Je pomembno orodje za analizo in podporo pri načrtovanju virov obnovljive energije na strateški in operativni ravni.
- Omogoča evaluacijo različnih scenarijev (trenutni posek, glede na možni posek in ob različnih porabah).
- Primer: dosegljivost lesene biomase za načrtovano novo daljinsko ogrevanje glede na območje Triglavskega narodnega parka.



NAČRTOVANJE PORABE BIOMASE – PRIMER 2



ZAKLJUČKI

WISDOM is je močno orodje v procesu odločanja:

- omogoča izdelavo celostne vizije načrtovanja lesno energijskih sistemov,
- je vezni člen med gozdarskim in energijskim sektorjem,
- omogoča opredelitev zanesljivih energetske politik in strategij.

Možen razvoj in uporaba v prihodnosti :

- Še večja integracija med gozdarskim, kmetijskim in energijskim sektorjem (skupno orodje),
- Omogočanje še boljšega dostopa drugih zainteresiranih uporabnikov do rezultatov (internet: <http://www.biomasa.zgs.gov.si/>).

NewFor



Hvala za pozornost!