

Poškodbe tal po strojni sečnji in spravilu lesa z zgibnim polprikoličarjem

Soil damage by harvesters and forwarders when cutting and skidding wood (CTL-technology)

Boštjan MALI¹, Boštjan KOŠIR²

Izvleček:

Mali, B., Košir, B.: Poškodbe tal po strojni sečnji in spravilu lesa z zgibnim polprikoličarjem. *Gozdarski vestnik*, 65/2007, št. 3. V slovenščini in izvlečkom in povzetkom v angleščini, cit. lit. 32. Prevod v angleščino Jana Oštir.

Avtorja obravnavata poškodbe tal po spravilu lesa z zgibnim polprikoličarjem po strojni sečnji. Izbrana sta dva objekta – na GE Mirna gora (dolomitna podlaga) in GE Radeče (silikatna podlaga). Na primeru Mirna gora je bila uporabljena metoda snemanja prečnih profilov na glavnih, stranskih in sečnih vlakah pred in po spravilu lesa ter merjenja nosilnosti tal s penetrometrom Dickey John. Na objektu Radeče so bili prečni profili posneti le po sečnji in spravilu, vendar je šlo v tem primeru za lažji in manj razgiban teren. Ugotavljana je bila tudi debelina sečnih ostankov na vlakah. Analize so pokazale spremembe v gostoti tal po spravilu lesa in pomen sečnih ostankov na vlakah. Globine kolesnic so bile primerjane z vrednostmi, ki veljajo v tujini za standardne.

Ključne besede: strojna sečnja, poškodbe tal, penetrometer, spravilo lesa

Abstract:

Mali, B., Košir, B.: Soil damage by harvesters and forwarders when cutting and skidding wood (CTL-technology). *Gozdarski vestnik*, Vol. 65/2007, No.3. In Slovene, with abstract and summary in English, lit. quot. 32. Translated into English by Jana Oštir.

The authors discuss soil damage after mechanized cutting followed by skidding with forwarder. Two research sites were chosen - one in the management unit GE Mirna gora (dolomite bedrock) and another in the unit Radeče (silicate bedrock). In Mirna gora data was recorded along transects on constructed skid roads, designated skid trails and harvester trails prior to and following skidding, and the soil bearing capacity was also measured using the penetrometer Dickey John. On the site at Radeče, data was recorded along transects only after cutting and skidding, but this was due to an easier and less configured terrain. The thickness of logging residues on trails was also determined. Analyses showed changes in soil density after skidding and pointed out the significance of logging residues on trails. Rut depth was compared to values which are standard abroad.

Key words: mechanized cutting, soil damage, penetrometer, skidding

1 UVOD

Sodobna tehnologija pridobivanja lesa se je v Sloveniji povsem uveljavila. Stroji, ki jih drugod uspešno uporabljajo že vrsto let so prišli v roke strojnikom in tehničnemu osebju s pomanjkljivimi izkušnjami z uporabo tovrstne tehnologije. Poleg povsem tehničnih in organizacijskih težav se pojavljajo predvsem dileme glede okoljske primernosti uporabe sodobnih strojev oz. primerjava med standardnimi tehnologijami in strojno sečnjo glede pglavitnih vplivov na okolje: poškodbe gozdnih tal in sestojev. Nekatera opažanja kažejo, da so pri uporabi strojne sečnje ponekod že prekoračili meje normalnih motenj v gozdnem okolju, pri čemer ne vemo, kaj je normalno in

si pri tem lahko pomagamo le s subjektivnimi ocenami. Vsekakor moramo stremeti k temu, da bomo v prihodnje z objektivnimi metodami določili meje negativnih vplivov in pogoje uporabe novih tehnologij, pri katerih ne bo prihajalo do pretiranih posledic v gozdu. Želeli bi že vnaprej ugotoviti povečano nevarnost pretiranih poškodb tal in ne le ugotavljati poškodbe za nazaj, takrat ko so že nastale. Več znanja o sposobnosti gozdnih tal za prenašanje obremenitev zaradi prometa po brezpotju je pomembno tudi za izbor strojev

¹ B. M. univ. dipl. inž. gozd. Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana

² prof. dr. B. K. univ. dipl. inž. gozd. Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire BF UL, Večna pot 83 Ljubljana

in njihovih značilnosti, kot je vrsta transmisije, kolesni oz. gosenični stroji, število in širina koles, širina gosenic, tlak na podlago. Ta razmišljanja so bila povod za raziskavo, ki jo v predstavljamo v tem prispevku (MALI 2006).

V raziskavi so nas zanimala poškodbe tal v povezavi z vplivnimi dejavniki in zlasti možni hitri in preprosti načini ugotavljanja poškodb na eni strani, ter primernosti razmer za strojno sečnjo pred pričetkom dela na drugi strani. Za mero poškodb smo vzeli spremembe v prečnem profilu med delom (globina kolesnic) ter spremembe gostote tal med delovnim procesom.

2 DOSEDANJE RAZISKAVE

2.1 Merjenje odpornosti tal

Odpornost tal lahko merimo po različnih pristopih. V literaturi raziskovalci največkrat opisujejo penetriranje tal, navidezno gostoto tal, prevodnost oz. prepustnost ter radiacijo tal. Penetriranje tal je merjenje odpornosti tal s pomočjo penetrometra. To je tudi najbolj pogost način ocenjevanja odpornosti tal, kjer s pritiskom na penetrometer ustvarimo silo, ki je potrebna, da potisne konico določene velikosti v tla (BRADFORD 1986, cit. po VAZ 2003). Navidezna gostota tal je definirana kot teža suhega trdnega telesa na prostorninsko enoto, ki ga pri določeni temperaturi posušijo v posebni pečici. Ta pristop zahteva zbirko talnih vzorcev, ki jih na ta način posušijo v laboratorijih. Prevodnost oz. prepustnost tal podaja razmerje, pri katerem voda ali zrak pronica skozi tla. V praksi ni tako pogosto uporabljena metoda. Še manj pogosta pa je verjetno metoda merjenja odpornosti tal preko radiacije. To je jedrsko površinska metoda, s katero merijo gostoto tal na podlagi v tla vsrkanih gama žarkov ali nevtronov. Za to metodo potrebujemo drago opremo, uporabniki pa morajo imeti licenco.

Poleg tega, da je penetriranje tal najbolj pogosta metoda merjenja odpornosti tal, je tudi enostavna in hitra (HÅKANSSON / VOORHEES 1998, cit. po MOTAVALLI et al. 2003). Izmere talne odpornosti, ki jih pridobimo s penetrometrom, se imenujejo konusni indeksi (ang. cone index). Ta indeks Američani podajajo v svojih enotah PSI (pound per square inch), v Evropi pa ga izražajo v kPa ali v MPa. Merjenje konusnega indeksa poteka

ob standardiziranemu nivoju vode v tleh, kot je to npr. poljska kapaciteta, ki izniči možne učinke na izmere tega indeksa zaradi razlik v različnih vsebnostih vode v tleh (HÅKANSSON / VOORHEES 1998, cit. po MOTAVALLI et al. 2003).

Nasičenost tal z vodo, ko odteče gravitacijska voda, imenujemo poljska kapaciteta (KOTAR 2005). Ponavadi je to okoli 24 ur po večjem deževju. Najboljši letni čas za meritve odpornosti tal s penetrometrom je spomladi, potem ko je bil ves talni profil skozi zimo popolnoma namočen.

Penetrometre lahko ločimo po obliki, velikost, ceni ter po tem kaj lahko merijo. Za meritve uporabljajo standardizirane velikosti igel, ki jih po potrebi lahko menjamo. Igle se razlikujejo po dolžini in premeru, ki določata koničnost oz. vršni kot igle. Za manj odporna in mehkejša tla ponavadi uporabljajo večjo in širšo iglo. Penetrometre lahko ločimo tudi glede na način uporabe. Lahko so ročni ali taki, ki jih priključimo na vozilo (npr. na traktor).

Klasični penetrometri imajo merilno številčnico s kazalcem, za razliko do novejših, ki imajo digitalni izpis izmere na ekran. Slednji lahko elektronsko shranijo odčitke globine ter konusnega indeksa za en ali več vzorčnih profilov. Nekateri penetrometri lahko poleg tega merijo še vlažnost tal.

Potreba po zmanjšanju tovrstnega človekovega dela je pripeljala do nedavno razvitih motoriziranih penetrometrov (LOWERY / MORRISON 2002, cit. po MOTAVALLI et al. 2003). Uporabljajo jih tam, kjer je potrebno večje število meritev in tam, kjer je razgiban teren. V ta namen lahko merijo različne parametre kot so vlažnost in odpornost tal ter so opremljeni s sistemom GPS.

2.2 Lastnosti tal

Konusni indeks, ki ga dobimo s penetriranjem, je odvisen od vrste dejavnikov, ki vplivajo nanj. Avtorji (GERARD et al. 1982, BRADFORD et al. 1986, O'SULLIVAN et al. 1987, VAZ / HOPMANS 2001, cit. po MOTAVALLI et al. 2003) navajajo predvsem naslednje dejavnike: vlažnost tal, tekstura tal, navidezna gostota tal, struktura tal, organska snov ter prisotnost peska in glin. Poleg naštetih dejavnikov Vaz (2003) navaja, da je odpornost tal odvisna še od vodnega potenciala v

tleh, agregacije in cementacije. Ostali avtorji dodajajo, da razlike v različnih izvedbah penetrometrov in njihova uporaba lahko privedejo do problema zaradi nekonsistentnega razmerja pri vbadanju ter zaradi sile trenja na penetrometer (FREITAG 1968, MULQUEEN et al. 1977, YOUNG et al. 2000, cit. po MOTAVALLI 2003).

Verjetno ima največji vpliv na odpornost tal vsebnost vode v tleh oz. vlažnost tal. Odpornost tal pada, ko vlažnost tal narašča, obratno pa velja, da odpornost tal narašča eksponentno s padanjem vlage v tleh (VAZ 2003). Z vlago v tleh je povezana tudi tekstura tal. Ta je določena z velikostjo mineralnih delcev ter njihovim deležem v tleh. Pri tem je pomembno kakšen delež zavzema glina. Večji delež gline v tleh namreč pomeni večjo vlažnost, ki vpliva na manjšo odpornost tal.

2.3 Motnje na gozdnih tleh

Stroj za sečnjo in zgibni polprikoličar se zaradi tehnoloških zahtev ter zaradi svojih tehničnih lastnosti gibljeta ne le po grajenih vlakah, ampak tudi po brezpotju. Stroja uvrščamo med težko mehanizacijo v gozdu, zato moramo poznati vrsto in obseg negativnih vplivov pri delu. Ker naravna tla (brezpotje) niso namenjena vožnji in spravi lu lesa so posebej občutljiva na vse mehanske vplive, do katerih prihaja pri vožnji mehanizacije. Carter, Rummer in Stokes (1997) navajajo, da pri tem prihaja do premeščanja zemeljskega materiala in lesnih ostankov na površju ter do sprememb lastnosti tal v površinskih in podpovršinskih talnih horizontih. Na vrsto in intenziteto motenj vpliva več dejavnikov, kot so talni tip, parametri stroja ter sečni sistem. Ocena motenj zaradi delovanja teh strojev je bistvenega pomena pri tveganju zaradi erozije, možnosti manjše produkcijske sposobnosti rastišč ter izgube estetske vrednosti. Te motnje tal so večinoma povezane z zbitostjo tal, manjšo infiltracijo in zračnostjo tal ter z večjo erozijsko občutljivostjo tal na strmejših terenih.

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

- z drugo potenco naklona v odstotkih,
- kot funkcija dolžine naklona terena,
- kot funkcija talnega faktorja erodibilnosti, ki je večinoma odvisen od finih talnih delcev,

- z deležem odkrite (gole) površine tal,
- z energijo dežja, kondenziranjem in časom.

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

Mehanske poškodbe gozdnih tal nastajajo kot posledica prometa in jih lahko delimo na tri sestavine: zbijanje tal, nastanek kolesnic in premeščanje tal (ŠUŠNJAR 2005). Že leta 1989 navaja podobno delitev Froelich, ki poleg tega pravi, da lahko te sestavine delujejo na gozdna tla ločeno ali skupaj, odvisno od talnih razmer in lastnosti stroja.

Zbitost so v laboratorijih proučevali kot funkcijo lastnosti tal (tekstura, vlažnost in specifična gostota tal) ter od povzročenege tlaka zaradi različnih tipov strojev, pri čemer je pomembna teža bremena, tlak v pnevmatikah pa tudi vrsta pnevmatik (SOANE et al. 1981, cit. po RICHARD et al. 1999, HORN 1988, cit. po RICHARD et al. 1999).

Z zbijanjem se povečuje gostota tal. Hkrati se zmanjšujeta poroznost in prostornina med strukturnimi agregati, s tem pa se manjša tudi propustnost tal za vodo. Povečanje gostote tal vpliva tudi na koreninski sestav rastlin. Zmanjšanje por in vlage v tleh namreč vodi k nedostopnosti hranil, ki je glavni vzrok zmanjšanja rasti rastlin (ŠUŠNJAR 2005). Tako lahko zbijanje gozdnih tal povzroči zmanjšanje rasti rastlin celo do 50 % na plitvih siromašnih tleh (WASTERRLUND 2003, cit. po ŠUŠNJAR 2005).

Kolesnici oz. kolovoz sta neelastični vdrtini, ki sta več kot 100 mm globoki (ne štejemo sloja humusa in drevesnega opada) in 0,5 m dolgi (SAARILAHTI 2002). Isti avtor navaja oceno po priporočilih gozdarskega razvojnega centra v Tapiu (Finska), da je delo na terenu še sprejemljivo, če povprečna globina kolovozov ne presega 0,1 m na več kot 10 % skupne dolžine vlak na delovišču.

O premeščanju tal govorimo, ko se zaradi vožnje stroja na gozdnih tleh fizično odrine površinska plast tal. To se dogaja praviloma pri vseh globjih kolesnicah, kjer prihaja tudi do mešanja talnih horizontov in s tem do uničenja naravne talne strukture.

Poškodbe tal niso odvisne le od lastnosti tal, temveč tudi od lastnosti strojev. V dosedanjih raziskavah avtorji navajajo, da različni parametri stroja kot so masa stroja, tlak v pnevmatikah, skupna obtežba stroja z bremenom in število prehodov vplivajo na spremembe v fizikalnih lastnostih tal (LENHARD 1986, GUO / KARR 1989, GREEN / STUART 1985, MEEK et al., cit. po CARTER / RUMMER / STOKES 1997).

Bygden, Eliasson in Wasterlund (2004) navajajo, da lahko s širšimi in mehkejšimi (z manj tlaka) pnevmatikami ali z gosenicami na kolesnem vozilu (stroj za sečnjo ali zgibni polprikoličar) zmanjšamo globino kolovoza do 40 %. Prav tako lahko tako zmanjšamo velikost konusnega indeksa na mestu kolesnic za okoli 10 %, čeprav gosence povečajo maso stroja za 10 -12 %.

Stopnja zbitosti tal je največja na mestu z največ prehodi. Največje povečanje v navidezni gostoti tal naj bi bilo po prvih štirih prehodih stroja (WEAVER / JAMISON 1951, cit. po KING / HAINES 1979).

2.4 Metode merjenj poškodb gozdnih tal

Šušnjar (2005) navaja, da za merjenje poškodb tal na gozdnih tleh ne obstajajo neke standardizirane metode meritev, ampak se v literaturi opisuje merjenje širine kolovoza, globine kolesnic ali površine preseka poškodovanega (voženega) profila tal.

Tako podobno metodo ugotavljanja poškodovanosti tal navajata tudi Košir in Robek (2000) in Saarilahti (2002).

3 METODE RAZISKAVE

3.1 Opis raziskovalnih objektov in tehnologij

a) Raziskovalni objekt v GE Mirna gora

Večji objekt raziskave se nahaja v oddelku 3 gozdnogospodarske enote Mirna gora, ki sodi v novomeško gozdnogospodarsko območje. Enota zavzema JV del roškega masiva. Ta se proti jugu in jugovzhodu spušča proti belokranjski nižini. Na tem območju gre večinoma za planotast kraški teren z vrtačami in grebeni. Letna količina padavin znaša okoli 1.400 mm, vendar zaradi podlage mlak, studencev ali ostale vode skoraj ne srečamo. Tla

v južnem delu enote se v primerjavi s severnim delom zelo razlikujejo. Prav tako to velja za vegetacijo. V južnem delu najdemo apnenčasto matično podlago, na kateri so se razvila rjava pokarbonatna tla. V severnem delu enote prevladujejo triadni in jurski dolomiti, na katerih so se razvile različne rendzine. Vegetacija, ki naseljuje južni del enote, so podgorski bukovi gozdovi na rastišču združbe *Hacquetio-Fagetum*, medtem ko na severnem delu prevladujejo jelovo bukovi gozdovi na rastišču *Abieti-Fagetum omphalodetosum*. V severnem delu je veliko sestojev spremenjenih zaradi močnih sečenj pred in po 2. svetovni vojni, ter zaradi obnov s sadnjo smreke na velikih površinah. Tudi sestoji v mejah raziskovalnega objekta, so posledica preteklega gospodarjenja. Tu je, namreč v času po prvi svetovni vojni, z gozdovi gospodaril grof Auersperg. Nekaj površin, ki so jih posekali na golo je Auersperg pogozdil s smreko, kar je vidno še danes.

Oddelek smo razdelili na 4 terensko in sestojno homogene enote-stratume. Povsod so prevladovali tanjši listavci. Naše meritve so potekale v stratumih II in III. V stratumu II, so opravili sečnjo z motornimi žagami in spravili les s prilagojenim traktorjem John Deere 4045 TL 272. V tem delu objekta so bile vse vlake predhodno zgrajene, vendar teren ni zahteval zahtevnih posegov. V stratumu III so opravili sečnjo s strojem za sečnjo Timberjack 1270 D in spravilo lesa z zgibnim polprikoličarjem Timberjack 1010 D. Vlake so bile označene in v manjšem delu tudi zgrajene. Spravilo lesa je potekalo pretežno navzdol in po ravnem, vendar so bili zaradi kraškega terena tu in tam znatni protivzponi.

b) Raziskovalni objekt v GE Radeče

Drugi raziskovalni objekt smo izbrali na ozemlju Jatna-Dole v oddelku 22, ki je del gozdnogospodarske enote Radeče, ki sodi v območno enoto Brežice. Strnjen gozd zavzema terene na nadmorski višini 680 do 850 m. Matična podlaga je lapor, ki od V proti Z prehaja v dolomit, vmes so tudi peščenjaki z znatno primesjo kremenca. Tla, ki so se razvila na laporju, so globlja ilovnata kislata tla, medtem ko na dolomitu prevladujejo plitva močno skeletna izprana tla. Ponekod je teren zaradi slabe strukture tal izpostavljen eroziji.

Oddelek predstavlja gospodarski razred bukovih gozdov na kislji podlagi spremenjeni z iglavci, kjer prevladujeta združbi *Quercus-Fagetum* var. *Luzula* in na dolomitu *Enneaphyllo-Fagetum*. Sestoji so bili v preteklosti posekani in spremenjeni v smeri smrekovih kultur s primesjo bora ter raznih listavcev. Del sestojev, kjer je potekala končna sečnja smrekovega sestoja, je bil naravno pomlajen z bukovim mladjem.

Sečnjo so opravili s težkim goseničnim strojem za sečnjo Königstiger, spravilo lesa pa z zgibnim polprikoličarjem Timberjack 1410 D. Vlake so bile predhodno označene, vendar se je kasneje izkazalo, da je potrebna še dodatna vlaka, kjer je nato potekalo samo spravilo lesa brez sečnje. Pomembna razlika je bila v tem, da na tej dodatni vlaki ni bilo sečnih ostankov, zato so bila tla občutljivejša na deformacije. Spravilo lesa je potekalo navzgor.

3.2 Predhodno snemanje profilov in nosilnosti tal

Ker nas je zanimalo kakšne so spremembe v obliki prečnega profila (poškodbe tal) in spremembe konusnega indeksa po končanem delu, smo v objektu Mirna gora, kjer je razgiban kraški teren, profile označili že pred sečnjo in spravilom. Za snemanje prečnih profilov smo uporabili lasersko vodno tehtnico, merilno lato, trasirko in sekaški meter.

Najprej smo zabili količek in od njega potegnili sekaški meter pravokotno na predvideno sečnospravilno pot do drevesa na nasprotni strani. Na količku in drevesu smo označili zaporedno številko profila. Vodno tehtnico smo postavili poleg količka in vključili laser. Pričeli smo s snemanjem terena. Na metru smo na razdalji 50 cm od količka naprej odčitali horizontalno, na merilni lati pa vertikalno razdaljo. Potek snemanja lahko vidimo na sliki 1. V stratumu II, kjer so opravili sečnjo z motornimi žagami in spravili les s prilagojenim traktorjem, smo sistematično na razdalji 50 m postavili 19 prečnih profilov. V stratumu III kjer je bila strojna sečnja, pa smo pred sečnjo in spravilom na razdalji 10 m sistematično postavili 114 prečnih profilov.

Na objektu Mirna gora smo nosilnost tal izmerili tako pred kot po sečnji in spravilu. Pred sečnjo smo izmerili nosilnost tal na treh mestih na predvideni vlaki. Prvo mesto so bila naravna tla v bližini količka, drugo je bila sredina profila in tretje mesto naravna tla na nasprotni strani prečnega profila. Za merjenje nosilnosti tal smo uporabili ročni penetrometer znamke Dickey John (slika 2). Ta ima merilno številčnico z dvema skalam, kjer odčitamo vrednost konusnega indeksa v ameriških enotah PSI (pound per square inch). Konusni indeks je v tesni korelaciji z nosilnostjo tal, ni pa identičen. Ameriške enote PSI smo nato pretvorili v kPa (1 PSI = 6,8948 kPa). Ker so bila tla na objektu v GE Mirna gora plitva, smo uporabili ožjo konico in odčitali vrednost konusnega indeksa na notranji skali. Ta je razdeljena na zeleno, rumeno in rdeče polje. Slednje pomeni dobro nosilna tla in zavzema vrednosti nad 300 PSI. Vrednost indeksa smo odčitali vedno na globini tal 20 cm.

Pri prvem snemanju terena smo poleg oblike profila izmerili tudi naklone terena. To so bili:

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

Naklone smo izmerili s padomerom znamke Suunto v navedenih smereh na razdalji 5 m. Izmerili smo jih zato, da bi analizirali vpliv konfiguracije terena na nosilnost tal.

3.3 Snemanje poškodovanosti tal

Ko sta bili sečnja in spravilo končani, smo opravili drugo snemanje profilov. Tokrat nismo snemali profila sistematično po 50 cm, ampak smo izmerili koordinate karakterističnih točk prečnega profila (slika 3).

Te točke so bile gledane od leve proti desni (slika 3): naravna tla, začetek grebena leve kolesnice, vrh grebena, začetek ugreznine leve kolesnice, največja globina leve kolesnice, konec ugreznine, vrh grebena, konec grebena, sredina profila itn. tudi na desni strani. Snemanje vertikalne in horizontalne razdalje je potekalo na enak način kot pri prvem snemanju. Na drugem snemanju nismo

merili naklonov terena, zato pa smo ocenili delež in količino sečnih ostankov na poti. Ponovno smo izmerili konusni indeks na mestu obeh kolesnic ter na sredini vlake.

Na objektu Jatna smo profile terena posneli le po končanem delu, vendar je tu prevladoval enakomerno nagnjen in nezahteven teren. Na tem raziskovalnem objektu smo na treh vlakah na enak način posneli 41 prečnih profilov. Na objektu Jatna smo konusni indeks izmerili le po sečnji in spravilu in to na naravnih tleh poleg vlake in na zgoraj opisanih točkah na vlakci.

3.4 Analiza poškodovanosti tal

Ker smo se morali prilagajati terenu in ker smo uporabljali laser za merjenje vertikalne višine na lati, smo morali višino stojala pri vodni tehtnici ves čas spreminjati. Te izmere za vertikalno višino smo morali poenotiti na isto višino. S tem so se spremenile samo absolutne vrednosti višin, relativne pa so ostale enake. Če smo hoteli dobiti pravo sliko prečnega profila, smo morali popraviti tudi višino. Na terenu smo vrednost za vertikalno razdaljo izmerili na lati in ne kot npr. nadmorsko višino na tleh. Tako smo pravzaprav dobili inverzno krivuljo terena. Ko smo popravili tudi to, smo lahko pravilno primerjali prečni profil s prvega in drugega snemanja.

Poškodovanost tal smo izrazili s koeficientom k_2 . Površino smo izračunali po formuli na osnovi razlik na abscisi in ordinati. Formula za izračun površine prečnega preseka profila:

$$P = (x_2 - x_1) \cdot (\min(y_2, y_1) + (\text{abs}(y_2 - y_1)/2))$$

Koeficient k_2 je kvocient med razliko površin (iz prvega snemanja (P_1) in površino prečnega preseka iz drugega snemanja (P_2)) in površino P_1 . Pove nam, kolikšen delež površine P_1 je bil poškodovan. Če je ta koeficient pozitiven, so bila tla odvezeta, če je negativen, pa so bila tla narinjena.

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

Na raziskovalnem objektu v GE Radeče smo posneli teren po končanem spravilu lesa, zato koeficienta poškodovanosti k_2 nismo mogli izračunati, lahko pa smo naredili analizo globine kolesnic

na treh vlakah. Naklon terena na tem objektu je bil dokaj konstanten, površina tal pa ravna. Zato smo prečnemu profilu, ki smo ga posneli po sečnji in spravilu dodali premico, ki povezuje začetek grebena na eni strani vlake in konec grebena kolesnice na drugi strani vlake (slika 4). Od te premice smo nato računali globino kolesnic.

4 REZULTATI

4.1 Analiza vplivnih dejavnikov v GE Mirna gora

Vse analize smo obdelali s programskim paketom Excel in SPSS. Pri tem smo v večini primerov naredili analizo variance, kjer pa nismo zadovoljili pogoju homogenosti varianc, smo uporabili Kruskal Walisov neparametričen test.

4.1.1 Konusni indeks v odvisnosti od vrste tal

Po opravljeni sečnji in spravilu smo kot prvo ugotovili, da je vpliv vrste tal na konusni indeks statistično značilen ($p = 0,004$). Pri tem je bila povprečna vrednost konusnega indeksa na grebenu 2.024 kPa, na ostalih tleh 1.974 kPa in v vrtači 1.775 kPa. Analiza je potrdila pričakovan rezultat, saj so tla na grebenu najbolj nosilna, medtem ko je v vrtači ravno obratno. Tam so tla globlja in mehkejša, saj se zemeljski material ob dežju izpira in kopiči v njej.

Potrdimo lahko tudi hipotezo, da so razlike med povprečnimi vrednostmi konusnega indeksa tal pred strojno sečnjo in spravilom ter po njem statistično značilne ($p = 0,000$). Z vožnjo teh strojev po naravnih tleh se tla zbijajo, oz. se povečuje navidezna gostota tal. Na sliki 5 lahko vidimo, da so povprečne vrednosti konusnega indeksa po sečnji in spravilu povsod narasle.

4.1.2 Konusni indeks v odvisnosti od smeri spravila

S testom smo odkrili, da vpliv smeri spravila statistično ni značilen. Ker je bila signifikantna vrednost ($p = 0,067$) blizu 0,05, smo testirali, če obstajajo razlike med dvema smerema. Pri tem smo ugotovili, da so razlike značilne med smerjo spravila navzgor in navzdol ($p = 0,032$). Vendar smo se vprašali zakaj je povprečna vrednost konusnega indeksa v smeri spravila navzdol večja kot v smeri spravila navzgor. Košir (2005)

namreč navaja, da se teža na zadnjo os poveča, ko pelje prazen traktor po vlaki navzgor, medtem ko pada pri vožnji navzdol. Podobno se dogaja pri polni vožnji. Odvisno od smeri spravila naj bi se povečal tudi pritisk na tla. Iz tega bi sklepali, da bo povprečna vrednost konusnega indeksa v smeri spravila navzgor večja.

Z meritvami in analizo smo dobili obrnjeno sliko pričakovanih rezultatov. Razlog za tak rezultat so različne lastnosti tal pri spravilu navzgor in navzdol. Kar 37 % profilov v smeri spravila navzgor (protivzponi) smo postavili v vrtačah, kjer so tla manj nosilna. Poleg vrste tal lahko iščemo razloge tudi v razlikah v globini, vlažnosti in teksturi tal, a te so pravzaprav v določeni korelaciji z vrsto tal.

4.1.3 Koeficient poškodovanosti tal k_2 v odvisnosti od naklona terena

Čeprav vpliva naklona terena na konusni indeks z analizo nismo dokazali, lahko potrdimo hipotezo, da je vpliv naklona terena na poškodovanost tal statistično značilen ($p = 0,043$). Naklone terena smo razvrstili v 5 razredov, enako kot so razvrščeni v normativih za gozdna dela (Ur.l. RS št. 11/99):

– ravno-blogo	do 10 %
– položno	11 – 20 %
– zmerno strmo	21 – 35 %
– strmo	36 – 50 %
– zelo strmo	nad 50 %

Na sliki 6 vidimo, da se z naklonom terena povečuje koeficient poškodovanosti tal k_2 . V prvih treh razredih (do naklona 35 %) je ta koeficient dokaj majhen, medtem ko se v razredu strmo zelo poveča. Naklonov strmejših od 50 % na tem objektu ni bilo.

Froelich in McNabb (1983, cit. po KOŠIR 1997) navajata, da je tlak stroja, ki se premika po brezpotju odvisen od obremenitve stroja (naložen ali prazen) pa tudi od naklona terena v smeri polne vožnje. Naklon poleg bremena torej dodatno vpliva na dinamični tlak. Ta se pri polni vožnji povečuje z naklonom. Na strmejših terenih, še posebej tam, kjer so tla slabo nosilna, lahko pričakujemo večje poškodbe tal.

4.2 Analiza vplivnih dejavnikov v GE Radeče

4.2.1 Konusni indeks tal v odvisnosti od vlake

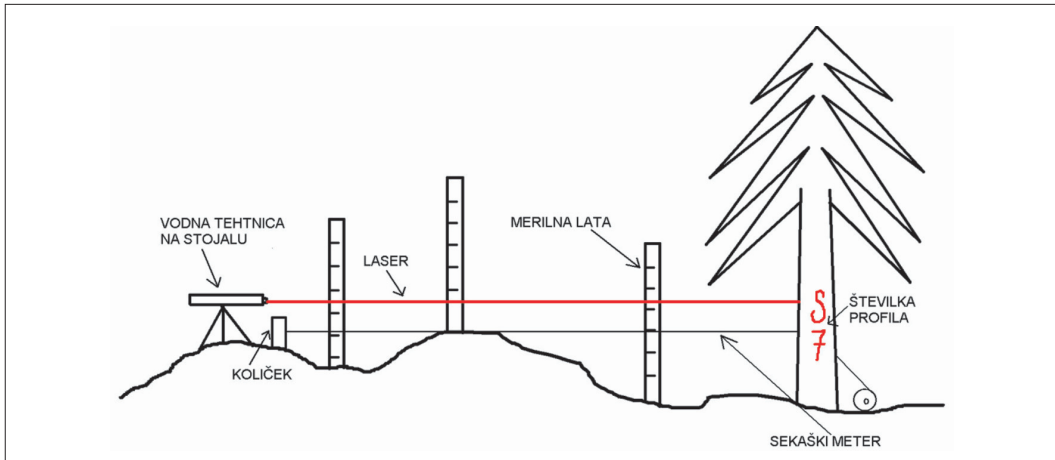
Na drugi vlaki so pred spravilom polagali sečne ostanke, zato smo pričakovali, da bo analiza pokazala razlike med prvo in drugo ter tretjo in drugo vlako. Z analizo smo značilne razlike res dokazali ($p = 0,009$), vendar smo s t.i. »post hoc« testom dokazali le razlike med prvo in tretjo vlako, med prvo in drugo pa ne. Vzrok je v razlikah v nosilnosti naravnih tal. Tudi te smo z analizo dokazali ($p = 0,003$). Zato smo kasneje vrednosti konusnega indeksa naravnih tal odšteli od vrednosti konusnega indeksa tal po spravilu in testirali razlike. Tokrat smo s testom odkrili, da so razlike konusnega indeksa značilne med prvo in drugo ter tretjo in drugo, kot smo prvotno pričakovali.

Na sliki 7 vidimo, da so relativne razlike v povečanju konusnega indeksa tal pri drugi vlaki najmanjše. Povprečne vrednosti konusnega indeksa so po sečnji in spravilu na prvi vlaki narasle za 46 %, na tretji vlaki za 34 % ter na drugi vlaki le za 6 %. Zaključimo torej, da so sečni ostanke na drugi vlaki zelo pripomogli k nosilnosti oz. k zmanjšanju zbivanja tal.

4.2.2 Globina kolesnic

Zaradi sečnih ostankov smo pričakovali, da bodo razlike v globini kolesnic med vlakami značilne. Te smo z analizo dokazali ($p = 0,039$) in izračunali še povprečno globino kolesnic na posamezni vlaki. Povprečna globina kolesnic na prvi vlaki je bila 22 cm, na drugi vlaki 13 cm in na tretji vlaki 23 cm.

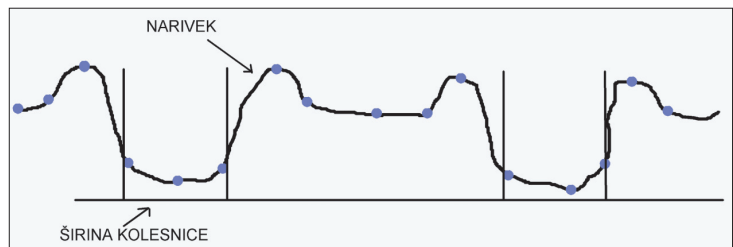
V slovenskem gozdarstvu nimamo meril za obremenitve gozdnih tal, zato ne vemo, kaj npr. globina kolesnic nad 20 cm pomeni za okolje. Uporabimo lahko priporočila iz tujine. Saarilahti (2002) priporoča, da globina kolesnic na vlakah ni sprejemljiva, če je večja od 10 cm, na več kot 10 % skupne dolžine vlak. Vendar se moramo zavedati, da terenske in sestojne razmere v Sloveniji še zdaleč niso take kot npr. na Finskem, zato moramo ta priporočila vzeti kot orientacijo in ne kot pravilo. V kasnejši raziskavi je finski raziskovalec sestavil model za presojo velikosti



Slika 1: Snemanje terena



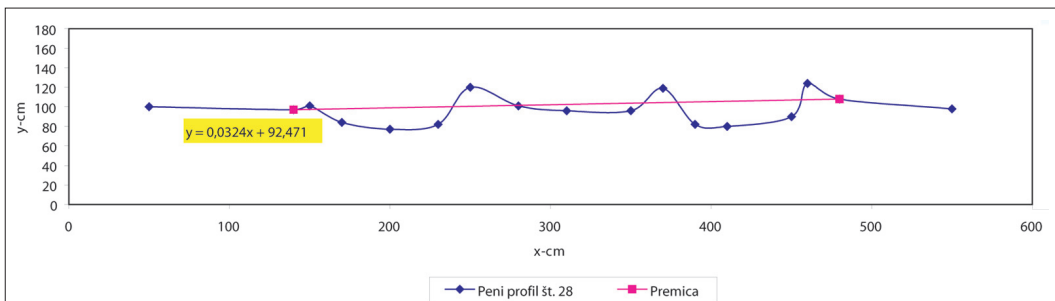
Slika 2: Ročni penetrometer Dickey John



Slika 3: Karakteristične točke prečnega profila

Preglednica 1: Rezultati meritev na vlakah objekta v GE Radeče

Vlaka	Naravna tla KPa	Vlaka po spravilu kPa	Globina kolesnice cm
1	1023	1494	21,98
2	1426	1512	13,30
3	1282	1717	23,23

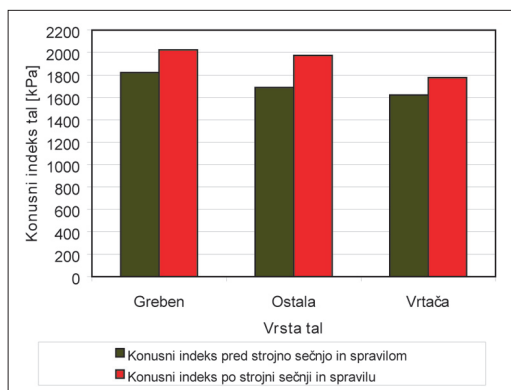


Slika 4: Prečni profil vlake z izravnavo za računanje globine kolesnic

motenj in zgornjo mejo sprejemljive globine kolesnic povšal na 20 cm.

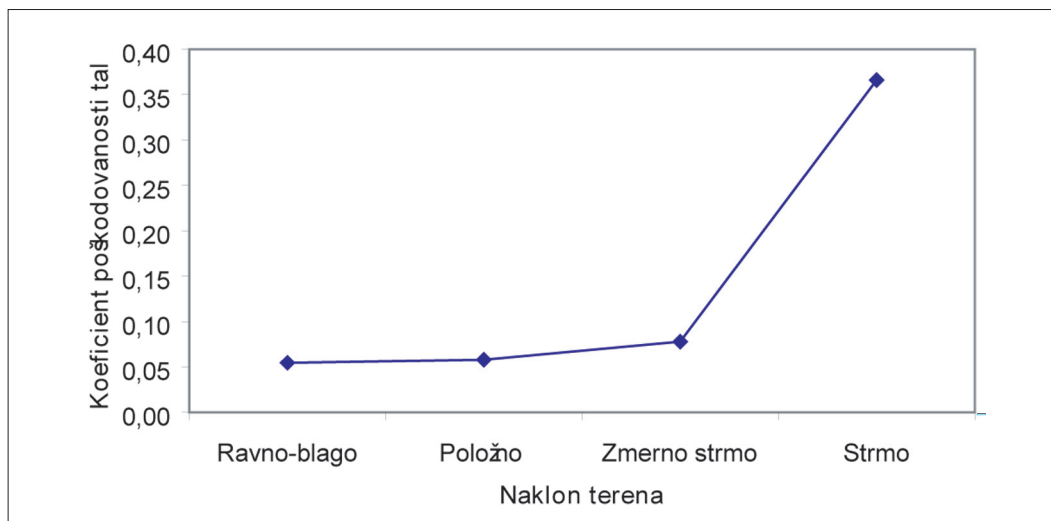
Po preglednici 2 lahko sklepamo, da so motnje na drugi vlaki manjše, medtem ko so motnje

na nenačrtovani prvi in načrtovani tretji vlaki nesprejemljive. Na drugi vlaki, kjer so polagali sečne ostanke, je znašala debelina le-teh ponekod tudi do 40 cm. Sečni ostanke ustvarijo armaturo,

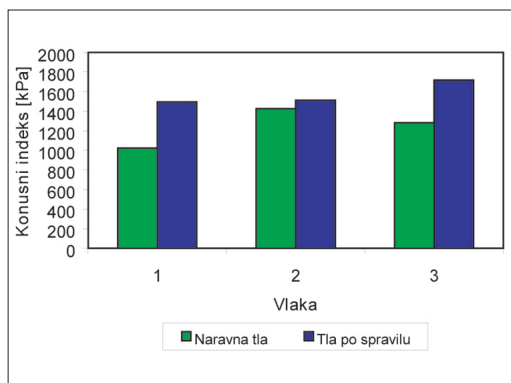


Slika 5: Povprečne vrednosti konusnega indeksa tal pred in po strojni sečnji in spravilu

ki poveča nosilnost tal na površini. Gozdna tla imajo manjšo nosilnost od tlaka strojev. Z novejšimi izvedbami strojev, ki imajo nižje težišče, širše pnevmatike z manj tlaka ter večje število koles, se tlak na tla manjša. Wronski (1980, cit po MCDONALD / SEIXAS 1997) navaja, da plast sečnih ostankov pripomore k zmanjšanju nastajanja kolesnic in povečanju nosilne kapacitete tal. Sečni ostanki so bistvenega pomena za zmanjševanje negativnih vplivov strojev na tla, vendar le, če so položeni na kolesnice in znaša potlačena debelina vsaj 10-15 cm (KOŠIR / ROBEK 2000).



Slika 6: Povprečne vrednosti koeficienta poškodovanosti glede na naklon terena



Slika 7: Konusni indeks naravnih tal in konusni indeks tal po spravilu



Slika 8: Globoke kolesnice na prvi vlaki (objekt Jatna)

Preglednica 2: Model za presojo velikosti motenj po Saarilahti-ju

Globina kolesnic [cm]	Delež površine s kolesnicami			
	Pod 10 %	10 – 20 %	20 – 30 %	Nad 30 %
Pod 5	Ni motenj	Ni motenj	Manjše	Velike
5 – 9,9	Ni motenj	Manjše	Velike	Resne
10 – 14,9	Manjše	Velike	Resne	Resne
15 – 19,9	Velike	Resne	Resne	Nesprejemljive
20 in več	Nesprejemljive			

5 RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI

Tla v Sloveniji so zelo različna po strukturi, globini in drugih znakih, ki vplivajo na njihovo večjo ali manjšo občutljivost na mehanske poškodbe zaradi prometa po brezpotju. Metoda ugotavljanja poškodb tal s prečnimi profili je primerna, saj nam nazorno prikaže obseg motenj in globine kolesnic, vendar terja precej terenskega in kabinetnega dela. Na večini terenov – za operativno rabo – ne bi bilo potrebno postavljati profilov pred pričetkom dela, temveč bi lahko meritve opravili samo po končanem delu oz. po zgledu objekta Jatna. S tem bi pomembno zmanjšali obseg terenskega dela. Težava ostane ocenjevanje količine sečnih ostankov na vlaki, vendar ta podatek ni vedno nujno potreben. Dovolj bi bilo morda, če bi debelino plasti sečnih ostankov ocenjevali z razredi (npr. do 10 cm, do 20 cm itd). Izogibati bi se morali nenačrtovanim vlakam za potrebe spravila lesa brez sečnih ostankov. V raziskavi nismo ugotavljali vlažnosti tal in natančne strukture, vendar so to parametri, ki jih bomo nujno vključili na naslednje raziskave, saj pomembno vplivajo na nosilnost tal. Številni parametri, ki jih lahko na poskusnih objektih ugotovimo z znanimi terenskimi in laboratorijskimi metodami pa so omejeno uporabni pri operativnem delu, kjer potrebujemo preprostejše in cenejše načine ugotavljanja potencialnih ali dejanskih sprememb v tleh. Iskanje praktičnih metod, ki bodo hitro in poceni omogočile napovedi velikosti možnih poškodb tal se bo zato nadaljevalo. Konusni indeks na globini 20 cm je ena od možnih metod, ki pokaže verjetnost nastanka neke globine kolesnic. Zaenkrat tudi razmišljamo, da bi globino kolesnic in obseg poškodb v deležu površine sečišča, sprejeli za osnovo presoje resnosti poškodb tal.

6 POVZETEK

Poškodbe tal pri sečnji in spravilu lesa s sodobno tehnologijo strojne sečnje smo proučevali z ugotavljanjem zbivanja tal po spravilu lesa na dveh objektih. Konec septembra 2006 je Gozdno gospodarstvo Bled d.d. v JV delu roškega masiva v GE Mirna gora izvedlo redčenje drogovnjakov z dvema tehnologijama. V enem delu sestojev so sečnjo opravili s strojem za sečnjo Timberjack 1270 D, spravilo pa z zgibnim polprikoličarjem Timberjack 1010 D. V drugem delu sestojev so opravili sečnjo z motorno žago, spravilo lesa pa s prilagojenim traktorjem John Deere 4045 TL 272. Na drugem objektu v oddelku 22 v GE Radeče je Gozdno gospodarstvo Brežice d.o.o. izvedlo končno sečnjo s težkim goseničnim strojem za sečnjo Königstiger in spravilo lesa z zgibnim polprikoličarjem Timberjack 1410 D. Nosilnost tal ter razlike v konusnem indeksu zaradi zbivanja po vožnji strojev po brezpotju smo ugotavljali s penetrometrom znamke Dickey John ter snemanjem profilov na vlaki ter ugotavljanjem globine kolesnic. Povprečna vrednost konusnega indeksa je znašala na grebenu 2024 kPa, na ostalih tleh 1974 kPa ter v vrtači 1775 kPa. Značilne so razlike v nosilnosti tal v odvisnosti od vrste tal kot tudi od časa pred ter po sečnji in spravilu. Značilen je vpliv naklona na poškodbe tal, ki so večje na strmejših terenih. Med tehnologijama nismo dokazali razlik v poškodovanosti tal, medtem ko obstajajo razlike v nosilnosti talne podlage. Pri klasični tehnologiji so bile vse vlake grajene. Na drugem objektu smo merili tri vzporedne vlake na blago nagnjenem pobočju. Povprečna globina kolesnic je znašala na prvi vlaki 21,98 cm, na drugi vlaki 13,30 cm ter na tretji vlaki 23,23 cm. Relativne razlike v povečanju konusnega indeksa so znašale na prvi vlaki 46 %, na drugi vlaki 6 %

ter na tretji vlaki 34 %. Prva vlaka je bila določena po sečnji, zato na njej ni bilo sečnih ostankov. Druga vlaka je bila zgledno pokrita s sečnimi ostanki, ki so povečali nosilnost površine tal in ugodno vplivali proti zbijanju tal. Skupna ocena je pokazala, da so bile poškodbe tal v GE Mirna gora zaradi dobro nosilnih tal zmerne, medtem ko so bile poškodbe tal objekta GE Radeče na prvi in tretji vlaki prevelike.

7 SUMMARY

Soil damage ensuing from cutting and skidding of wood with up-to-date technology was examined by determining soil compaction following skidding on two research sites. At the end of September 2006, the forest management company Bled d.d. carried out thinning of pole stands in the south-east part of the Rog hilly area in the forest management unit (GE) Mirna gora, using two technologies. In one part of the stands, cutting was performed by the harvester Timberjack 1270 D and skidding by the forwarder Timberjack 1010 D. In the other part of the stands, the wood was cut using chainsaws and skidded by the adapted tractor John Deere 4045 TL 272. On the second research site in compartment 22 in GE Radeče, the forest management company Brežice performed final cutting using the tracked harvester Königstiger and carried out skidding with the Timberjack 1410 D forwarder. Soil bearing capacity and differences in cone index due to compaction caused by machines driving off-road were determined with a Dickey John penetrometer and by recording data along transects and measuring rut depth. Average value of cone index on the ridge was 2024 kPa, on other ground 1974 kPa and 1775 kPa in the sinkhole. Characteristic differences in soil bearing capacity appeared in dependence on soil type and time (before or after cutting and skidding). Slope inclination characteristically influenced soil damage, which was greater on steeper slopes. No differences were stated between the two technologies in soil damage, but there were differences in soil bearing capacity. In traditional motor-manual technology all trails were constructed in advance.

On the second research site three parallel trails on an easy slope were compared. Average

rut depth on the first trail was 21.98 cm, on the second 13.30 cm and on the third trail 23.23 cm. Relative differences in cone index increase were 46 % on the first trail, 6 % on the second and 34 % on the third trail. The first trail was designated after cutting and carried no logging residues. The second was well covered with logging residues which increased the soil bearing capacity and favourably influenced soil compaction. An overall assessment showed that soil damage in the forest management unit (GE) Mirna gora was moderate because of the good soil bearing capacity, while soil damage in the research site GE Radeče was excessive on the first and third trail.

8 VIRI

- BYGDEN G., ELIASSON, L., WASTERLUND, I., 2004. Rut depth, soil compaction and rolling resistance when using bogie tracks. *Journal of Terramechanics*, 40: 179-190
- CARTER, E., RUMMER, B., STOKES, B., 1997. Site disturbances associated with alternative prescriptions in an upland hardwood forest of northern Alabama. An ASAE meeting presentation, paper no. 975013: 11 str.
- DIACI, J., MAGAJNA, B., 2002. Nekatere predhodne gozdnogojitvene usmeritve pri uvajanju strojne sečnje v Sloveniji. V: *Strojna sečnja v Sloveniji – zbornik ob posvetovanju*. Ljubljana, Gospodarska zbornica Slovenije, Združenje za gozdarstvo: 33-47
- DRŽAJ, A., 2005. Strojna sečnja v sestojih listavcev: delavnica o strojni sečnji, Točka 1, Oddelek 3, Gozdnogospodarska enota Mirna gora, Krajevna enota Črnomelj, Območna enota Novo mesto, 16.9.2005. Novo mesto, Zavod za gozdove
- DUIKER, S. W., 2002. Diagnosing soil compaction using a penetrometer. *Pennsylvania, Pennsylvania state college of agricultural science research*: 3 str.
- EKWUE, E. I., STONE, R. J., RAMPHALIE, S., 2002. Engineering properties of some wetland soils in Trinidad. *Journal of Agricultural Engineers Research*, 18, 1: 37-45
- FROEHLICH, H. A., 1989. Soil damage, tree growth, and mechanization of forest operations. V: *Proceedings of the seminar on the Impact of mechanization of forest operations to the soil*. Louvain-la-Neuve, Belgija, 11-15 September. Brussels, Ministry of agriculture: 77-82
- Gozdnogojitveni in sečnospravilni načrt za Magolnik,

- Odsek 08022, Gozdnogospodarska enota Radeče, Krajevna enota Radeče. 2005. Brežice, Zavod za gozdove Slovenije, Krajevna enota Radeče, Območna enota Brežice. September
- GRUNWALD, S., LOWERY, B., ROONEY, D. J., MCSWEENEY, 2001. Profile cone penetrometer data used to distinguish between soil materials. *Soil and Tillage Research*, 62: 27-40
- KING, T., HAINES, S., 1979. Soil compaction absent in plantation thinning. *Southern forest experiment station Research Note*, S0-251: 4 str.
- KOŠIR, B., 1997. Pridobivanje lesa: študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 330 str.
- KOŠIR, B., ROBEK, R., 2000. Značilnosti poškodb drevja in tal pri redčenju sestojev s tehnologijo strojne sečnje na primeru delovišča Žekanc. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 62: 87-115
- KOŠIR, B., 2002a. Tehnološke možnosti strojne sečnje. V: *Strojna sečnja v Sloveniji – zbornik ob posvetovanju*. Ljubljana, Gospodarska zbornica Slovenije, Združenje za gozdarstvo: 7-20
- KOŠIR, B., 2002b. Vpliv strojne sečnje na sestoj in gozdna tla. V: *Strojna sečnja v Sloveniji – zbornik ob posvetovanju*. Ljubljana, Gospodarska zbornica Slovenije, Združenje za gozdarstvo: 66-82
- KOŠIR, B., MARENČE, J., JEJČIČ, V., POJE, T., 2005. Določanje tehničnih značilnosti pri traktorskem spravilu – osnova za izbiro traktorja. V: *Formec 2005*. Ljubljana, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire – Biotehniška fakulteta: 43-55
- KOTAR, M., 1977. *Statistične metode*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo, 374 str.
- KOTAR, M., 2005. *Zgradba, rast in donos gozda na ekoloških in fizioloških osnovah*. Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije in Zavod za gozdove Slovenije, 500 str.
- KRČ, J., 2002. Sestojne in terenske možnosti za strojno sečnjo v Sloveniji. V: *Strojna sečnja v Sloveniji – zbornik ob posvetovanju*. Ljubljana, Gospodarska zbornica Slovenije, Združenje za gozdarstvo: 21-32
- LEUNG, Y., MEYER, K., 2003. Soil compaction as indicated by penetration resistance: a comparison of two types of penetrometers. *Tehnology for Resource Management*: 370-375
- MALI, B. 2006. Poškodbe tal po sečnji s strojem za sečnjo in spravilu lesa z zgibnim polprikoličarjem, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, dipl. delo, Ljubljana, s.61.
- MOTAVALLI, P. P., ANDERSON S. H., PENGTHAMKEERATI, P., GANTZER, C. J., 2003. Use of soil penetrometers to detect the effects of compaction and organic amendments in claypan soils. *Soil and Tillage Research*, 74: 103-114
- MCDONALD, T. P., SEIXAS, F., 1997. Effect of slash on forwarder soil compaction. *Journal of Forest Engineering*, 8, 2: 15-26
- RICHARD, G., BOIZARD, H., ROGER-ESTRADE, J., BOIFFIN, J., GUÉRIFF, J., 1999. Field study of soil compaction due to traffic in northern France: pore space and morphological analysis of the compacted zones. *Soil and Tillage Research*, 51: 151-160
- SEIXAS, F., MCDONALD, T., 1997. Soil compaction effect of forwarding and its relationship with 6- and 8-wheel drive machines. *Forest Products Journal*, 47, 11/12: 46-52
- SAARILAHTI, M., 2002. Soil interaction model. Project deliverable D2 (Work package No. 1) of the Development of protocol for ecoefficient wood harvesting on sensitive sites (ECOWOOD). EU 5th Framework Project (Quality of life and management of living resources contract No. QLK5-1999-00991 (1999-2002): 61-67
- ŠUŠNJAR, M., 2005. Istraživanje međusobne ovisnosti značajki tla traktorske vlake i vučne značajke skidera: disertacija. (Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet) Zagreb, samozal.: 146 str.
- UCIN, Z., 2004. Sečnja debelega drevja s strojem za sečnjo Königstiger: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire) Ljubljana, samozal.: 101 str.
- VAZ, C. M. P., BASSOI, L. H., HOPMANS, J. W., 2001. Contribution of water content and bulk density to field soil penetration resistance as measured by a combined cone penetrometer-TDR probe. *Soil and Tillage Research*: 60: 35-42
- VAZ, C. M. P., 2003. Use of a combined penetrometer-TDR moisture probe for soil compaction studies. *College on soil physics Trieste*: 451-457
- Normativi gozdnih del. Odredba o določitvi normativov za dela v gozdovih. Ur.l. RS št. 11-512/99
- John Deere: spletna stran podjetja <http://www.deere.com> (26.2.2006)
- Dickey John: spletna stran podjetja <http://www.dickey-john.com> (27.2.2006)