

OCENA RANLJIVOSTI GOZDNIH TAL NA ZBIJANJE ZARADI MEHANIZACIJE - PREIZKUS IN NADGRADNJA TERENSKE METODE BLATNE KEPE

ASSESSMENT OF THE VULNERABILITY OF FOREST SOILS TO COMPACTION DUE TO MECHANIZATION - TESTING AND IMPROVING THE FIELD SOIL CLUMP METHOD

Anton POJE¹, Primož ZORE², Marjetka SUHADOLC³

(1) Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Anton.Poje@bf.uni-lj.si

(2) Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, primoz.zore97@gmail.com

(3) Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, marjetka.suhadolc@bf.uni-lj.si

IZVLEČEK

V zadnjih desetletjih se je pri gospodarjenju z gozdovi povečala uporaba težkih strojev, ki povzročajo zbijanje in spremembo morfologije tal. Ker je ranljivost tal na zbijanje močno odvisna od vrste tal in od trenutne vsebnosti vode v tleh, je za prakso velikega pomena hitra ocena primernosti razmer za uporabo mehanizacije. Članek tako obravnava hitre metode za določanje mehanskih lastnosti tal. Testirali smo metodo blatne kepe, ki smo jo nadgradili z oceno videza rok in odtisom rok med pripravo blatnih kep, meritvami vsebnosti vode in določanjem spodnje in zgornje meje plastičnosti tal. V raziskavo smo vključili pogoste talne tipe gozdnih rastišč v Sloveniji: pokarbonatna tla (eutric cambisol), distrična rjava tla (dystric cambisol) in hipoglej (eutric gleysol). Rezultati so pokazali, da se površina blatne kepe ob spustu na tla povečuje z vsebnostjo vode v vzorcu, sočasno pa se spreminjajo videz blatne kepe, umazanost in videz odtisa rok. Oцени videza in odtisa rok predstavljata dopolnitev obstoječe metode blatne kepe, lahko pa tudi njeno alternativo, saj ju lahko uporabimo samostojno. Z določitvijo spodnje in zgornje meje plastičnosti oziroma indeksa plastičnosti tal smo posredno ocenili tveganje za poškodbe tal pri gozdni proizvodnji. S pomočjo kazalnikov stanja tal, kot so videz blatne kepe, umazanost rok in videz odtisa rok, lahko v praksi preprosto in hitro ocenimo trenutne razmere za delo in s tem preprečimo prekomerne poškodbe tal med gozdno proizvodnjo.

Ključne besede: gozdna proizvodnja, poškodbe tal, plastičnost tal, hitra metoda, okoljske razmere

ABSTRACT

In recent decades, the use of heavy machinery in forest management has increased, causing compaction and alternations in soil morphology. As soil vulnerability to compaction is highly dependent on the type of soil and the current soil water content, rapid assessment of the suitability of the conditions for the use of machinery is of great importance for practice. The article discusses methods for rapidly determining the mechanical properties of soil. We tested the soil clump method, which was supplemented by the assessment of the appearance of the hand and handprint during preparation of the soil clumps, soil water content measurements and determination of the lower and upper limits of soil plasticity. The following soil types, which are common in Slovenian forest stands, were selected: brown soil on limestone and dolomite (Eutric Cambisol), dystric brown soil (Dystric Cambisol) and hypogley (Eutric Gleysol). The results of the study showed that, when dropped, the surface area of the clump increases with the water content of the soil, while at the same time the appearance of the clump, the soil residue on the hands and the appearance of the handprint change. Evaluation of the appearance of the hands and handprint represent supplements to the existing clump method, but can also be an alternative to it, as they can be both used independently. By determining the lower and upper limits of plasticity or soil strength, we indirectly assessed the risk of soil damage in forest production. Through the use of soil condition indicators, such as the appearance of the soil clump, the soil residue on the hands and the appearance of the handprint, we can quickly and easily assess the current working conditions in practise and thus prevent excessive soil deformation in forest operations.

Key words: environmental conditions, soil deformation, forest operations, soil plasticity, rapid method

GDK 463:31(045)=163.6

DOI 10.20315/ASetL.123.4



Prispelo / Received: 17. 8. 2020

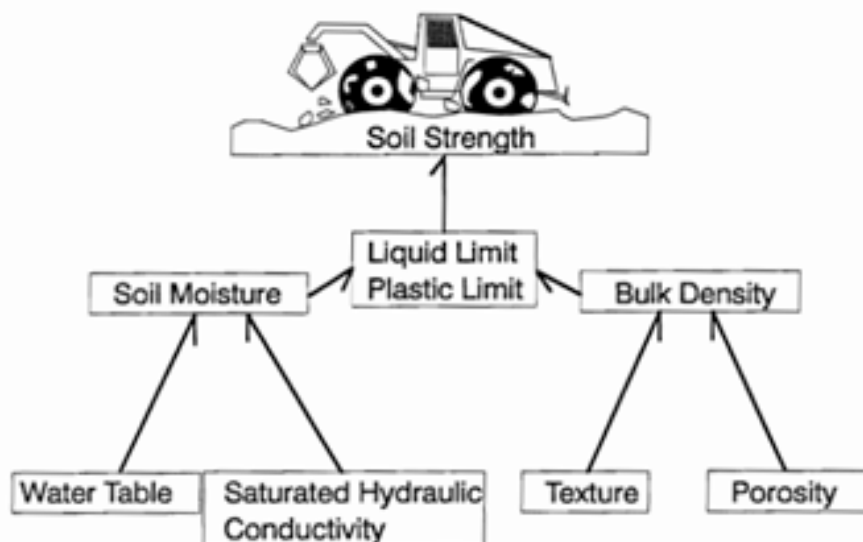
Sprejeto / Accepted: 6. 11. 2020

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Ob uporabi strojev v gozdu nastajajo poškodbe tal, ki so skoraj neizogibne (Horn in sod., 2007). Odvisne so od reliefa, lastnosti tal, matične podlage in okoljskih

razmer, pomembne pa so tudi lastnosti stroja, torej teža ter naležna površina, s katero se stroj dotika tal. Zbitost in premeščanje tal, poškodbe korenin in nastajanje kolesnic štejemo med vidne poškodbe tal (Šušnar in sod., 2006; Košir, 2010; Lüscher in sod., 2016).



Slika 1: Konceptualni model dejavnikov tal, ki vplivajo na nosilnost tal (Burger, 1994: 19)

Fig. 1: Conceptual model of factors affecting the bearing capacity of soil (Burger, 1994: 19)

Obstajajo pa tudi nevidne, torej so skrite človeškemu očesu, ki pa so zelo pomembne za samo kakovost tal. Med nevidne spremembe uvrščamo zmanjševanje pornega prostora, kar slabša razmere za življenje mikroorganizmov in rastlin, saj omejuje zračnost in gibanje vode v tleh (Cambi in sod., 2015). Posledično prihaja do površinskega odtoka vode in erozije najrodovitnejšega (površinskega) sloja tal. Zato je pogosto ob sečnih poteh zmanjšan prirastek, kar se kaže z upočasnjeno rastjo in manjšo gostoto dreves (Williamson in Neilsen, 2000).

Morfološke značilnosti strojev imajo neposreden vpliv na poškodbe tal, in sicer prek teže in težišča stroja ali velikosti naležne površine strojev na tla (Košir, 2010). Tako je velikost naležne površine stroja večja pri uporabi strojev z večjim številom koles, manjšim tlakom v pnevmatikah, uporabi širših pnevmatik, goseničnih verig s širšimi členi oz. floatacijskih verig in dvojno gibljivo osjo (Bygdén in sod., 2003; Pandur in sod., 2010; Kremer in sod., 2012). K zmanjševanju poškodb v veliki meri pripomore izvedba strojne sečnje, in sicer podlaganje sečnih ostankov pod stroj na sečne poti (Krč in sod., 2014).

Na nosilnost tal in posledično na poškodbe tal zaradi uporabe težkih strojev vplivajo tudi talne lastnosti. Med njimi so najpogosteje izpostavljene: tip tal, tekstura, delež skeleta in organske snovi tal ter vsebnost vode v tleh, kot najpomembnejša dinamična lastnost (Lüscher in sod., 2016). Glede na konceptualni model dejavnikov, ki vplivajo na nosilnost tal (slika 1), je le ta namreč močno odvisna od zgornje in spodnje meje plastičnosti (Burger, 1994). Plastičnost je opredeljena kot lastnost tal, pri kateri se tla pod zunanjo silo, v na-

šem primeru gozdarsko mehanizacijo, deformirajo in ostanejo deformirana tudi po odstranitvi zunanje sile. Pri spodnji meji plastičnosti tla prehajajo iz plastičnih (gnetljivih) v poltrdno (krhko) stanje, vsebnost vode v tleh je tolikšna, da se tla pod zunanjo silo deformirajo (drobijo oz. razpadajo). Pri zgornji meji plastičnosti tla prenehajo biti plastična in postanejo tekoča zaradi velike vsebnosti vode v tleh. Razliko v vsebnosti vode pri zgornji in spodnji meji plastičnosti imenujemo indeks plastičnosti (Atterberg, 1911). Plastičnost tal je odvisna predvsem od vsebnosti gline in organske snovi v tleh.

Za praktične namene ugotavljanja primernosti tal za uporabo gozdarske mehanizacije je bistvena hitra določitev vsebnosti vode v tleh, saj druge lastnosti, ki vplivajo na nosilnost tal, ostajajo v času relativno enake (Curran, 1999). Vsebnost vode v tleh lahko določimo z oblikovanjem svaljka večjega premera (8 mm), vendar oblikovanje svaljka v določenih teksturnih razredih ni možno. Naslednji način ugotavljanja primerne vsebnosti vode v tleh za uporabo gozdarske mehanizacije je močan stisk vzorca tal v roki na način, da nastane tvorba, ki je podobna ročki za krmilo kolesa. Pri tem ocenjujemo vlažnost roke po stiku z vzorcem in način razpada vzorca ob dotiku. Kriteriji so različni za plastična in ne-plastična tla. Za plastična tla velja, da so prevozna (en do dva prehoda stroja), če je roka, ki je bila v stiku z vzorcem, vlažna na manj kot 25 % površine, vzorec pa ob dotiku s kazalcem razpade. Za oceno primernosti tal za uporabo mehanizacije je treba ročni test opraviti vsaj na petih različnih mestih (Curran, 1999).

Podobna metoda, ki je namenjena hitremu določanju stanja tal, in osrednja tema naše raziskave je me-



Slika 2: Videz kepe in posledice na prometnici (prirejeno po Kremer in sod., 2012)

Fig. 2: Clump appearance and the consequences on the logging trail (adapted from Kremer et al., 2012)

toda blatne kepe. To metodo smo zasledili v več virih (Curran, 1999; Košir, 2010; Kremer in sod., 2012; Krč in sod., 2014), znanstveno pa smo jo ovrednotili v sklopu diplomske naloge z naslovom Presoja hitrih metod za določanje mehanskih lastnosti tal (Zore, 2019).

Test z blatno kepo poteka tako, da se blatna kepa vrže ob trdo podlago (npr. stroj), nato pa se glede na videz kepe predvidevajo posledice, ki bi nastale, če bi gozdna proizvodnja potekala ob takšnih talnih razmerah (slika 2). V primeru, da ima kepa na površini razpoke ali da odpade iz pokončne podlage (leva slika kepe na sliki 2), ali da je kepa po površini zaprta, brez razpok in ploska (srednja slika kepe na sliki 2), nastanejo na sečni poti do 10 cm globoke kolesnice, to pa so sprejemljive poškodbe tal. V primeru, da kepa ob metu poškropi okolico, lahko na sečni poti pričakujemo nesprejemljive poškodbe tal, s kolesnicami nad 20 cm (Kremer in sod., 2012; Krč in sod., 2014).

Ker so hitre metode zelo pomembne za prakso z vidika varovanja tal pred in med gozdno proizvodnjo, je bil namen raziskave: a) ugotoviti spreminjanje videza in dimenzij blatnih kep v odvisnosti od vsebnosti vode in tipa tal, b) nadgraditi metodo blatne kepe z dodatnimi meritvami z oceno umazanosti in odtisa rok, in c) določiti meje plastičnosti za obravnavane tipe tal.

2 METODE

2 METHODS

Za namen raziskave smo na Kočevskem izbrali štiri lokacije, kjer je v preteklosti potekala strojna sečnja ali pa bi lahko strojna sečnja potekala v prihodnosti. Lokacije so se razlikovale po tipu tal in fitocenološki združbi (Kobal in sod., 2019; ZGS, 2020). Prva lokacija je bila v bližini vasi Mrtvice, kjer prevladuje združba *Carici*

elongatae - *Alnetum glutinosae* na srednje močnem, evtričnem hipogleju (eutric gleysol). Druga lokacija je bila v predelu Pekel, kjer prevladuje združba *Hacquetio* - *Fagetum* na distričnih rjavih, izpranih tleh (eutric cambisol). Tretja lokacija je bila v predelu Šahen, kjer najdemo združbo *Hedero* - *Fagetum* (ZGS, 2019) na rjavih pokarbonatnih, plitvo humoznih tleh (eutric cambisol) (Kobal in sod., 2019). Zadnja lokacija pa leži na masivu Stojne, kjer prevladuje združba *Omphalodo* - *Fagetum dinaricum* (ZGS, 2019) na rjavih pokarbonatnih, plitvih tleh (eutric cambisol) (Urbančič in sod., 2005). Tla smo klasificirali po Slovenski klasifikaciji tal (Prus s sod., 2015) in World Reference Base for Soil Resources (WRB, 2015).

Vzorke tal smo odvzeli iz A horizonta površine enega kvadratnega metra na vsaki lokaciji. Ker se je debelina A horizonta med lokacijami razlikovala, in sicer Mrtvice (3–5 cm), Pekel (2–5 cm), Šahen (1–2 cm), Stojna (20 cm), smo na lokacijah s plitvim A horizontom del vzorca odvzeli še iz spodnje ležečega horizonta, skupaj približno 10 cm plast tal. Vzorke smo homogenizirali, zdrobili večje kepe, odstranili večje organske ostanke ter posušili na prostem.

2.1 Metoda blatne kepe

2.1 Soil clump test

Izvedba poskusa je bila za vsak tip tal razdeljena v tri faze, in sicer v pripravo blatnih kep, izvedbo poskusa in meritve. V prvi fazi smo posušene in homogenizirane vzorce tal postopoma vlažili, da smo pripravili blatne kepe z različnimi vsebnostmi vode v tleh. Vsebnost vode v vzorcih tal smo preverjali vzporedno s postopnim vlaženjem, in sicer s TDR (ang. Time Domain Reflectometry) merilnikom, ki poda volumski delež

vode v tleh (vol %). Cilj je bil doseči čim večji razpon v vsebnostih vode (10, 20, 30, 40, 50 in 60 % (+3 %)) v vseh tipih tal, vendar smo le pri vzorcu iz lokacije Mrtvice dosegli tudi 50 in 60 % volumsko nasičenost z vodo. Pred izdelavo blatnih kep so navlaženi vzorci mirovali približno 4 ure, da se je voda enakomerno porazdelila po celotnem vzorcu. Nato smo še enkrat preverili vsebnost vode v vzorcu tal s TDR. Pri izdelavi blatnih kep smo s pomočjo lončka za jogurt zagotavljali enako prostornino blatnih kep. Vzorce tal smo takoj po izvedbi poskusa »blatne kepe« zatehtali v tehtiče, nepredušno zaprli, ter prenesli v laboratorij. Natančno vsebnost vode v blatnih kepah smo tako določili gravimetrično, v rezultatih raziskave so predstavljene le te vrednosti (masni deleži vode v tleh).

V nasprotju z originalno metodo (Kremer in sod., 2012) pri poskusu blatnih kep nismo metali ob vertikalno steno, ampak smo jih spuščali z višine 3 metrov na ravno površino, saj smo s tem zagotovili konstantno silo udarca kepe ob površino. Višina spuščanja je bila določena pred izvedbo s preprostim predposkusom. Nekaj blatnih kep smo naprej s približno enako silo vrgli ob steno in jim izmerili širino in dolžino. Nato pa smo blatne kepe iste vlažnosti postopoma spuščali z vedno večje višine, dokler niso imele približno enake

dimenzije kot tiste, ki smo jih metali ob steno.

Poskus smo opravili v petih ponovitvah, kar pomeni, da smo iz skupnega vzorca tal z določeno vsebnostjo vode v tleh izdelali 5 blatnih kep, ki smo jih spuščali na pločevino z vrisano desetcentimetrsko mrežo. Vsako kepo, roke in odtis roke na belem papirju smo fotografirali (slika 3). Površine kep smo izračunali s pomočjo programa ImageJ 1.52a (Rasband, 2018).

2.2 Določanje zgornje in spodnje meje plastičnosti tal

2.2 Determination of upper and lower plastic limits

Zgornjo mejo plastičnosti, izraženo z masnim deležem vode v tleh, smo določili s pomočjo Casagrandejevega aparata (ASTM D4348, 2000). Talne vzorce smo pripravili po postopku za standardno pedološko analizo (poglavje 2.3). Vzorcju zračno suhih tal (100 g) smo postopoma dodajali vodo, da smo dobili mehko maso. Tretjino smo jo nanegli v posodico, kot prikazuje slika 4, nato smo z vrtenjem ročice sprožili udarce ob dno aparata, in sicer enkrat na vsak obrat ročice. Pri tem se je brazda, ki smo jo naredili ob začetku testa, postopoma zapirala. Vrtenje ročice smo ustavili, ko se je brazda zaprla oz. so se tla spojila na dolžini 13 mm. Z dodaja-



Slika 3: Videz blatnih kep ter umazanost in odtis rok pri različnih masnih deležih vode iz lokacije Šahen (od leve proti desni: 36,4 %, 41,0 %, 44,7 %, 52,8 %)

Fig. 3: The appearance of soil clumps, soil residue on the hands and handprints at different levels of gravimetric water content in the soil sample from the Šahen location (from left to right: 36.4 %, 41.0 %, 44.7 %, 52.8 %)

njem vode vzorcu tal se je število udarcev, potrebnih za spojitev tal, zmanjševalo. Avtorji metode predpostavljajo, da zgornjo mejo plastičnosti v splošnem dosežemo pri 25 obratih ročice, razpon pa je 10 do 40 udarcev. V naši študiji se je brazda spojila med 15 in 35 obrati ročice, v odvisnosti od vsebnosti vode v tleh. Test smo za vsako lokacijo opravili v štirih ponovitvah.

Spodnjo mejo plastičnosti, izraženo z masnim deležem vode v tleh, pri katerem lahko oblikujemo 3 mm svaljek, smo določili s postopnim vlaženjem suhega vzorca tal (8 g). Ko je bil vzorec tal tako vlažen, da smo lahko iz njega s palcem in kazalcem naredili kroglico, ne da bi se ta lepila na prste, smo maso razvaljali na stekleni plošči in oblikovali svaljek s približno 3,2 mm premerom. Dobljeni svaljek smo razrezali na 6–8 enakih delov, iz njih ponovno naredili kroglice in oblikovali svaljke. Postopek smo ponavljali, dokler smo lahko oblikovali svaljke in le-ti pri oblikovanju niso razpadli oz. se na njihovi površini niso pokazale razpoke. Ko oblikovanje svaljkov ni bilo več mogoče, smo vzorcu tal gravimetrično določili vsebnost vode. Indeks plastičnosti smo izračunali kot razliko med zgornjo in spodnjo mejo plastičnosti (ASTM D4348, 2000).

2.3 Pedološke analize

2.3 Pedological analysis

Zračno posušenim vzorcem tal smo najprej odstranili večje dele organskih ostankov (sejanje skozi 1 cm sito), jih zmleli in presejali skozi 2 mm sito.

Masni delež vode (% w) smo določili gravimetrično (ISO 11465, 1993). Sveže vzorce tal smo zatehtali v tehtnice in jih sušili na 105 °C do konstantne teže. Po sušenju smo vzorce tal ponovno tehtali ter na podlagi količnika med maso vode v svežem vzorcu in maso suhega vzorca izračunali masni delež vode v tleh.

Teksturo tal smo določili s standardno sedimentacijsko metodo ISO 11277 (2009), ki izkorišča različne sedimentacijske čase, ki so odvisni od velikosti delcev (Stokesov zakon).

Delež skupnega ogljika smo določili s suho oksidacijo na instrumentu Vario MAX (Elementar, Nemčija). Delež organske snovi smo izračunali s pomočjo povprečnega deleža (58 %), ki predstavlja ogljik v organski snovi.

Sposobnost tal za zadrževanje vode (poljsko kapaciteto tal) smo določili z uporabo visokotlačne komore, s katero smo po nasičenju talnih vzorcev z vodo iz njih iztisnili vodo pri tlaku 0,33 bara (ISO 11274, 1998).

3 REZULTATI

3 RESULTS

V študiji smo preučili mehanske lastnosti porušeni vzorcev tal, ki smo jih odvzeli v zgornjem horizontu na štirih lokacijah z različnimi talnimi tipi: rjava pokarbonatna tla (Stojna in Šahen), distrična rjava tla (Pekel) in hipoglej (Mrtvice). Razlike v bistvenih lastnostih, ki vplivajo na nosilnost tal (tekstura, vsebnost organske snovi in sposobnost zadrževanja vode), so bile relativno majhne (preglednica 1).



Slika 4: Casagrandejev aparat za določanje zgornje meje plastičnosti

Fig. 4: Casagrande's apparatus for determining the upper plastic limit

Preglednica 1: Tekstura, vsebnost organske snovi in sposobnost zadrževanja vode (PK) v porušeni vzorcih tal zgornjega humusno-akumulativnega horizonta preučevanih lokacij

	Talni tip	Glina	Meľ	Pesek	Teksturni razred	Organska snov	Poljska kapaciteta
		%	%	%		%	%
Stojna	Rjava pokarbonatna, plitva	38,4	58,7	2,89	MGI	8,8	50,8
Šahen	Rjava pokarbonatna, plitvo humozna	32,2	64,3	3,5	MGI	4,8	46,8
Pekel	Distrična rjava, izprana	30,7	60,2	9,1	MGI	4,5	47,3
Mrtvice	Hipoglej, srednje močan	33,7	48,7	17,6	MGI	9,7	58,7

Table 1: Texture, soil organic matter content and soil water holding capacity (WHC) in disturbed soil samples of the top-soil humus-accumulative horizon of the studied locations

Rezultati so potrdili močan vpliv vsebnosti vode v talnih vzorcih na oblikovanje blatne kepe, njeno stanje po padcu na tla in površino odtisa. Iz fotografij blatnih kep je razvidno, da pri najmanjših masnih deležih vode v tleh, ko še lahko oblikujemo blatno kepo, le ta pri udarcu s tlemi vedno razpade. S povečevanjem deleža vode pa blatne kepe postajajo kompaktnije in pri udarcu s tlemi praviloma ne razpadejo (lokacije Pekel, Šahen, Stojna). Iz blatnih kep z največjim deležem vode pri udarcu s tlemi izhaja prosta voda v obliki žarkov. Blatne kepe, oblikovane iz vzorcev tal iz lokacije Mrtvice, pa so pri udarcu s tlemi vedno razpadle, in to ne glede na vsebnost vode. Predvidevamo, da je glavni razlog v teksturi tal in vsebnosti organske snovi. Vzorec tal z lokacije Mrtvic je v primerjavi z drugimi lokacijami vseboval največji delež peska (18 %) ter tudi največji delež organske snovi (10 %).

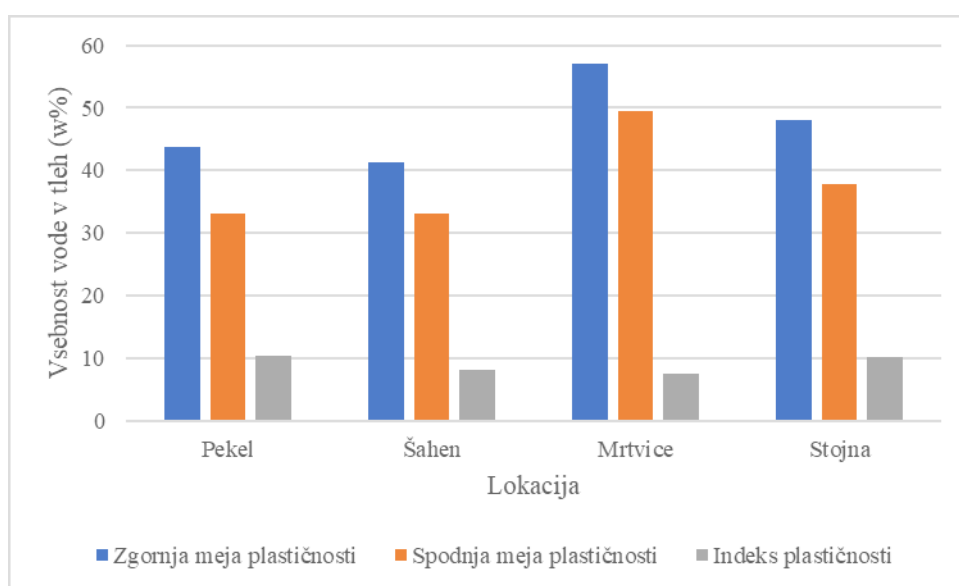
S povečevanjem vsebnosti vode v vzorcih tal se spreminja tudi umazanost rok pri oblikovanju blatnih kep. Pri najmanjšem masnem deležu vode so roke po izdelavi kepe ostale suhe in le rahlo umazane, s pove-

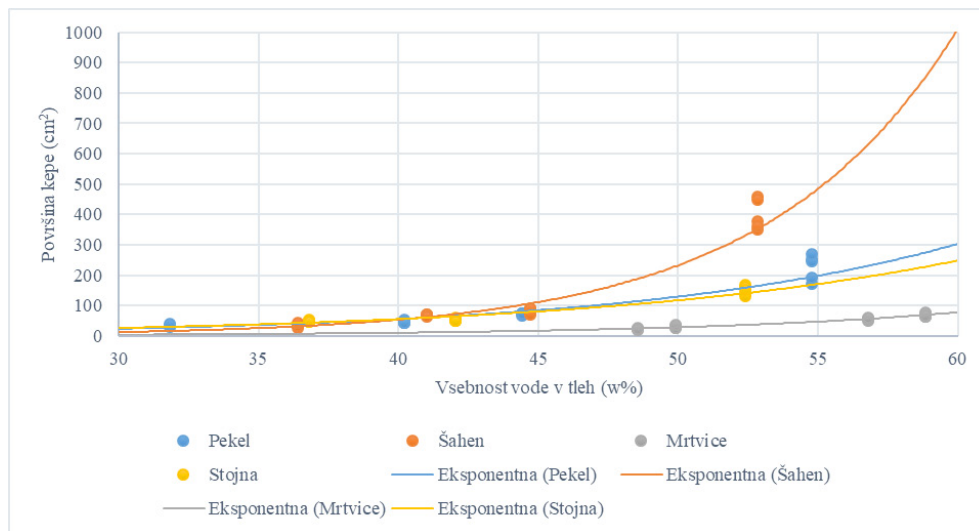
čevanjem deleža vode pa so postale roke ob izdelavi vlažne ter po celi površini umazane. Pri največjem deležu vode so bile roke povsem blatne.

Površina in vidnost odtisa sta naraščali z vsebnostjo vode v vzorcih tal in skladno z umazanostjo rok. Pri najmanjših deležih vode je odtis roke na belem papirju le rahlo zaznaven, pri večjih deležih vode je odtis roke že bolj viden, vidni so tudi odtisi posameznih blazinic prstov ter dlani, vendar brez ostrih robov, pri največjih masnih deležih vode v vzorcih pa je odtis največji, jasen, vendar že razmazan in z ostrimi robovi.

Spodnja meja plastičnosti preučevanih vzorcev tal je bila med 33,1 % in 49,4 %, zgornja meja plastičnosti pa med 41,2 % in 57,0 % (slika 5). Obe meji plastičnosti sta bili največji pri vzorcu tal lokacije Mrtvice, najmanjši na lokaciji Šahen. Glede na indeks plastičnosti tal, ki se je gibal med 7,6 % in 10,5 %, vse analizirane vzorce uvrščamo med tla z majhno plastičnostjo.

Površina odtisa blatnih kep, ki nastane po udarcu kepe ob tla, eksponentno narašča s povečevanjem masnega deleža vode v vzorcu (slika 6). Naraščanje po-

**Slika 5:** Spodnja in zgornja meja plastičnosti ter indeks plastičnosti po lokacijah**Fig. 5:** The lower and upper plastic limit and plasticity index by location



Slika 6: Površina kep v odvisnosti od masnega deleža vode v tleh

Fig. 6: The surface area of clumps in relation to the gravimetric water content in the soil

vršine odtisa se v splošnem najbolj poveča, ko masni delež vode v vzorcu preseže 40 % oziroma ko preseže spodnjo mejo in zgornjo mejo plastičnosti. Površina odtisa se je najbolj povečala pri vzorcu tal iz lokacije Šahen, najmanj pa pri vzorcu tal iz lokacije Mrtvice. Velikost odtisa kepe je pri isti vsebnosti vode v tleh odvisna od zgornje meje plastičnosti tal, in sicer je odtis večji pri manjši zgornji meji plastičnosti.

Za oceno razmer v tleh ter posledično oceno tveganja za poškodovanost tal je za praktične namene pomemben videz blatne kepe po dotiku s površino, stopnja umazanosti rok in videz odtisa rok pri spodnji in zgornji meji plastičnosti. Tako pri spodnji meji plastičnosti blatna kepa pri dotiku s tlemi razpade, roke so le rahlo umazane in vlažne, odtis roke na beli površini pa je le slabo viden. Pri zgornji meji plastičnosti blatna kepa ob dotiku s tlemi ostane kompaktna, iz nje pa lahko že izhaja prosta voda v obliki žarkov. Roke so v tem primeru vlažne ter umazane po pretežni površini dlani in prstov. Pri odtisu rok so vidni odtisi posameznih blazinic prstov ter dlani, vendar brez ostrih robov (preglednica 2).

Videz blatne kepe ter posledično umazanost rok in odtis je na lokaciji Šahen zaradi večjega masnega deleža vode v vzorcu v primerjavi z zgornjo mejo plastičnosti pretiran (preglednica 2).

4 RAZPRAVA 4 DISCUSSION

Iz ekološkega ter tudi ekonomskega vidika je pri načrtovanju in izvedbi gozdne proizvodnje nujno stalno ocenjevanje terenskih razmer, ki se zaradi vremenskih vplivov lahko hitro spreminjajo. Posledice neugodnih razmer so vidne predvsem kot prekomerne poškodbe

tal, ki lahko v skrajnem primeru pripeljejo do zmanjšanja rodovitnosti tal (Košir in Robek, 2000).

Poleg meril poškodovanosti tal (Poje in sod., 2019) so za učinkovito preprečevanje poškodb tal pred in med izvedbo sečnje in spravila lesa nujno potrebne metode za hitro oceno talnih razmer. Ena izmed takšnih metod je metoda blatne kepe (Kremer in sod., 2012), ki je bila uporabljena in testirana v raziskavi. Metoda v originalni obliki podaja oceno poškodovanosti tal na podlagi videza kepe, ki je vržena ob stroj, v naši raziskavi pa je bila nadgrajena z videzom rok ter odtisom roke na belem papirju po izdelavi kepe. Ker se s spremembo videza blatne kepe značilno spreminjata tudi umazanost rok ter površina in vidnost odtisa rok, omenjeni dodatni meritvi pomenita nadgradnjo obstoječe metode, lahko pa tudi njeno alternativo, saj ju lahko uporabimo samostojno.

Vse tri kazalnike stanja tal, t.j. videz blatne kepe, umazanost rok in videz odtisa rok, v raziskavi povezujemo s plastičnostjo tal, ki določa občutljivost tal na nepopravljive poškodbe in nosilnost tal. Določanje Atterbergovih mej plastičnosti tal (Atterberg, 1911), ki je bilo sedaj prvič v Sloveniji uporabljeno tudi na področju raziskovanja poškodb gozdnih tal, je primerljivo z metodami, ki ocenjujejo nosilnost tal s penetrometrom in krilno sondo (Poršinsky in sod., 2006). Tako spodnja meja plastičnosti ločuje poltrdo stanje tal od plastičnega stanja tal oz. ločuje tiste talne razmere, od kjer je tveganje za poškodbe tal med gozdno proizvodnjo majhno, od tistih, kjer je to tveganje povečano in je treba pri izvedbi gozdne proizvodnje prilagoditi način dela ali stroj (Košir, 2010; Krč in sod., 2014; Cambi in sod., 2015). Med spodnjo in zgornjo mejo plastičnosti je stanje tal plastično, kar pomeni, da se po preho-

Preglednica 2: Videz kepe, rok in odtisa iz vzorca posamezne lokacije pri zgornji meji plastičnosti

Table 2: Appearance of the clump, hand and handprint by individual location sample at the upper plastic limit

Objekt	Spodnja meja plastičnosti		
	Videz kepe	Umazanost rok	Odtis rok
Stojna			
Pekel			
Mrtvice			
Šahen			

du stroja tla ne povrnejo v prvotno obliko, posledično nastanejo kolesnice. Nad zgornjo plastičnostjo tla postanejo tekoča, pojavijo se izrazita premeščanja tal ter globoke kolesnice, kar pomeni, da se mora gozdna proizvodnja za preprečitev prekomernih poškodb ustaviti.

Glede na tipe tal, ki so bili vključeni v raziskavo, ocenjujemo, da lahko gozdna proizvodnja brez večjega tveganja za poškodbe poteka na tleh z vsebnostjo masega deleža vode okoli 30 %, pri deležu vode nad 40 % pa je treba dela ustaviti. Vsebnost vode v tleh lahko ocenimo s pomočjo videza blatne kepe, stopnje umazanosti rok ali videza odtisa rok. Tako lahko gozdna proizvodnja poteka, dokler blatna kepa pri dotiku s površino, kamor vržemo kepo (npr. stroj), razpade oz. se površine ne oprime, roke so pri izdelavi kepe le rahlo umazane in vlažne, odtis roke na beli površini pa je le slabo viden. O prekinitvi gozdne proizvodnje je treba začeti razmišljati, ko vržena blatna kepa ob dotiku s površino ostane kompaktna, iz nje pa lahko izhaja prosta voda v obliki žarkov. Roke so v tem primeru vlažne ter umazane po pretežni površini dlani in prstov. Pri odtisu rok so vidni odtisi posameznih blazinic prstov ter dlani, vendar brez ostrih robov. V primeru, ko je zaradi velike vsebnosti vode kepo težko oblikovati, pri metu pa kepa močno poveča svojo površino, gozdna proizvodnja ne sme potekati. Roke so po oblikovanju povsem blatne, odtis največji, jasen, vendar razmazan in z ostrimi robovi.

Poudariti moramo, da smo v raziskavi ocenjevali tveganje za poškodbe tal v porušeni vzorcih in le v zgornjem humusno akumulativnem horizontu, ki je sicer najbolj občutljiv za zbijanje zaradi mehanizacije, pa vendarle ne odseva lastnosti celotnega profila izbranih talnih tipov (razlike v globini tal, lastnostih drugih horizontov). V prihodnje bi bilo zato pomembno ugotoviti tako vpliv kar najširšega razpona v fizikalno-kemijskih lastnosti posameznih horizontov kot tudi druge značilnosti gozdnih tal v slovenskem prostoru, ki jih v naši študiji nismo upoštevali. Na nosilnost tal, ki je pomembna lastnost tal pri vzpostavljanju ravnotežja sil med strojem in tlemi (Košir, 2010), namreč vplivajo tudi kamnitost, prisotnost skeleta ter površinski organski horizonti in koreninski preplet (Wästerlund, 1989; Cambi in sod., 2015; Lüscher in sod., 2016). Le ti lahko nosilnost tal povečajo ali zmanjšajo ne glede na vsebnost vode v tleh oziroma trdnostno stanje tal. Tako je na primer pri nad 50-odstotnem deležu skeleta v tleh vožnja po takšnih tleh iz ekološkega vidika dopustna ne glede na vlažnost tal, saj ne povzroča mešanja tal na kolesnicah (Lüscher in sod., 2016).

Z vidika povegljivosti rezultatov, predvsem z rezul-

tati projekta »Vpliv strojne sečnje na gozd in določanje meril za njeno uporabo« (številka V4-1624), kjer so potekale meritve na istih lokacijah, ocenjujemo, da je največja pomanjkljivost raziskave ta, da ni bila metoda blatne kepe izvedena neposredno na terenu. To bi sicer močno povečalo zahtevnost izvedbe poskusa, saj bi moral poskus potekati v daljšem časovnem obdobju, kjer bi se naravno (ali umetno) spreminjala vsebnost vode v tleh, vendar pa bi zaradi meritev volumenskega deleža vode v strukturno neporušenih tleh bila mogoča primerjava z nosilnostjo tal, ki je bila izmerjena v sklopu projekta.

Nadaljnje raziskave na tem področju bi morale biti usmerjene v preverjanje povezave med predstavljenimi kazalniki stanja tal (videza blatne kepe, rok in odtisa) in dejanske poškodovanosti tal po gozdni proizvodnji ter k preverjanju uporabnosti kazalnikov stanja tal v praksi.

5 POVZETEK

5 SUMMARY

In forestry, attention must be paid to the state of working conditions due to the variability and unpredictability of weather conditions. To prevent soil deformation caused by working machines, rapid methods for determining soil conditions have been developed, where simplicity and the speed of the procedure are crucial. In the study, the soil clump test was used and upgraded (Kremer in sod., 2012) with the appearance of hands and handprints as well as measurements of the gravimetric water content in the samples. In addition to pedological properties, the lower and upper plastic limits were also determined in the soil samples. The research covered soils with different properties from four locations in southern Slovenia. The results of the study show that the surface area of the dropped clump increases with the gravimetric water content in the sample, while at the same time the appearance of the clump, hands and handprints change. At the lower plastic limit, the soil clump falls apart after hitting the ground, the hands are only slightly dirty and moist, and the handprint is poorly visible on a white surface. At the upper plastic limit, the soil clump remains compact after hitting the ground, and water may start to emerge from it in the shape of rays. In this case, the hands are moist and dirty on the predominant surface of the palm and fingers. In terms of the handprint, individual fingertips and the palm are visible, but without sharp edges. Thus, in practice, the lower plastic limit can be associated with soil conditions (water content in the soil) under which the risk of soil deformation is low,

while the upper plastic limit can be associated with soil conditions under which stopping the work should be considered. In the intermediate state, between the lower and upper plastic limit, more attention should be paid to the performance of the work, and adjustments of the work and machinery are required. It should also be considered that other soil properties may increase bearing capacity regardless of the soil condition, e.g. stoniness and skeletal content in the soil can also have an impact on the bearing capacity of the soil. The applicability of the proposed indicators should be directly associated with actual soil deformation during forest operations and evaluated in practice.

6 ZAHVALA

6 ACKNOWLEDGEMENTS

Zahvaljujemo se Ministrstvu za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano ter Javni agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije za financiranje projekta z naslovom Vpliv strojne sečnje na gozd in določitev meril za njeno uporabo (V4-1624), ki je bila spodbuda za izvedbo raziskave. Anonimnim recenzentom smo hvaležni za pregled in pripombe na prvo različico besedila.

7 VIRI

7 REFERENCES

- ASTM. D4348. Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils. 2000: 14 str.
- Atterberg A. 1911. Über die physikalische Bodenuntersuchung und über die Plastizität der Tone. Internationale Mitteilungen für Bodenkunde, 1: 10–43.
- Burger M.A. 1994. A wetland trafficability hazard index based on soil physical properties and site hydrology evaluations: (Virginia State University). Virginia, USA: 139 str.
- Bygdén G., Eliasson L., Wästerlund I. 2003. Rut depth, soil compaction and rolling resistance when using bogie tracks. Journal of Terramechanics, 40, 3: 179–190.
- Cambi M., Certini G., Neri F., Marchi E. 2015. The impact of heavy traffic on forest soils: a review. Forest Ecology and Management, 338: 124–138.
- Curran M. 1999. Harvest systems and strategies to reduce soil and regeneration impacts (and costs). V: Forest Equipment / Soils Interaction Workshop. Alberta Research Council, Edmonton, Alberta, Forest Engineering Research Institute of Canada: 1–47.
- Horn R., Vossbrink J., Peth S., Becker S. 2007. Impact of modern forest vehicles on soil physical properties. Forest Ecology and Management, 248, 1: 56–63.
- ISO. 11274. Soil quality - Determination of the water-retention characteristic - Laboratory methods. 1998: 20 str.
- ISO. 11277. Soil quality - Determination of particle size distribution in mineral soil material - Method by sieving and sedimentation. 2009: 34 str.
- ISO. 11465. Soil quality - determination of dry matter and water content on a mass basis - gravimetric method. 1993: 3 str.
- Kobal M., Kralj T., Bratun P. 2019. Gozdna tla in strojna sečnja. V: 35. Gozdarski študijski dnevi: Gozdna tla v trajnostnem gospodarjenju z gozdom. Krč J. (ur.). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 52–57.
- Košir B. 2010. Gozdna tla kot usmerjevalce tehnologij pridobivanja lesa. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 80 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, 52: 87–115.
- Krč J., Beguš J., Primožič J., Levstek J., Papler-Lampe V. in sod. 2014. Vodila dobrega ravnanja pri strojni sečnji. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 38 str.
- Kremer J., Wolf B., Matthies D., Borchert H. 2012. Bodenschutz beim Forstmaschineninsatz. LWF-Merkblatt, 22: 4.
- Pandur Z., Horvat D., Šušnjar M., Nevečeral H., Stankić I. 2010. Environmental evaluation of wood residues utilization. V: Forest engineering: meeting the needs of the society and the environment. Kanzian C., Cavalli R. (ur.). Padova, Formec: 1–8.
- Poje A., Mihelič M., Leban V. 2019. Analiza strokovnega ocenjevanja poškodovanosti gozdnih tal. Gozdarski vestnik, 77, 1: 3–20.
- Poršinsky T., Sraka M., Stankić I. 2006. Comparison of two approaches to soil strength classifications. Croatian Journal of Forest Engineering, 27, 1: 17–26.
- Prus T., Kralj T., Vrščaj B., Zupan M., Grčman H. 2015. Slovenska klasifikacija tal. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Kmetijski inštitut Slovenije: 50 str.
- Rasband W. 2018. ImageJ 1.52a. USA. National Institutes of Health.
- Šušnjar M., Horvat D., Šešelj J. 2006. Soil compaction in timber skidding in winter conditions. Croatian Journal of Forest Engineering, 27, 1: 3–15.
- Urbančič M., Simončič P., Prus T., Kutnar L. 2005. Atlas gozdnih tal Slovenije. Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije: 100 str.
- Wästerlund I. 1989. Strength components in the forest floor restricting maximum tolerable machine forces. Journal of Terramechanics, 26, 2: 177–182.
- Williamson J.R., Neilsen W.A. 2000. The influence of forest site on rate and extent of soil compaction and profile disturbance of skid trails during ground-based harvesting. Canadian Journal of Forest Research, 30, 8: 1196–1205.
- WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 - International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports 106, Rome, FAO: 203 str.
- ZGS. 2020. Pregledovalnik gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtov. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije (<https://prostor.zgs.gov.si/pregledovalnik/>) (15. 7. 2020).
- Zore P. 2019. Presoja hitrih metod za določanje mehanskih lastnosti tal: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozaložba: 46 str.