

# FITOCENOLOŠKA ZDRUŽBA KOT KAZALNIK OBČUTLJIVOSTI GOZDNIH TAL ZA VOŽNJO GOZDARSKE MEHANIZACIJE

## PHYTOCENOSES AS INDICATORS OF THE SUSCEPTIBILITY OF FOREST SOILS TO GROUND-BASED FOREST HARVESTING MACHINERY

Gašper OGRIN<sup>1</sup>, Raffaele SPINELLI<sup>2</sup>, Natascia MAGAGNOTTI<sup>3</sup>, Velid HALILOVIĆ<sup>4</sup>, Matevž MIHELIC<sup>5</sup>

(1) Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, gasperogrin@gmail.com

(2) CNR Ivalsa tree and timber institute, Istituto per la BioEconomia, Italy, spinelli@ivalsa.cnr.it

(3) CNR Ivalsa tree and timber institute, Istituto per la BioEconomia, Italy, natascia.magagnotti@ibe.cnr.it

(4) University of Sarajevo, Faculty of Forestry, Bosnia and Herzegovina, velidha@yahoo.com

(5) Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, matevz.mihelic@bf.uni-lj.si

### IZVLEČEK

Z namenom ugotavljanja vpliva fitocenološke združbe na občutljivost gozdnih tal za vožnjo gozdarske mehanizacije smo v gozdovih GE Zaplana opravili 90 meritev profilov sekundarnih gozdnih prometnic. Vzorec je potekalo vzdolž linije, dolge 13,9 km. Povprečna globina kolesnic na profilih je znašala 5,7 cm. Najgloblje kolesnice smo zasledili v združbi *Blechno-Fagetum* (6,9 cm), plitveje v združbi *Galio rotundifolii-Abietetum* (6,4 cm) in v združbi *Hacquetio-Fagetum* (5,6 cm) ter najplitveje v združbi *Omphalodo-Fagetum* (5,3 cm). Na globino kolesnic značilno vpliva kategorija prometnice, in sicer najgloblje kolesnice nastajajo na glavnih vlakih (7,0 cm), sledijo stranske gozdne vlake (5,8 cm) ter sečne poti in pobegi (1,9 cm). Rezultati kažejo, da med sestoji različnih fitocenoloških združb in občutljivosti gozdnih tal ni statistično značilnih razlik, a menimo, da je smiselno s podobnimi raziskavami nadaljevati, saj bi v preteklosti izdelane podobne fitocenološke karte lahko bile osnova za pripravo in izvedbo okolju prijazne gozdne proizvodnje.

**Ključne besede:** gozdarstvo, zbijanje tal, gozdna tla, fitocenoza, globina kolesnic

### ABSTRACT

In the article we determine the suitability of the phytocenose as a basic unit for determining soil susceptibility to mechanized logging. A total of 90 measurements of skid trail profiles were taken on a 13.9 km long sample transect. The forest infrastructure studied was categorized into primary and secondary skid trails, trails intended for CTL harvesting and undocumented trails. The following indicators were determined on the profiles: tyre track depth, trail width, trail slope, amount of rock present, presence of roots and road category. The deepest ruts were found in *Blechno-Fagetum* (6.9 cm), followed by *Galio rotundifolii-Abietetum* (6.4 cm) and *Hacquetio-Fagetum* (5.6 cm), while the shallowest ruts were found in *Omphalodo-Fagetum* (5.3 cm). The deepest ruts were found on primary skid trails (7.0 cm), followed by secondary skid trails (5.8 cm), while the shallowest ruts were found on skid trails used by CTL technology and on undocumented trails (1.9 cm). No significant difference in track depth was found between the four individual phytosociological units, but more extensive research should be conducted in the future.

**Key words:** forestry, soil compaction, forest soil, phytocenoses, rut depths

GDK 188+114:461:31(045)=163.6

DOI 10.20315/ASetL.123.3

Prispelo / Received: 31. 5. 2020

Sprejeto / Accepted: 27. 10. 2020



## 1 UVOD

### 1 INTRODUCTION

Tla so zgornja plast zemeljske skorje od površja tal do čvrste matične podlage. So zapleten trifazni sistem, sestavljen iz trde, tekoče in plinaste komponente (Urbančič in sod., 2005). Tla nastajajo v procesu pedogeneze pod vplivi matične podlage, klime, organizmov, reliefa in časa (Sušin, 1983; Duchaufour, 2012). Pomen tal je v dejstvu, da so osnova za rast rastlin, zato jih lahko pojmuje kot vir, ki je zaradi dolgega časa,

ki je potreben za ponovno osnovanje, tudi neobnovljiv (Várallyay, 2007).

V tem članku se omejujemo na gozdna tla, nastala tudi pod vplivom organizmov, ki tvorijo gozdni ekosistem in neposredno vplivajo na razvoj fitocenoze. So osnova za rast vseh gozdnih ekosistemov, ki pokrivajo več kot 30 % površine vseh kopenskih ekosistemov (FAO, 2018). Od kmetijskih tal se razlikujejo po naravnosti, saj imajo ohranjeno naravno strukturo talnih horizontov ter so malopovršinsko raznolika, kar pomeni, da se

lastnosti tal na majhnih razdaljah lahko močno spremenjajo (Nyle in Weil, 2008). Zaradi neobnovljivosti jih je treba varovati, kar je opredeljeno v številnih mednarodnih konvencijah in dokumentih EU ter zakonskih in podzakonskih aktih (Pezdevšek Malovrh in sod., 2018). Gozdna tla želimo zaščititi pred degradacijskimi procesi, kot so erozija, zbijanje tal in onesnaževanje (Jones in McPherson, 2012; Vrščaj in sod., 2017).

Prizadevanja za varovanje tal so nujnost, vendar pa je konkretiziranje te odločitve izziv. Dejstvo je namreč, da so vsi zgornji procesi, ki tla ogrožajo, povezani s človeško dejavnostjo, ki je v gozdnem prostoru povezana s procesom pridobivanja lesa (Wood in sod., 2003; Batey, 2009; Cambi in sod., 2015). K varovanju tal bi tako lahko pristopili zelo radikalno, z omejevanjem oziroma prepovedjo sečnje in spravila lesa, ali pa z omejevanjem uporabe tehnologij na tiste, ki spravilo lesa opravljajo po zraku (Cambi in sod., 2015). Takšne radikalne rešitve so sicer učinkovite, vendar je les dragocen vir, ki je obnovljiv in ogljično nevtralen, zato skušamo njegovo rabo pospeševati (Piškur in Krajnc, 2007; Asikainen in sod., 2015). Bolj sprejemljiva rešitev je tako razumevanje problematike varovanja tal in njihovih lastnosti, s čimer zmanjšamo in obvladujemo tveganje za negativne vplive na tla. V najboljšem primeru bi tako lahko predvideli občutljivost tal za posamezne vrste tal in posamezne škodljive procese (Saarilahti, 2002).

V iskanju obstoječih podatkov, ki bi lahko pomagali izboljšati predvidevanje občutljivosti tal, smo se v raziskavi zatekli k fitocenologiji, ki se ukvarja z zgradbo, nastankom in razvojem rastlinskih združb, njihovo razširjenostjo ter povezanostjo z okoljem (Rozman, 2018). Rastlinske združbe, ki uspevajo na posameznem rastišču, so namreč posledica lastnosti tal, klime, reliefa, ekspozicije in antropogenih vplivov. Vse našteje spreminljivke so tako tudi dejavniki pedogeneze (Sušin, 1983; Duchaufour, 2012), kar pomeni, da obstaja povezava med rastlinskimi združbami in pedogenetskimi dejavniki, oziroma talnimi tipi. Posledično lahko rastlinska združba rabi kot indikator za posamezen tip tal, ki mu lahko pripišemo stopnjo občutljivosti. Zanimalo nas je, ali je mogoče empirično ugotavljati občutljivost tal za vožnjo z gozdarsko mehanizacijo prek podatkov o gozdnih združbah. Kot osnovo za raziskovanje primernosti fitocenološkega kartiranja z namenom ugotavljanja občutljivosti tal smo uporabili podatke detajlnega fitocenološkega kartiranja, ki je bilo opravljeno v 60-ih in 70-ih letih prejšnjega stoletja s strani Biroja za gozdarsko načrtovanje. Podatke o rastlinskih združbah smo tako uporabili kot kazalnik za skupine talnih tipov, ki so nastale v podobnih okoliščinah in bi tako morale imeti tudi podobne lastnosti.

Občutljivost gozdnih tal za vožnjo gozdarske mehanizacije smo ugotavljali s kazalnikom - globino kolesnic, ki je priznan in široko uporabljen kazalnik za ugotavljanje občutljivosti in poškodovanosti tal. Poznamo tri razrede kolesnic: plitve, srednje globoke in globoke (Spinelli in sod., 2019). Na globino kolesnic vplivajo številni dejavniki obeh sistemov, torej tal in strojev (Wästerlund, 1994; Wronski in Humphreys, 1994; Spinelli in sod., 2010; Poršinsky in sod., 2011). Ker ni mogoče kontrolirati vrste uporabljenih tehnologij in stanja tal med delom v posameznem delu gozda, smo v raziskavi popisali le trenutno stanje na gozdnih prometnicah v smislu globine kolesnic in erozijskih pojavov (Solgi in sod., 2019). Kolesnic tako ne razumemo kot posledico dela posamezne tehnologije, temveč kot vsoto vseh vplivov gozdne proizvodnje na gozdna tla v preteklem gospodarjenju z gozdovi na celotnem obravnavanem območju. Širina prometnic je pomembna za ugotavljanje odnosa med širino strojev in širino sečnih poti ter za ugotavljanje potrebne tehnološke površine na objektu, iz katere lahko ob znani dolžini prometnic ugotovimo količino motenih tal na objektu (Mihelič, 2014). Z vzorčenjem in velikostjo območja smo skušali izločiti vplive lokalnih posebnosti v gospodarjenju z gozdom.

Glavno raziskovalno vprašanje je, ali obstajajo razlike med občutljivostjo gozdnih tal v različnih gozdnih združbah oziroma ali gozdne združbe vplivajo na občutljivost gozdnih tal. Razlike v občutljivosti gozdnih tal za vožnjo z gozdarsko mehanizacijo smo iskali s kazalnikom globine kolesnic.

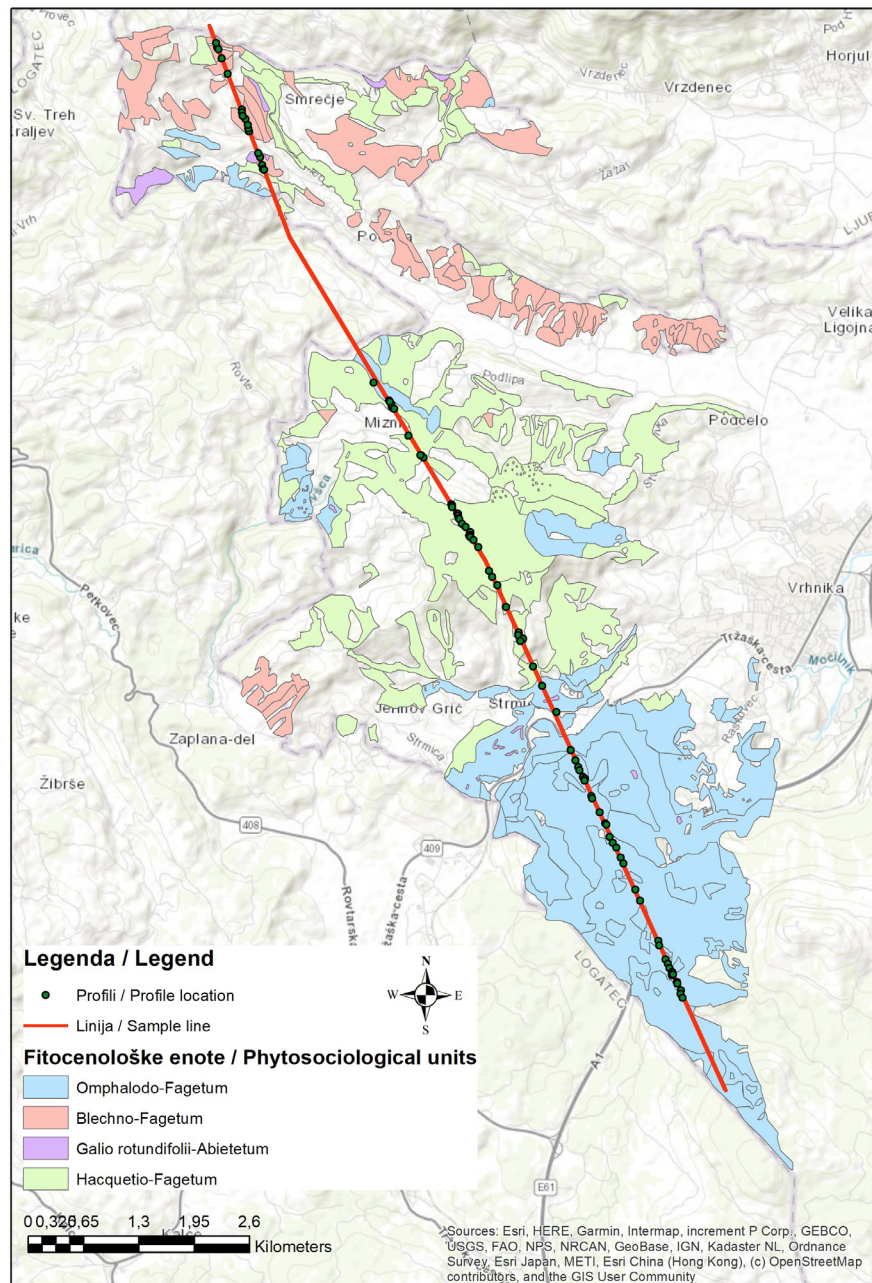
V iskanju odgovora na glavno raziskovalno vprašanje smo postavili tri raziskovalne hipoteze, in sicer a) obstajajo značilne razlike v globini kolesnic med posameznimi sestoji fitocenoloških združb, b) obstajajo značilne razlike v globini kolesnic med posameznimi kategorijami gozdnih prometnic, c) obstajajo značilne razlike v širini prometnic med posameznimi sestoji fitocenoloških združb.

## 2 METODE DELA

### 2 METHODS

Da smo obstoječe kaširane karte gozdnih združb v merilu 1:10.000 za namen naše raziskave naredili uporabne (Fitocenološki elaborat GE Zaplana, 1964), jih je bilo treba najprej pretvoriti v digitalni medij. Podatke smo tako digitalizirali in georeferencirali (Ogrin, 2019). Fitocenološke združbe smo nato iz subasociacij združili na nivo asociacij in se v zadnjem koraku lotili terenskega preverjanja zajetih informacij.

Združevanje združb na nivo asociacij je potekalo glede na kriterije različnosti med asociacijami, seve-



**Slika 1:** Digitalizirani poligoni sestojev fitocenoloških združb in prikaz linije vzorčenja

da pa smo iz obdelav izločili združbe, ki v gospodarski enoti niso bile zastopane na velikih površinah. Glede na zgornje kriterije smo izbrali štiri asociacije gozdnih združb; gozdno združbo dinarskega gozda bukve in jelke (*Omphalodo-Fagetum*) z oznako OF, gozdno združbo kislega bukovega gozda (*Blechno-Fagetum*) z oznako BF, združbo jelke z okroglostno lakoto (*Galio rotundifolii-Abietetum*) z oznako GA, in gozdno združbo bukovega gozda s tevjem (*Hacquetio-Fagetum*) z oznako HF.

Združene in digitalizirane asociacije smo naložili v spletno storitev ArcGIS Online, ki omogoča prikaz fitocenoloških enot na tablici ali mobilnem telefonu. V storitvi smo pripravili tudi digitalni obrazec za zajem podatkov, ki nam je skupaj s povezavo z GPS-sistemom

**Fig. 1:** Digitalized polygons of stands of phytocenological associations and sampling line display

omogočal vnos podatkov o lastnostih objekta, ob hkratni določitvi lokacije popisovalca. Zbrani podatki se avtomatsko pretočijo v oblak, brž ko vzpostavimo povezavo z internetom.

Za popis lastnosti sekundarnih gozdnih prometnic v posameznih sestojih fitocenoloških združb smo izbrali stratificirano linijsko vzorčenje čez celotno gozdomobmočje v smeri severozahod-jugovzhod, vse od gozdov v bližini kraja Smrečje pa do gozdov v bližini Ljubljanskega vrha (slika 1). Zaradi možnosti slabega sprejema GPS-a smo linijo razširili na širino 10 m na vsako stran linije, s čimer smo zadostili natančnosti opreme tudi v najslabših razmerah. Popisovalec je hodil po tej liniji in je ob križanju sekundarne

**Preglednica 1:** Definicije, način meritve in kategorije v raziskavi merjenih parametrov**Table 1:** Definitions, measurement method and categories of measured parameters

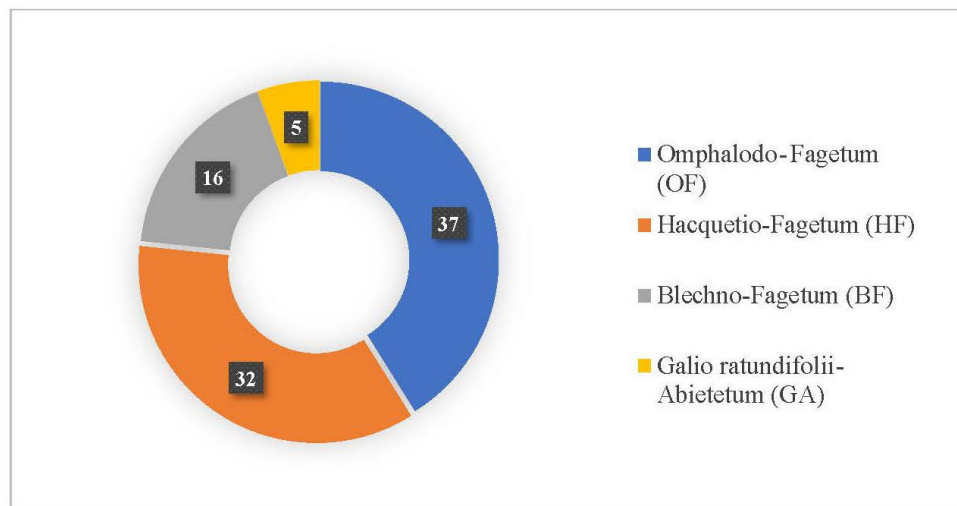
Merjen parameter	Definicija	Način meritve	Kategorije
<b>Globina kolesnic</b>	Razdalja od nivoja prometnice do najnižje točke kolesnice (cm). Nivo prometnice je razdalja med točkama raščeni tal na obeh straneh prometnice.	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ ročni meter</li> <li>○ nivelir</li> <li>○ merjeno pravokotno na smer prometnice</li> <li>○ ne upoštevamo narinjenega dela kolesnice</li> </ul>	Zvezna spremenljivka v rangu od 0 do 20 cm
<b>Širina prometnice</b>	Pravokotna razdalja med voženo in raščeno površino (cm)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ ročni meter</li> <li>○ izmera razdalje pravokotno na prometnico</li> </ul>	Zvezna spremenljivka v rangu od 200 do 430 cm
<b>Naklon prometnice</b>	Povprečje naklona prometnice navzgor in navzdol od profila (%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ padomer Suunto</li> </ul>	Zvezna spremenljivka v rangu od 0 do 40 %
<b>Erozijski procesi</b>	Prisotnost erozijskih procesov na profilu	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ vizualna ocena merilca</li> </ul>	Binarna spremenljivka 1 = Da 0 = Ne
<b>Kamnitost</b>	Prisotnost vidnega kamenja ali razgaljene matične podlage na prometnici	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ vizualna ocena merilca</li> </ul>	Kategorična spremenljivka <ul style="list-style-type: none"> <li>○ zemljata tla (manj kot 9,9 % vidnih kamnov)</li> <li>○ tla s posameznimi kamni (kamenje je prisotno na od 10–49,9 % profila)</li> <li>○ tla s prevladujočim kamenjem (kamenje je prisotno na od 50–89,9 % profila)</li> <li>○ matična podlaga (kamenje je prisotno na več kot 90 % profila)</li> </ul>
<b>Prisotnost korenin</b>	Prisotnost vidnega koreninskega sistema na prometnici	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ vizualna ocena merilca</li> </ul>	Kategorična spremenljivka <ul style="list-style-type: none"> <li>○ brez vidnih korenin (koreninski sistemi na prometnici je nepretrgan ter ni vidno poškodovan)</li> <li>○ posamezne korenine (koreninski pletež podpira maso strojev, vidne so posamezne večje korenine)</li> <li>○ veliko vidnih korenin (korenine so razgaljene in ponekod pretrgane)</li> <li>○ povsod vidna matična podlaga (korenine so na vsej površini prometnice pretrgane)</li> </ul>
<b>Kategorija prometnice</b>	Kategorija prometnice glede na izgled prometnice	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ vizualna ocena merilca</li> </ul>	Kategorična spremenljivka <ul style="list-style-type: none"> <li>○ glavne vlake (prometnice z očitnimi elementi gradnje - odkopne in nasipne brežine)</li> <li>○ stranske vlake (vlake brez vidnih elementov gradnje)</li> <li>○ sečne poti in pobegi (vidni sečni ostanki, sledi koles, ali viden posekan koridor)</li> </ul>

gozdne prometnice in linije popisal profil gozdne prometnice. Meritve smo opravljali na vseh sekundarnih gozdnih prometnicah, ki jih je merilec lahko zaznal. Zaradi dejstva, da so gozdne prometnice različno obremenjene, in zaradi nedostopnosti klasifikacije prometnic na objektu, smo jih glede na videz in obremenjenost razdelili na glavne vlake, ki so glavne in stranske, s čimer so mišljene manj obremenjene stranske vlake, in na sečne poti-pobege, ki so prometnice, po katerih je sečnja ali spravilo potekala le nekajkrat.

Popis smo opravljali od 13. 8. 2019 do 16. 8. 2019 v suhem vremenu. Pri terenskem delu meritev smo uporabljali mobilni telefon, submetrski GPS Trimble G1 za natančno določitev lokacije, padomer Suunto za določevanje naklona, ravno palico in ročni meter. V mobilno aplikacijo ArcGIS Collector smo poleg fitocenoloških

združb in linije vzorčenja vnesli še popisni obrazec za zajem indikatorjev, ki jih je bilo treba na posameznem profilu popisati. Na vsaki vzorčni točki smo popisali parametre, ki jih prikazujemo v preglednici 1, skupaj s podatki o definicijah posameznih parametrov, načinih meritve in uporabljenih kategorijah parametrov.

Ker kolesnic v raziskavi tako ne razumemo kot posledico dela posamezne tehnologije, temveč kot vsoto vseh vplivov gozdne proizvodnje na gozdna tla v preteklem gospodarjenju z gozdovi na celotnem obravnavanem območju, nismo spremljali vlažnosti tal in števila prehodov. Kamnitost na prometnicah je bila vizualno ocenjena s strani popisovalca. Povsem kamnita prometnica (100 %) tako pomeni, da je matična podlaga na prometnici povsem izpostavljena - tal torej ni več. V kategoriji posamezni kamni tla še obstajajo, le da iz njih



**Slika 2:** Število meritev po fitocenoloških združbah

**Fig. 2:** Number of measurements per individual phytocenological unit

gledajo posamezni kamni, v kategoriji zemljate podlage tla na prometnici v celoti obstajajo, le da je delež kamenja zelo nizek. Podatke o talnih tipih na profilih smo pridobili iz preseka lokacije profila in Pedološke karte Slovenije.

Pridobljene podatke smo statistično analizirali v programu JASP. Uporabili smo neparametrični Kruskal-Wallisov test, ki temelji na več neodvisnih vzorcih, in neparametrični Man-Whitneyev U test, ki temelji na dveh neodvisnih vzorcih.

### 3 REZULTATI

#### 3 RESULTS

Z metodo linijskega vzorčenja smo v sestojih štirih gozdnih združb opravili 90 meritev. Največ meritev je potekalo v sestojih gozdne združbe *Omphalodo-Fagetum*, kjer smo meritve naredili na 37 sekundarnih prometnicah, v sestojih združbe *Galio rotundifolii-Abietetum* pa le 5 meritev (slika 2). Majhno število meritev v omenjeni fitocenozi je bilo pričakovano, saj združba v izbrani vzorčni liniji predstavlja najmanjši delež od vseh preučevanih fitocenoloških združb.

#### 3.1 Vpliv fitocenološke združbe na globino kolesnic

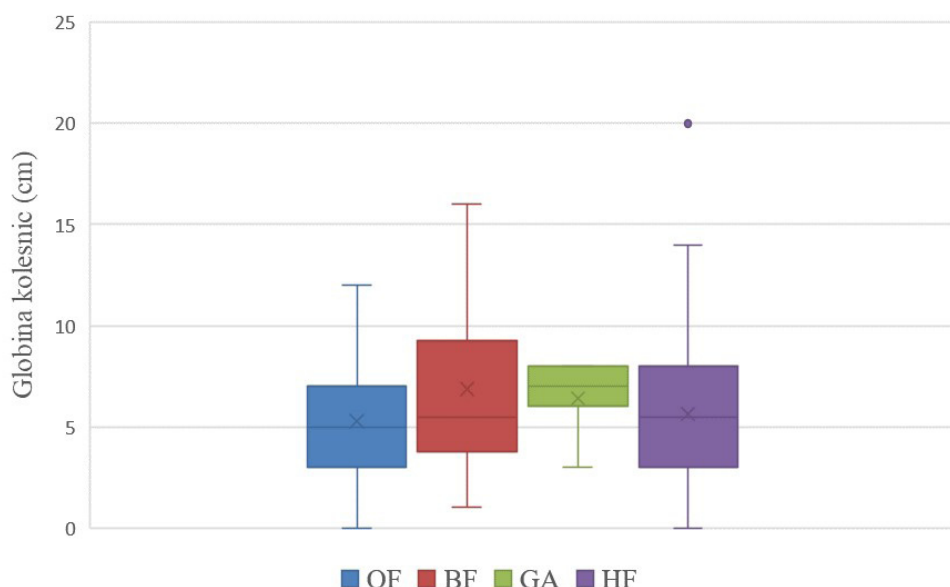
##### 3.1 Influence of phytocenological unit on tyre track depth

Povprečna globina kolesnic izmerjenih prometnic znaša 5,7 cm. Najgloblje kolesnice so bile ugotovljene v sestojih gozdne združbe *Blechno-Fagetum*, kjer so v povprečju merile 6,9 cm. Sledili so sestoji združbe *Galio rotundifolii-Abietetum* s 6,4 cm, sestoji združbe *Hacquetio-Fagetum* s 5,6 cm povprečne globine kolesnic, najmanjše globine pa v sestojih združbe *Omphalodo-Fagetum*, v povprečju 5,3 cm (glej slika 3).

Slika 3 prikazuje razlike v globini kolesnic med sestoji posameznih fitocenoloških združb. Ponazorjene so najmanjše ter največje vrednosti, prvi kvartil (Q1), mediana (Q2), povprečna vrednost (prikazano na sliki 3 z X), tretji kvartil (Q3) in osamelec. Le-ta predstavlja meritev na glavni vlaki z mehko zemljato podlago, na prometnici z naklonom 28 % ter z vodno erozijo na kolesnicah. Vsi omenjeni dejavniki vplivajo na dejstvo, da je globina kolesnice večja.

Standardni odklon, ki nam pove odstopanje podatka od povprečne vrednosti, je najmanjši v sestojih združbe *Galio rotundifolii-Abietetum* (slika 3). Glavni razlog majhnega odstopanja vidimo v majhnem številu meritev v sestojih te fitocenološke združbe. Največji standardni odklon zasledimo v sestojih združbe *Hacquetio-Fagetum*. Hipotezo, ki predvideva, da med posameznimi fitocenološkimi združbami obstajajo razlike v globini kolesnic, ne sprejmemo ( $p = 0,514$ ).

Popisanih je bilo 42 glavnih vlak, 34 stranskih vlak in 14 sečnih poti in pobegov (preglednica 2). Najgloblje kolesnice so v povprečju nastajale na glavnih gozdnih vlakah, kjer povprečna globina znaša 7,0 cm, sledijo stranske vlake s 5,8 cm ter sečne poti in pobegi z 1,9 cm. Pri slednjih je frekvenca prehodov izredno majhna, kar se posledično kaže pri najmanjši povprečni globini kolesnic. Meritve so pokazale največje razlike v globini kolesnic med glavnimi in stranskimi gozdnimi vlakami v sestojih združbe *Hacquetio-Fagetum* (preglednica 3). Glavne vlake (10,7 cm) imajo skoraj dvakratno globino kolesnic stranskih vlak (5,4 cm). Ugotovili smo statistično značilne razlike v globini kolesnic glede na kategorijo prometnic ( $p < 0,001$ ). Posamezne kategorije prometnic smo medsebojno analizirali še z Mann-Whitneyevim U testom, ki je pokazal statistične razlike tako med glavnimi vlakami ter sečnimi potmi in pobegi, kot



**Slika 3:** Razlike v globini kolesnic med sestoji različnih fitocenoloških združb

tudi stranskimi vlakami in sečnimi potmi in pobegi ( $p < 0,001$ ). Na podlagi zgornjih ugotovitev sprejmemo hipotezo, ki predvideva, da obstajajo značilne razlike v globini kolesnic med posameznimi kategorijami prometnic. Poleg razmerja med globino kolesnic in kategorijo prometnice v spodnji preglednici prikazujemo tudi povprečno globino kolesnic po posameznih talnih tipih, ki smo jih pridobili iz Pedološke karte Slovenije. Ugotovili smo, da so v sestojih gozdnih združb *Blechno-Fagetum* kolesnice na distričnih rjavih tleh s 7,00 cm ( $n = 9$ ) globlje kot na rendzinah s 6,71 cm ( $n = 7$ ) in da so v sestojih združbe *Hacquetio-Fagetum* kolesnice na evtričnih rjavih tleh s 7,75 cm ( $n = 4$ ) globlje kot na rendzinah s 5,3 cm ( $n = 28$ ). Podrobnejšo delitev glede na tip prometnice prikazujemo v preglednici 3.

**Preglednica 2:** Deskriptivna statistika izmerjenih vrednosti globine kolesnic

		Število meritev	Povprečna vrednost (cm)	Standardni odklon	Mediana (cm)
KATEGORIJA PROMETNIC	Glavne vlake	42	7,0	3,9	6
	Stranske vlake	34	5,8	2,8	6
	Sečne poti in pobegi	14	1,9	1,3	2
KAMNITOST	Zemljata tla	28	5,6	4,2	5
	Tla s posameznimi kamni	34	5,4	3,1	6
	Tla s prevladujočim kamenjem	28	6,3	3,7	5
PRISOTNOST KORENIN	Brez vidnih korenin	52	6,2	4,1	6
	Posamezne korenine	34	5,0	2,8	5
	Veliko vidnih korenin	4	5,5	2,5	6

**Fig. 3:** Differences in rut depth between stands of phytocenoological associationst

Na 28 meritvah profila smo popisali zemljata tla, na 34 meritvah tla s posameznimi kamni, 28 meritev pa je bilo opravljenih na tleh s prevladujočim kamenjem. V naših meritvah so se kot najbolj občutljiva tla za poškodbe gozdarske mehanizacij izkazala tla s prevladujočim kamenjem, kjer je globina kolesnic v povprečju znašala 6,3 cm. Najmanjšo globino kolesnic smo ugotovili na tleh s posameznimi kamni, kjer je le-ta znašala 5,4 cm (preglednica 2). Vpliv kamnitosti na globino kolesnic v naši raziskavi je statistično neznačilen ( $p = 0,622$ ). Večjih razlik v povprečni globini kolesnic med posameznimi kategorijami prometnic in kamnitostjo ni moč zaznati. Zemljata tla se izkažejo kot bolj izpostavljena poškodbam le pri glavnih vlakah, kjer nastajajo najgloblje kolesnice, v povprečju globoke 9,0 cm. Večjih

**Table 2:** Descriptive statistics of measured rut depth values

**Preglednica 3:** Razmerje med povprečno globino kolesnic (cm) talnega tipa in kategorijo prometnic po posameznih fitocenoloških enotah

Globina kolesnic (cm)	Glavne vlake	Stranske vlake	Sečne poti in pobegi
<b>Število meritev</b>	42	34	14
<b><i>Omphalodo-Fagetum</i> (OF)</b>	<b>5,7</b>	<b>5,8</b>	<b>2,6</b>
Rendzina	5,7	5,8	2,6
<b><i>Blechno-Fagetum</i> (BF)</b>	<b>7,4</b>	<b>6</b>	<b>1</b>
Distrična rjava tla	7,8		1
Rendzina	6,8	6	
<b><i>Galio rotundifolii-Abietetum</i> (GA)</b>	<b>3</b>	<b>7,3</b>	
Distrična rjava tla	3		
Rendzina		7,3	
<b><i>Hacquitio-Fagetum</i> (HF)</b>	<b>10,7</b>	<b>5,4</b>	<b>1,6</b>
Evtrična rjava tla	9	4	
Rendzina	12	5,5	1,6
<b>Skupno povprečje</b>	<b>7</b>	<b>5,8</b>	<b>1,9</b>

razlik pri stranskih vlakah ter sečnih poteh in pobegih ni opaziti (preglednica 4). Ugotovili smo, da najgloblje kolesnice nastajajo na kamnitih podlagah, ki zaradi talnega skeleta sicer veljajo za bolj odporna proti poškodbam pri delu z gozdno mehanizacijo (Košir, 2010). Globlje kolesnice utemeljujemo z vodnimi erozijskimi procesi, saj smo jih od skupno osmih ugotovljenih erozijskih procesov na kamniti podlagi popisali kar pet (preglednica 4). Treba je poudariti, da so meritve potekale na gozdnih prometnicah, ki so v rabi že več desetletij. Dejstvo je, da je bila večina vlak, ki smo jih označili kot kamnite, prvotno zemljata in so kamnite postale postopoma s človeškimi vplivi.

Sekundarne prometnice brez vidnih korenin so tvorile večino izmerjenih profilov s 52 meritvami. Povprečna globina kolesnic na prometnicah brez vidnih korenin je znašala 6,2 cm. Sledilo je 34 profilov, ki smo jih uvrstili v kategorijo s posameznimi koreninami, kjer je povprečna globina kolesnic znašala 5,0 cm, s kategorijo prometnice z veliko vidnih korenin pa smo zabeležili zgolj 4 profile, kjer je globina kolesnic v povprečju merila 5,5 cm (preglednica 2). Značilnih razlik

**Preglednica 4:** Razmerje globine kolesnic (cm) med kamnitostjo in posamezno kategorijo prometnic

Globina kolesnic (cm)	Glavne vlake	Stranske vlake	Sečne poti in pobegi	Skupno povprečje	Št. vodnih erozijskih procesov
Kamnita podlaga	6,8	6,3	2,7	6,3	5
Posamezni kamni	6,3	5,8	1,3	5,4	2
Zemljata podlaga	9,0	5,6	2,0	5,6	1
Skupno povprečje	7,0	5,8	1,9	5,7	

**Table 3:** Relationship between average rut depth (cm), soil type and road category by individual phytocenological units

v povezavi med globino kolesnic in koreninskim sistemom nismo ugotovili ( $p = 0,433$ ).

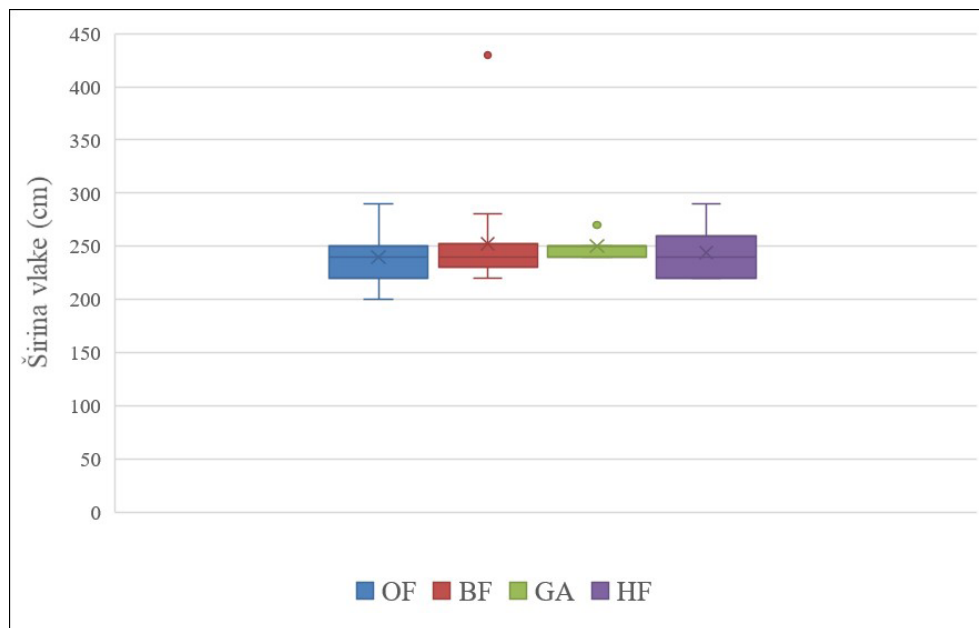
### 3.2 Vpliv fitocenološke združbe na širino prometnic

#### 3.2 Influence of phytocenological unit on trail width

Širina gozdnih prometnic je indikator, s katerim lahko ugotavljamo odnos med širino prometnice in širino stroja, iz njega lahko izračunavamo tudi potrebno tehnološko površino in količino motenih tal na objektu. V raziskavi smo ubrali drugačen pristop, saj same širine strojev, ki so bili uporabljani na prometnicah, ne poznamo, zato širino prometnice razumemo kot posledico uporabe gozdarske mehanizacije v določenem sestoju. Ker na širino prometnice poleg uporabljane tehnologije vpliva tudi matična podlaga, smo analizirali tudi porazdelitev širin prometnic glede na pojavnost v posamezni fitocenološki združbi.

Velikih razlik med širinami sekundarnih prometnic ni moč zaznati. Povprečna širina prometnice znaša 244,1 cm (preglednica 5). Najširše prometnice so

**Table 4:** Ratio of rut depth (cm) between visible surface rock on skid trails (%) and road category



**Slika 4:** Razlike v širini prometnice med sestoji posameznih fitocenoloških združb

**Fig. 4:** Differences in trail width between stands of individual phytocenological associations

v sestojih združbe kislega bukovega gozda (BF), kjer v povprečju merijo 252,5 cm. Najožje prometnice pa zasledimo v sestojih združbe dinarskega gozda bukve in jelke (OF), kjer v povprečju širina prometnic znaša 240,0 cm (slika 4).

razlik v širini prometnic po posameznih fitocenoloških združbah ni (slika 4). Hipoteze, ki pravi, da obstajajo značilne razlike v širini sekundarnih prometnic med posameznimi združbami, ne sprejmemo ( $p = 0,571$ ).

Standardni odklon je tako kot pri analizi globine kolesnic najmanjši v sestojih združbe *Galio rotundifolii-Abietetum* (GA). Največja odstopanja zasledimo v *Blechno-Fagetum* (BF). Glavni razlog za to je osamelec, ki močno odstopa od povprečja, a smo vendarle mnenja, da je omenjena prometnica vlaka. Razvidno je, da statističnih

V nadaljevanju nas je zanimalo, kako se znotraj fitocenoz porazdeljujejo povprečja širin prometnic in globin kolesnic glede na kategorijo prometnic, kar prikazujemo v spodnji preglednici 5. Najširše prometnice zasledimo v sestojih združbe *Hacquetio-Fagetum*, kjer povprečna širina meri 265,7 cm, najožje pa v sestojih združbe *Omphalodo-Fagetum* (OF) s 229,2 cm.

**Preglednica 5:** Povprečna širina prometnice (cm) in globina kolesnic (cm) glede na kategorijo prometnice po sestojih posameznih fitocenoloških združb

**Table 5:** Average trail width (cm) and rut depth (cm) per road category and stands of phytocenological associations

Fitocenološka enota	Povprečna širina prometnice (cm)	Povprečna globina kolesnic (cm)
<b>Glavne vlake</b>	254,3	7,0
<i>Omphalodo-Fagetum</i> (OF)	250,0	10,7
<i>Blechno-Fagetum</i> (BF)	255,0	7,4
<i>Galio rotundifolii-Abietetum</i> (GA)	250,0	5,7
<i>Hacquetio-Fagetum</i> (HF)	265,7	3,0
<b>Stranske vlake</b>	235,0	5,8
<i>Omphalodo-Fagetum</i> (OF)	229,2	5,4
<i>Blechno-Fagetum</i> (BF)	240,0	6,0
<i>Galio rotundifolii-Abietetum</i> (GA)	250,0	5,8
<i>Hacquetio-Fagetum</i> (HF)	235,3	7,3
<b>Sečne poti in pobegi</b>	235,7	1,9
<i>Omphalodo-Fagetum</i> (OF)	226,0	1,6
<i>Blechno-Fagetum</i> (BF)	230,0	1,0
<i>Hacquetio-Fagetum</i> (HF)	242,5	2,6
<b>Skupno povprečje</b>	244,1	5,7



#### 4 RAZPRAVA IN SKLEPI

#### 4 DISCUSSION AND CONCLUSIONS

S terensko preverbo digitaliziranih fitocenoloških elaboratov se je izkazalo, da se meje fitocenoloških združb, pridobljene v 60-ih in 70-ih letih, ponekod ne ujemajo z današnjim stanjem. Pojavljajo se manjša odstopanja, v merilu nekaj metrov, do nekaj deset metrov, ki so posledica vseh zbranih napak tako pri samem določevanju fitocenoz in pretvorbi v kartno obliko - elaborat, kot tudi kasneje pri našem skeniranju, obdelovanju, vpenjanju in digitalizaciji elaborata in spremembi gozdne krajine v vmesnem obdobju. Vprašljiva natančnost se pojavlja zlasti pri manjših fitocenozah in na stičiščih več fitocenoloških združb. V želji po višji natančnosti podatkov bi se v prihodnje takim mestom morali izogibati in meritve opravljati globlje v sestojih posamezne združbe, kjer je določitev fitocenoz nedvoumna, vsekakor pa se kaže tudi potreba po fitocenološkem preverjanju veljavnosti uporabljenih kart.

Analiza rezultatov je pokazala, da značilnih razlik v globini kolesnic med sestoji posameznih fitocenoloških združb ni moč zaznati ( $p = 0,514$ ). Najgloblje kolesnice so sicer nastale v sestojih združbe *Blechno-Fagetum* s 6,9 cm globine, najmanjše pa v *Omphalodo-Fagetum* s povprečjem 5,3 cm globine. Razlike so statistično neznačilne, pričakovali pa smo, da bodo kolesnice najgloblje v sestojih združbe *Blechno-Fagetum*, za katere je značilna hitro preperela matična podlaga, ki omogoča srednje do globoka tla (Marinček, 1970) in posledično nakazuje na večjo občutljivost tal za vožnjo z gozdarsko mehanizacijo, manjše pa v sestojih združbe *Omphalodo-Fagetum*, za katera so značilna kraška območja z apnenčasto in dolomitno matično podlago (Puncer, 1980) ter plitvimi tlemi, kar zaradi velike vsebnosti skeleta povečuje odpornost gozdnih tal in posledično vpliva na manjše vrednosti globine kolesnic.

Ugotovili smo statistično značilne razlike med globino kolesnic in kategorijo prometnic. Najgloblje kolesnice so se sicer pojavljale na glavnih vlakah (7,0 cm), sledile so stranske vlake (5,8 cm). Razlog vidimo v tem, da so glavne vlake običajno bolj obremenjene od drugih kategorij sekundarnih prometnic. Po pričakovanjih so najbolj plitve kolesnice pripadale sečnim potem in pobegom (1,9 cm). Treba je poudariti, da je globina kolesnic na vlakah rezultat večdesetletne izpostavljenosti gozdni mehanizaciji, medtem ko so kolesnice na sečnih poteh in pobegih plod nekajkratne obremenitve. Vpliva kamnitosti na globino kolesnic v naši raziskavi nismo ugotovili. Kot najmanj odporna tla na vožnjo gozdarske mehanizacije so se izkazala tla s prevladujočim kamenjem, kjer je povprečna globina kolesnic znašala 6,3 cm. Najbolj plitve kolesnice smo ugotovili na tleh s

posameznimi kamni, s povprečno globino 5,4 cm. Zemljata tla, kjer smo v splošnem pričakovali najgloblje kolesnice, so se kot najbolj občutljiva izkazala le pri glavnih vlakah, kjer je povprečna globina kolesnic 9,0 cm. Značilnih razlik v povezavi globine kolesnic s koreninskim sistemom nismo ugotovili. Iz literature je moč zaznati, da obstoj koreninskega sistema v tleh povečuje odpornost tal (Soane, 1990), česar v naši raziskavi nismo potrdili ( $p = 0,433$ ).

Rezultati naše študije so nepričakovani, saj so tla v sestojih združb *Galio rotundifolii-Fagetum* in *Blechno-Fagetum* globoka (distrična tla) z malo površinske skalovitosti, ki so po naših pričakovanjih močno občutljiva za vožnjo mehanizacije ter sestoji združb *Omphalodo-Fagetum* in *Hacquetio-Fagetum*, za katere so značilna tla, ki jih uvrščamo v rendzine in rjava pokarbonatna tla z veliko površinsko kamnitostjo na apnencu in visoko skeletnostjo na dolomitu, za katere smo pričakovali nizko občutljivost za zbijanje tal. Zato smo napravili primerjavo med pedološko karto in lokacijami profilov. Ugotovili smo, da se rendzine pojavljajo v vseh združbah, za kar je lahko kriva neustrezna natančnost fitocenoloških kart, ker pa nismo analizirali lastnosti tal na terenu, ne moremo izločiti niti nenatančnosti pedoloških kart. Ugotavljamo, da je v prihodnjih raziskavah več poudarka treba nameniti pedološkim analizam tal, saj so ključna komponenta za ugotavljanje povezav med fitocenološkimi združbami in občutljivostjo tal.

Značilnih razlik v širini prometnic glede na fitocenološko združbo nismo ugotovili. Razlogi za to so v nepoznavanju dejanske obremenjenosti prometnic in v dejstvu, da nismo ugotavljali lastnosti matične podlage na profilih. Iz ugotovljenih povprečnih širin prometnic lahko zaključimo, da so na celotnem območju uporabljali le traktorsko tehnologijo spravila lesa, saj podatki iz dosedanjih raziskav kažejo na večje širine gozdnih prometnic v primeru uporabe strojne sečnje, kjer je minimalna povprečna širina gozdnih prometnic po strojni sečnji znašala 295 cm, največja pa 417 cm po sečnji in spravilu s popolno strojno sečnjo (Mihelič, 2014). Glede vpliva naklona na globino kolesnic je bilo ugotovljeno, da se globina kolesnic veča s povečevanjem naklona kolesnic (0,61cm/10 % naklona) ter da se globine kolesnic povečujejo z naklonom ne glede na kategorijo kamnitosti podlage, vendar sta bila oba vpliva statistično neznačilna (Poje in sod., 2020).

Raziskav na področju ugotavljanja občutljivosti gozdnih tal z uporabo fitocenoz nismo zasledili, zato je pričujoča raziskava in v njej zastavljena metodologija prvi takšen poskus. Izkušnje so pokazale, da je treba opraviti večje število meritev, predvsem v sestojih manj zastopanih fitocenoloških združb in tako nad-

graditi obstoječo metodo. Prav tako je treba napraviti pedološke analize in ugotoviti tip tal. Boljši indikator občutljivosti tal bi zagotovo bila analiza novonastalih kolesnic, a zaradi velike zahtevnosti raziskave to ni realno. Globine kolesnic (ki jih razumemo kot vsoto vseh vplivov gozdne proizvodnje na gozdna tla) so se izkazale kot dober indikator občutljivosti tal, zato jih bomo uporabljali še naprej. Vseeno pa je treba v prihodnje raziskave dodati večji nabor pojasnjevalnih spremenljivk, tip tal, teksturo tal, naklon gozdne prometnice, globino tal in podatke o matični podlagi.

Z zastavljeno metodo smo želeli preveriti povezavo med občutljivostjo tal in gozdnimi združbami. Metoda je bila preprosta in je omogočala enostavno pridobivanje podatkov, če smo bili na mestu meritve. Večje težave smo imeli pri sledenju vzorčni liniji, ki je potekala v neodvisnosti od terenskih razmer. Pridobivanje podatkov bi bilo lažje, če bi imeli na voljo natančen popis gozdnih vlak in sečnih poti. Še enkrat naj poudarimo, da globine kolesnic v raziskavi razumemo kot vsoto vseh vplivov gozdne proizvodnje na gozdna tla v preteklem gospodarjenju z gozdovi in niso bile ugotovljene kot direktna interakcija med strojem in tlemi, kar je treba upoštevati pri tolmačenju rezultatov.

Z ugotovitvami, pridobljenimi v raziskavi, predlagamo, da se raziskovanje na tem področju nadaljuje. V ospredje postavljamo tudi problematiko digitalizacije obstoječih fitocenoloških elaboratov, ki bi jih bilo za uporabo treba digitalizirati. Predlagamo tudi terensko preverbo in kartiranje obstoječih fitocenoloških elaboratov, ki so bogat in dragocen vir informacij o gozdnih združbah. Relief, klima, tla in ekspozicija kot dejavniki pedogeneze (Sušin, 1983; Duchaufour, 2012) nedvomno vplivajo na rastišča in posledično na rastlinske združbe, zato moramo poiskati povezave med ključnimi pedološkimi, fitocenološkimi, geološkimi in klimatskimi dejavniki s končnim ciljem ugotoviti odnos med fitocenozi in občutljivostjo gozdnih tal za vožnjo z gozdarsko mehanizacijo.

## 5 POVZETEK

### 5 SUMMARY

Forest soils are a sensitive part of the forest ecosystem. Because they are non-renewable and irreplaceable for the establishment of terrestrial ecosystems, forest soils must be protected and properly managed. Despite extensive legislation, there are still no clear guidelines as to the extent to which soils can be used without impairing their properties and fertility. The group of pedogenetic factors responsible for soil susceptibility is also reflected in phytocenoses, which is why we have relied on phytocenology to determine the

susceptibility of soils to damage. We were interested in whether soil susceptibility can be determined using accurate data on forest plant communities. The data originated from detailed phytocenological mapping carried out in the 1960s and 1970s. Based on the criteria of diversity, distribution and presence in GE Zaplana, four forest associations were determined: *Blechno-Fagetum*, *Galio rotundifolii-Abietetum*, *Hacquetio-Fagetum* and *Omphalodo-Fagetum*. The collected data was then uploaded to ArcGIS Collector, where it was entered into prepared forms. Tyre track depth was chosen as the main indicator of soil susceptibility.

We carried out 90 measurements of skid trail profiles on a 13.9 km long sample transect. The measurements were carried out on forest infrastructure within forest areas. The following parameters were determined at each measurement point: tyre track depth, trail width, track slope, amount of rock present, presence of roots and road category. The average track depth was 5.7 cm. The deepest tyre tracks were formed in *Blechno-Fagetum* with a depth of 6.9 cm, followed by *Galio rotundifolii-Abietetum* with a depth of 6.4 cm and *Hacquetio-Fagetum* with a depth of 5.6 cm, while the shallowest tracks were formed in *Omphalodo-Fagetum* with a depth of 5.3 cm. No significant statistical differences in tyre track depth were observed between the individual associations ( $p = 0.514$ ). However, differences were found in the dependence of tyre track depth on the road category, which was also statistically confirmed ( $p < 0.001$ ). The deepest tracks on average were found on primary logging trails with a depth of 7.0 cm, followed by secondary logging trails with a depth of 5.8 cm and skid trails with a depth of 1.9 cm. When analysing the relationship between the ratio of the tyre track depth and the amount of rock present, the deepest tyre tracks were found in the category consisting mainly of stones, with an average tyre track depth of 6.3 cm, followed by earthy soils with an average depth of 5.6 cm and soils with individual stones with a depth of 5.4 cm. No significant correlation was found between tyre track depth and the amount of rock ( $p = 0.622$ ). We found no statistical differences in the relationship between tyre track depth and the presence of roots ( $p = 0.433$ ). We also did not find large differences in trail width between the associations. The widest tracks were measured in the *Blechno-Fagetum* forest association (252.5 cm) and the narrowest in the *Omphalodo-Fagetum* (240.0 cm) association.

With the established method, which is the first of its kind in this field, we wanted to study the relationship between different phytosociological units and the susceptibility of soil to damage. Although no statisti-

cally significant relationship was found between soil susceptibility and phytocenoses, we suggest that similar research should be continued in the future.

## 6 ZAHVALA

## 6 ACKNOWLEDGEMENTS

Raziskavo je finančno podprla Pahernikova ustanova, za kar se najlepše zahvaljujemo.

## 7 VIRI

## 7 REFERENCES

- Asikainen A., Routa J., Laitila J., Riala M., Prinz R. in sod. 2015. Innovative, effective and sustainable technology and logistics for forest residual biomass. *Jyväskylä, Siirtopaino*: 40 str.
- Batey T. 2009. Soil compaction and soil management a review. *Soil Use and Management*, 25, 4: 335–345.
- 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.
- Duchaufour R. 2012. *Pedology: pedogenesis and classification*. Springer Science & Business Media: 476 str.
- FAO. 2018. Global forest products facts and figures report. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome: 210 str.
- Fitocenološki elaborat GE Zaplana. 1964. Ljubljana, Biro za gozdarsko načrtovanje: 4 zv.
- Jones T.A., McPherson S. 2012. Comparative effects of full-tree and tree-length shelterwood harvesting on residual tree damage and coarse woody debris volume in the Great Lakes-St. Lawrence forest. *Forestry Chronicle*, 88, 6: 736–746.
- Košir B. 2010. Gozdna tla kot usmerjevalec tehnologij pridobivanja lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 80 str.
- Marinček L. 1970: Bukov gozd z rebrenjačo. Zbornik inštituta za gozdno in lesno gospodarstvo Slovenije, 8: 93–130.
- Mihelič, M. 2014: Gospodarnost in okoljski vidiki tehnologij pridobivanja lesnih sekancev za energetske rabo: doktorska disertacija. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozaložba: 285 str.
- Nyle B.C., Weil R.R. 2008. *The nature and properties of soils*. Prentice Hall: 975 str.
- Ogrin G. 2019. Ugotavljanje občutljivosti gozdnih tal na poškodbe zaradi pridobivanja lesa v GEE Zaplana: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozaložba: 32 str.
- Pezdevšek Malovrh Š., Mihelič M., Krč J. 2018. Varstvo gozdnih tal iz vidika zakonodaje: ali obstajajo omejitve pri rabi sodobnih tehnologij? *Acta Silvae et Ligni*, 115: 43–54.
- Piškur M., Krajnc N. 2007. Pomen gozdov in rabe lesa za bilanco CO<sub>2</sub> v Sloveniji. V: *Podnebne spremembe: vpliv na gozd in gozdarstvo*. Jurc M. (ur.). (Studia forestalia Slovenica, 130). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 75–86.
- 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.
- Poje A., Ziesak M., Mihelič M., Hribernik B., Leban V. 2020. Naklon terena in poškodbe tal pri pridobivanju lesa. *Gozdarski vestnik*, 78, 7–8: 255–269.
- Puncer I. 1980. Dinarski jelovo-bukovi gozdovi na Kočevskem. *Razprave / Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Razred za prirodoslovne vede*, 22, 6: 407–561.
- Rozman A. 2018. Gozdna fitocenologija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, (osebni vir 24. 8. 2019).
- Saarilahti M. 2002. Project deliverable D2 on soil interaction model. Helsinki, University of Helsinki, Department of Forest Resource Management: 87 str.
- Soane B.D. 1990. The role of organic matter in soil compactibility: a review of some practical aspects. *Soil Tillage Research*, 16: 179–201.
- Solgi A., Naghdi R., Labelle E.R., Behjou F.K., Hemmati V. 2019. Evaluation of different best management practices for erosion control on machine operating trails. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 40, 2: 319–325.
- Spinelli R., Magagnotti N., Nati C. 2010. Benchmarking the impact of traditional small-scale logging systems used in Mediterranean forestry. *Forest Ecology and Management*, 260, 11: 1997–2001.
- Spinelli R., Magagnotti N., Cavallo E. in sod. 2019. Reducing soil compaction after thinning work in agroforestry plantations. *Agroforestry Systems* 93: 1765–1779.
- Sušin J. 1983. *Kmetijski tehniški slovar: I. knjiga, 1. zvezek: nauk o tleh*. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 36 str.
- Urbančič M., Simončič P., Prus T., Kutnar L. 2005. Atlas gozdnih tal Slovenije. Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije, Gozdarski vestnik in Gozdarski inštitut Slovenije: 100 str.
- Várallyay G. 2007. Soil resilience (Is soil a renewable natural resource?). *Cereal Research Communications*, 35, 2: 1277–1280.
- Vrščaj B., Repe B., Simončič P. 2017. *The soils of Slovenia*. Springer: 234 str.
- 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., 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.