

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Simon LEVSTIK

**TALNE LASTNOSTI KOT OSNOVA ZA
NAPOVEDOVANJE VOLUMSKE GOSTOTE TAL**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2010

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Simon LEVSTIK

**TALNE LASTNOSTI KOT OSNOVA ZA NAPOVEDOVANJE
VOLUMSKE GOSTOTE TAL**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**SOIL PROPERTIES AS A BASIS FOR PREDICTION OF SOIL
BULK DENSITY**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2010

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija agronomije. Opravljeno je bilo na Centru za pedologijo in varstvo okolja Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, kjer so bile opravljene vse kemijske analize. Talni profili so bili izkopani na območju Slovenije.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je za mentorico imenovala doc. dr. Heleno GRČMAN.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Franc BATIČ
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Članica: doc. dr. Helena GRČMAN
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Članica: doc. dr. Marjetka SUHADOLC
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Datum zagovora:

Delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svojega diplomskega dela v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je delo, ki sem ga oddal v elektronski obliki, identično tiskani verziji.

Simon LEVSTIK

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Dn
- DK UDK 631.431:631.435 (043.2)
- KG pedologija/talne lastnosti/pedotransfer funkcije/volumska gostota/delež organske snovi /tekstura tal
- KK AGRIS P30/P33
- AV LEVSTIK, Simon
- SA GRČMAN, Helena (mentor)
- KZ SI - 1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
- ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
- LI 2010
- IN TALNE LASTNOSTI KOT OSNOVA ZA NAPOVEDOVANJE VOLUMSKE GOSTOTE TAL
- TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)
- OP VIII, 33, [1] str., 10 pregl., 14 sl., 22 vir.
- IJ sl
- JI sl/en
- AI V diplomskem delu smo primerjali pedotransfer funkcije za napovedovanje volumske gostote kmetijskih tal. Vzorčili smo na štirih lokacijah v Sloveniji: Moškanjci na Ptujskem polju, Kostrlag nad Izolo, Gore nad Hrastnikom, Spodnji Brnik v Cerkljah na Gorenškem. Delo je zajemalo izkop talnih profilov do globine 35 cm, osnovni opis tipa tal, vzorčenje neporušenih vzorcev tal ter analizo volumske gostote tal, deleža skeleta (delci > 2 mm), teksture, deleža organske snovi oziroma deleža organskega ogljika. Na osnovi pridobljenih podatkov je sledila primerjava med izmerjeno in ocenjeno volumsko gostoto tal. Primerjali smo objavljeno eno slovensko in dvanajst v tujini razvitih pedotransfer funkcij. Za najbolj primerni pedotransfer funkciji od uporabljenih, sta se izkazali pedotransfer funkciji za globja plast tal: Harrison in Bocoock (1981, cit. po De Vos in sod., 2005) ter Honeysett in Ratkowsky (1989, cit. po De Vos in sod., 2005). Standardni odklon napake napovedi (SPDE) je bil 0,02 pri obeh podotransfer funkcijah ter koeficient determinacije (R_p^2) 0,51 in 0,53. Ugotovili smo odvisnost volumske gostote tal od deleža organske snovi oziroma deleža organskega ogljika ($R_p^2 = 0,55$).

KEY WORDS DOCUMENTATION

- DN Dn
- DC UDC 631.431:631.435 (043.2)
- CX pedology/soil properties/pedotransfer functions/bulk density/organic matter content /soil texture
- CC AGRIS P30/P33
- AU LEVSTIK, Simon
- AA GRČMAN, Helena (supervisor)
- PP SI - 1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
- PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy
- PY 2010
- TI SOIL PROPERTIES AS A BASIS FOR PREDICTION OF SOIL BULK DENSITY
- DT Graduation thesis (University studies)
- NO VIII, 33, [1] p., 10 tab., 14 fig., 22 ref.
- LA sl
- AL sl/en
- AB In the thesis different pedotransfer functions for soil bulk density prediction were compared. Four locations in Slovenia: Moškanjci at Ptujsko polje, Kostrelag above Izola, Gore above Hrastnik, Spodnji Brnik at Cerklje na Gorenškem were selected for soil sampling. Soil profiles (depth 35 cm) were excavated, basic soil description was done, undisturbed soil samples were sampled for further analyses: soil bulk density, skeleton (particles > 2 mm) content soil texture and organic matter content. Based on the data, a comparison between the measured and estimated bulk density was made. Different published pedotransfer functions were used: one slovene and twelve pedotransfer functions developed in other countries. The pedotransfer function for subsoils: Harrison and Boccock (1981, op cit De Vos et al., 2005) and Honeysett and Ratkowsky (1989, op cit De Vos et al., 2005) proved to be the most suitable for our agricultural soils. Standard deviation of the prediction error (SPDE) was 0,02 by both pedotransfer functions and Coefficient of determination (R_p^2) was 0,51 and 0,53. A correlation of bulk density and soil organic matter was found ($R_p^2 = 0,55$).

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	III
Key words documentation (KWD)	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VI
Kazalo slik	VII
Okrajšave in simboli	VIII
1 UVOD	1
1.1 POVOD ZA IZDELAVO DIPLOMSKEGA DELA	1
1.2 NAMEN NALOGE	1
1.3 DELOVNE HIPOTEZE	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 TLA	3
2.1.1 Namen raziskav tal	3
2.1.1.1 Vzorčenje tal	4
2.1.1.2 Tekstura tal	4
2.1.1.2.1 Teksturna klasifikacija	4
2.1.1.3 Organska snov v tleh	6
2.2 VOLUMSKA GOSTOTA TAL IN PEDOTRANSFER FUNKCIJE	6
3 MATERIALI IN METODE	8
3.1 IZBOR VZORČNIH LOKACIJ IN IZKOP TALNIH PROFILOV	8
3.2 ANALITSKE METODE	11
3.2.1 Meritev volumske gostote tal in deleža skeleta	11
3.2.2 Mehanska analiza teksture tal	11
3.2.3 Določitev organske snovi v tleh	12
3.3 IZBOR PEDOTRANSFER FUNKCIJ ZA IZRAČUN VOLUMSKE GOSTOTE TAL	12
4 REZULTATI	14
4.1 IZMERJENA VOLUMSKA GOSTOTA TAL	14
4.2 TEKSTURA TAL IN DELEŽ ORGANSKE SNOVI V TLEH	18
4.3 PEDOTRANSFER FUNKCIJE TAL	21
5 RAZPRAVA IN SKLEPI	25
5.1 RAZPRAVA	25
5.2 SKLEPI	27
6 POVZETEK	28
7 VIRI	30
ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Teksturni razredi ameriške teksturne klasifikacije	5
Preglednica 2: Volumske gostote tal in volumske gostote tal brez skeleta ter pripadajoči masni in volumski delež skeleta na orani in neorani lokaciji Moškanjci	14
Preglednica 3: Volumske gostote tal in volumske gostote tal brez skeleta ter pripadajoči masni in volumski delež skeleta na orani lokaciji Spodnji Brnik	14
Preglednica 4: Volumske gostote tal in volumske gostote tal brez skeleta ter pripadajoči masni in volumski delež skeleta na orani (oljčnik) in orani (njiva) lokaciji Koštrlag	15
Preglednica 5: Volumske gostote tal in volumske gostote tal brez skeleta ter pripadajoči masni in volumski delež skeleta na orani in neorani lokaciji Gore	15
Preglednica 6: Podatki za teksturo tal in delež organske snovi vzorcev na lokaciji Moškanjci	19
Preglednica 7: Podatki za teksturo tal in delež organske snovi vzorcev na lokaciji Spodnji Brnik	19
Preglednica 8: Podatki za teksturo tal in delež organske snovi vzorcev na lokaciji Koštrlag	20
Preglednica 9: Podatki za teksturo tal in delež organske snovi vzorcev na lokaciji Gore	20
Preglednica 10: Statistični podatki trinajstih različnih pedotransfer funkcij za vzorce na vseh štirih vzorčnih lokacijah	21

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Teksturni trikotnik ameriške teksturne klasifikacije	5
Slika 2: Slovenija in lokacije vzočenja tal	8
Slika 3: Slika cilindrov, kladiva in sonde	9
Slika 4: Slika vzorčenja na lokaciji Spodnji Brnik	10
Slika 5: Slika talnega izkopa na lokaciji Spodnji Brnik za odvzem vzorcev tal	10
Slika 6: Volumska gostota v odvisnosti od globine tal za vzorce na lokaciji Moškanjci (orana tla)	16
Slika 7: Volumska gostota v odvisnosti od globine tal za vzorce na lokaciji Spodnji Brnik (orana tla)	17
Slika 8: Volumska gostota v odvisnosti od globine tal za vzorce na lokaciji Koštrlag (oljčnik)	17
Slika 9: Volumska gostota v odvisnosti od globine tal za vzorce na lokaciji Gore (orana tla)	18
Slika 10: Povezava med izmerjeno volumsko gostoto suhega vzorca in deležem gline v vzorcih	22
Slika 11: Povezava med izmerjeno volumsko gostoto suhega vzorca in deležem melja v vzorcih	22
Slika 12: Povezava med izmerjeno volumsko gostoto suhega vzorca in deležem peska v vzorcih	23
Slika 13: Povezava med izmerjeno volumsko gostoto suhega vzorca in deležem organske snovi v vzorcih	23
Slika 14: Povezava med izmerjeno volumsko gostoto suhega vzorca in globino vzorčenja	24

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

Okrajšava	Pomen
$\hat{\rho}_{b,i}$	Izmejena volumska gostota tal
$\rho_{b,i}$	Napovedana (ocenjena) volumska gostota tal
ρ_{vol}	Volumska gostota tal
$^{\circ}\text{C}$	Stopinj Celzija
% org C	Delež organskega ogljika
% org snovi	Delež organske snovi
% gline	Delež gline
% melja	Delež melja
% peska	Delež peska
MPE	Pozivni oz. negativni bias regresijskega modela
n	Število vseh opazovanj
RMSPE	Mera skupne napake modela
R_p^2	Koeficient determinacije
SDPE	Standardni odklon napake napovedi

1 UVOD

Volumska gostota je pomemben podatek o tleh, ki ga potrebujemo pri različnih pedoloških študijah: vrednotenju mehanske obdelave tal, pri vrednotenju sposobnosti tal za zadrževanje vode in vplivu rabe zemljišč na talne lastnosti, pri ocenjevanju mobilnosti potencialno toksičnih spojin v talnih profilih ter pri računanju zalog posameznih snovi v tleh. Na volumsko gostoto tal vplivajo druge talne lastnosti, predvsem tekstura, organska snov, delež skeleta, strukturnost in prekoreninjenost tal.

Volumsko gostoto tal ugotavljamo z merjenjem volumna neporušenih talnih vzorcev, ki jih večinoma vzorčimo s pomočjo cilindrov različnih velikosti. V bazi digitalne pedološke karte 1 : 25 000 (Pedološka karta Slovenije) so zbrani podatki o osnovnih talnih lastnostih za več kot 1700 talnih profilov, sorazmerno malo podatkov pa je na voljo o volumski gostoti kmetijskih tal, kar je pogosto ovira pri specialnih študijah. Volumsko gostoto tal lahko izračunamo oziroma napovemo s pomočjo pedotransfer funkcij, ki so postavljene na osnovi regresijskih zvez med volumsko gostoto tal in drugimi talnimi lastnostmi (Benites in sod., 2007; De Vos in sod., 2005; Heuscher in sod., 2005).

1.1 POVOD ZA IZDELAVO DIPLOMSKEGA DELA

V Sloveniji za kmetijska tla še nimamo sistematično zbranih podatkov o volumski gostoti tal. Omenjene meritve so bile po zadnjih podatkih v Sloveniji zbrane le za gozdna tla (Urbančič in sod., 2007; Skudnik, 2010). V okviru diplomske naloge smo želeli pridobiti podatke o volumski gostoti in osnovnih talnih lastnostih različnih kmetijskih tal v Sloveniji in ocenili primernost obstoječih tujih pedotransfer funkcij za slovenska tla. Zbrani podatki bodo primerni tudi za kasnejšo uporabo pri postavljanju pedotransfer funkcij za slovenska tla.

1.2 NAMEN NALOGE

Namen diplomske naloge je zbrati podatke o volumski gostoti tal in pripadajočih talnih lastnostih (skeletnost, organska snov, tekstura). Rezultati diplomske naloge bodo pripomogli k ugotovitvi, v kolikšni meri v tujini razvite pedotransfer funkcije napovejo vsebnost volumske gostote za kmetijska tla v Sloveniji ter možen vpliv posameznih lastnosti tal na odstopanja.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Za opravljeno raziskavo smo postavili naslednji delovni hipotezi:

1. Pedotransfer funkcije so bile postavljene na izbranih vzorcih, z drugačnimi lastnostmi in zato niso primerne za slovenska tla.
2. Posamezne talne lastnosti (vsebnost organske snovi, skeletnost, tekstura tal idr.) različno vplivajo na volumsko gostoto tal.

2 PREGLED OBJAV

2.1 TLA

Tla lahko definiramo kot plašč iz preperelih kamnin na kopenski površini Zemlje, ki vsebuje minerale in organske snovi, vodo, zrak in žive organizme ter omogoča rast kopenskimi rastlinam. Tla nastajajo v daljših časovnih obdobjih kot posledica vpliva tlotvornih dejavnikov na matično kamnino (Leštan, 2002). Tla so stičišče med litosfero in atmosfero. Nastajajo s preperevanjem kamninske osnove ter razgradnjo odmrlih rastlinskih ostankov in tvorbo humusa. So kompleksen sistem organskih in mineralnih snovi z vmesnimi praznimi prostori, kjer se zadržujeta talna raztopina in zrak (Grčman in Zupan, 2008). Trifazna zgradba tal velja kot zelo zapleteno in dinamično naravno okolje, ki ga oblikujejo, spreminjajo in mu dajejo značilne lastnosti številni fizikalni, kemijski in biološki procesi kot so: razgradnja in mineralizacija organskih snovi, preperevanje mineralnih snovi, sorpcija in desorpcija hranil, mineralov in onesnažil na talne delce, nastajanje in obarjanje različnih kompleksov idr.

2.1.1 Namen raziskav tal

Z napredkom znanosti je človek odkrival tudi nastanek in sestavo tal ter spoznaval dejavnike, ki vplivajo na te procese. Sprva je bila osredotočenost predvsem z vidika rodovitnosti, kasneje pa tudi z vidika njihovega nastanka. Skladno z razvojem fizike, kemije in drugih sorodnih ved, je prišlo do razvoja metod raziskovanja tal. Ugotovljeno je bilo, da tla niso nekakšna gmota naključno pomešanega materiala, ampak tudi, da so tla naravno telo, ki imajo svoje zakonitosti in svoj logičen razvoj v prostoru in času. Z razvojem pedologije, kot imenujemo nauk o tleh, je znanost prišla do rezultatov raziskovanj usmerjenih neposredno v uporabo v kmetijstvu in gozdarstvu, pri prostorskem planiranju in urbanizaciji idr. Od prej navedenih ima v današnjem času največji pomen in neposredno uporabo pridobljenih rezultatov pedoloških raziskav ravno kmetijstvo. Analize tal so potrebne za ugotavljanje potreb gnojenja in rodovitnosti tal, za uspešno obrambo pred erozijo tal, za preprečevanje zbitosti tal in lahko tudi za izboljšanje vodno – zračnega režima v tleh (Grčman in Zupan, 2008).

Za pridobivanje uporabnih informacij o tleh, smo se pri tem diplomskem delu osredotočili predvsem na pedološke metode in analize tal, ki bi nam pomagale pridobiti informacije o volumski gostoti tal, kot so: vzorčenje tal, merjenje teksture in deleža organske snovi v tleh.

2.1.1.1 Vzorčenje tal

Pedološke raziskave in meritve imajo različen namen in cilj, kar pogojuje način vzorčenja, izbor primernih analitskih postopkov in obdelavo ter na koncu prikaz podatkov. Glede na prostorsko lego vzorčnega mesta ločimo tri načine vzorčenja tal: točkovno, ploskovno in sistematično vzorčenje tal. Za točkovno vzorčenje tal je značilno, da na izbranem vzorčnem mestu jemljemo vzorce iz ene, ali večih globin – vzorci so vzeti iz naravnih plasti oz. talnih horizontov, ali iz vnaprej izbranih (fiksni) globin. Ta način vzorčenja, ki smo ga izvedli tudi v naši raziskavi, tal se največkrat uporablja v raziskavah z namenom določitve vrste tal na nekem območju, to je določitev talnega tipa in njegove prostorske razporejenosti – pedološko kartiranje ter pojasnitev izvora tal.

Glede na ohranitev naravne strukturnosti in poroznosti tal ob vzorčenju ločimo vzorčenje porušenih in neporušenih vzorcev. Pri porušenih vzorcih se naravna strukturnost in poroznost ne ohranja, pri neporušenih pa ohranja. Za odvzem neporušenih vzorcev tal se največkrat uporablja Kopeckijeve cilindre in ustrezno sondo, pri čemer je pomembno, da pri vzorčenju vzorec v sondo ne tlačimo ter da uspemo pridobiti čim bolj natančne mejne ploskve.

2.1.1.2 Tekstura tal

Kot je bilo omenjeno že v poglavju o tleh, so tla sestavljena iz trdne, tekoče in plinaste faze. Trdna faza tal je sestavljena iz organske snovi in mineralnih delcev različnih velikosti (pesek, melj in glina). Tekstura tal je sestava tal glede na delež (odstotek) mineralnih delcev različnih velikostnih skupin. Od velikosti delcev je odvisna specifična površina delcev in velikost por v tleh, kar vpliva na pomembne kemične in fizikalne lastnosti tal, kot so na primer pH tal, gibanje vode v tleh, zračnost in nenavsezadnje tudi sama volumska gostota tal. Če v tleh prevladujejo recimo glinasti delci, so tla gosta in zbita ter slabo prepustna in prezračena, imajo pa veliko sposobnost zadrževanja vode in hranil. Obratno je značilno za tla, kjer prevladujejo delci peska. Taka tla so zračna in topla, vendar slabo zadržujejo vodo. Slabe lastnosti določene velikostne skupine omili prisotnost druge velikostne skupine. Najugodnejši so tisti teksturni razredi, ki vsebujejo vse velikostne skupine v dovolj velikem deležu (primer: ilovica, ki je sestavljena iz 25 – 50% peska, 8 – 25% glin in 28 – 50% melja).

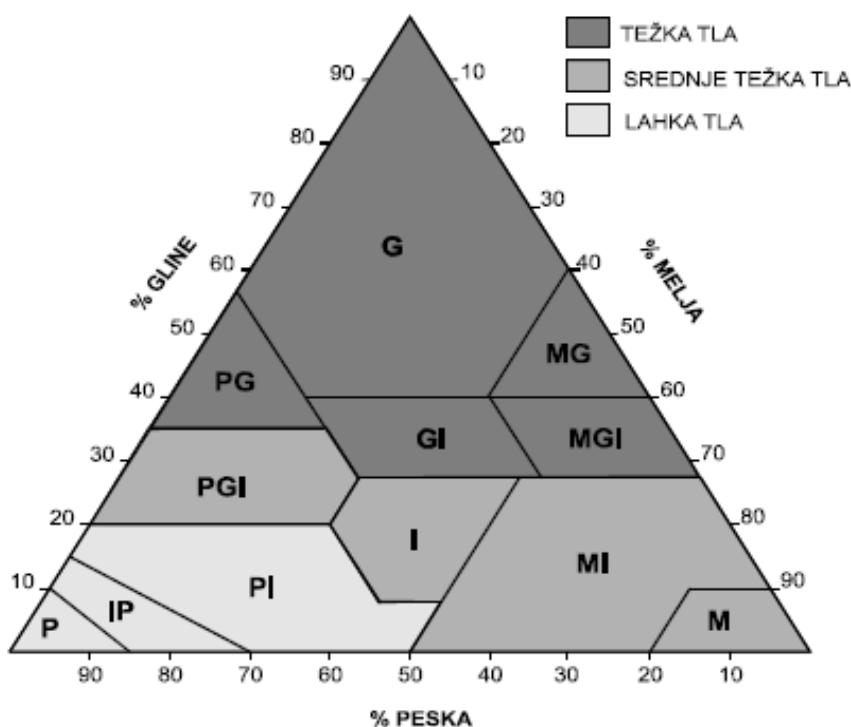
2.1.1.2.1 Teksturna klasifikacija

Glede na velikost, razdelimo mineralne delce v tleh na več velikostnih skupin. V tem diplomskem delu smo za določitev teksturnih razredov uporabili ameriško teksturno klasifikacijo, ki razvršča talne delce v: glinene delce (manjši od 0,002 mm), delce finega melja (od 0,02 do 0,002 mm), delce grobega melja (od 0,05 do 0,02), delce finega peska (od 0,2 do 0,05 mm) in delce grobega peska (od 2 do 0,2 mm).

Za določanje deleža posameznih velikostnih skupin v tleh obstaja več vrst različnih metod, ki jih s skupnim imenom imenujejo mehanska analiza tal. Iz deleža posameznih velikostnih skupin s pomočjo teksturnega trikotnika določimo teksturni razred (Preglednica 1 in Slika 1).

Preglednica 1: Teksturni razredi ameriške teksturne klasifikacije (cit. po Grčman in Zupan, 2008)

Oznaka	Teksturni razred
P	pesek
IP	ilovnat pesek
PI	peščena ilovica
PGI	peščeno glinasta ilovica
PG	peščena glina
M	melj
MI	meljasta ilovica
MGI	meljasto glinasta ilovica
MG	meljasta glina
I	ilovica
GI	glinasta ilovica
G	glina



Slika 1: Teksturni trikotnik ameriške teksturne klasifikacije (cit. po Grčman in Zupan, 2008)

2.1.1.3 Organska snov v tleh

Organsko snov tal združujeta živa in neživa organska snov. Med prve štejejo talne organizme, ki predstavljajo manjši del organske snovi tal. Neživo organsko snov pa predstavlja odmrta rastlinska in živalska biomasa. Deli se na razgradljivo organsko snov, ki predstavlja manjši del nežive organske snovi tal in stabilno organsko snov, ki jo imenujemo humus. Na tvorbo in razgraditev organske snovi v tleh vplivajo klimatski dejavniki (temperatura in vlaga) ter dejavniki v tleh (vsebnost hranil, talni pH in tekstura tal). Pri razgradnji in mineralizaciji odmrle organske biomase so posebno pomembni mikroorganizmi, bakterije in glive, saj so ključni člen pri kroženju snovi in toku energije skozi kopenske ekosisteme. 70 do 90% razgradljive organske snovi se tako letno mineraliza do osnovnih rastlinskih hranil (nitrat, fosfat, sulfat, ogljikov dioksid, voda itd.) ter 10 do 30 % organskih ostankov v tleh predstavlja nerazkrojene ostanke, ki se iz njih po delnem razkroju sintetizira humus. Za ohranjanje trajne rodovitnosti tal, moramo tlem dodajati hranila – gnojiti tako z organskimi, kot tudi z mineralnimi gnojili.

2.2 VOLUMSKA GOSTOTA TAL IN PEDOTRANSFER FUNKCIJE

Volumsko gostoto tal (ρ_{vol}) definiramo z razmerjem med maso trdne snovi tal in volumnom celotnega neporušenega vzorca tal. Odvisna je od razmerja med količinama organskih in mineralnih delcev v tleh. Tla, ki vsebujejo veliko mineralne in organske snovi v tleh ter imajo velik porni volumen, imajo majhno volumsko gostoto tal (primer je surovi humus z volumsko gostoto okoli $0,2 \text{ g cm}^{-3}$, povprečna poljska tla pa imajo volumsko gostoto približno $1,5 \text{ g cm}^{-3}$). Volumsko gostoto tal določajo struktura, tekstura in delež organske snovi v tleh. Volumska gostota tal je dinamična lastnost tal, saj se spreminja tako z obdelovanjem tal, uporabo kmetijske mehanizacije in gaženjem živali, kot tudi pod vplivom specifičnih vremenskih razmer – na primer intenzivne padavine, ali daljše sušno obdobje (Ogorevc, 2008).

Kot je bilo omenjeno že v uvodu, je volumska gostota tal pomemben podatek o tleh, ki ga potrebujemo pri različnih pedoloških študijah. Ugotavljamo jo z merjenjem volumna neporušenih talnih vzorcev, ki jih večinoma vzorčimo s pomočjo cilindrov različnih velikosti, ali računsko – s pomočjo regresijskih zvez pedotransfer funkcij tal.

Pedotransfer funkcija je izraz, ki ga najdemo v pedoloških znanstvenih literaturah in jo lahko opredelimo kot funkcijo predvidevanja nekaterih lastnosti tal iz drugih, ki so bolj dostopne, preprostejše, bolj rutinske, ali pa je postopek izmere teh lastnosti cenejši. Izraz pedotransfer funkcija je skoval Johan Bouma, s čimer je želel povedati, da gre za nekakšno tako imenovano prevajanje podatkov oziroma talnih lastnosti, ki so za nas dostopne v tiste, ki jih nimamo in jih potrebujemo. Med najdostopnejšimi podatki o talnih lastnostih iz preteklih raziskav pogosto najdemo na voljo podatke za teksturo, strukturo, odstotek organske snovi in pH tal. Pedotransfer funkcije dobijo torej pomen v tem, da iz teh osnovnih informacij, dobimo ocene določenih drugih bolj zapletenih in dragih lastnosti tal.

Te funkcije zapolnijo vrzel med razpoložljivimi podatki o tleh in lastnostih, ki so bolj uporabne ali potrebne za določene pedotransfer funkcije ali pa za ocenjevanje kakovosti tal. Pedotransfer funkcije tal uporabljajo različne regresijske analize in tehnike pridobivanja podatkov za določanje povezav med osnovnimi lastnostmi tal in med težje merljivimi lastnostmi (McBratney in sod., 2002).

Uporabo pedotransfer funkcij v domači in tuji strokovni literaturi je možno zaslediti predvsem na področju preučevanja hidroloških lastnosti tal. Pri pregledu objav smo zasledili uporabo pedotransfer funkcij v povezavi z sposobnostjo tal za zadrževanje vlage v tleh in hidravlično prevodnostjo tal (Zupanc, 2003; Pachepsky in Raws, 2004; Pachepsky in sod., 2006; Štangelj, 2009; Švigelj, 2010). Za predvidevanje volumske gostote tal s pomočjo pedotransfer funkcij smo zasledili študije le za gozdna, ne pa tudi za kmetijska tla. Posledično smo se morali v tem diplomskem delu poslužiti pedotransfer funkcij, ki so bile razvite za gozdna tla.

3 MATERIALI IN METODE

3.1 IZBOR VZORČNIH LOKACIJ, IZKOP TALNIH PROFILOV IN VZORČENJE TAL

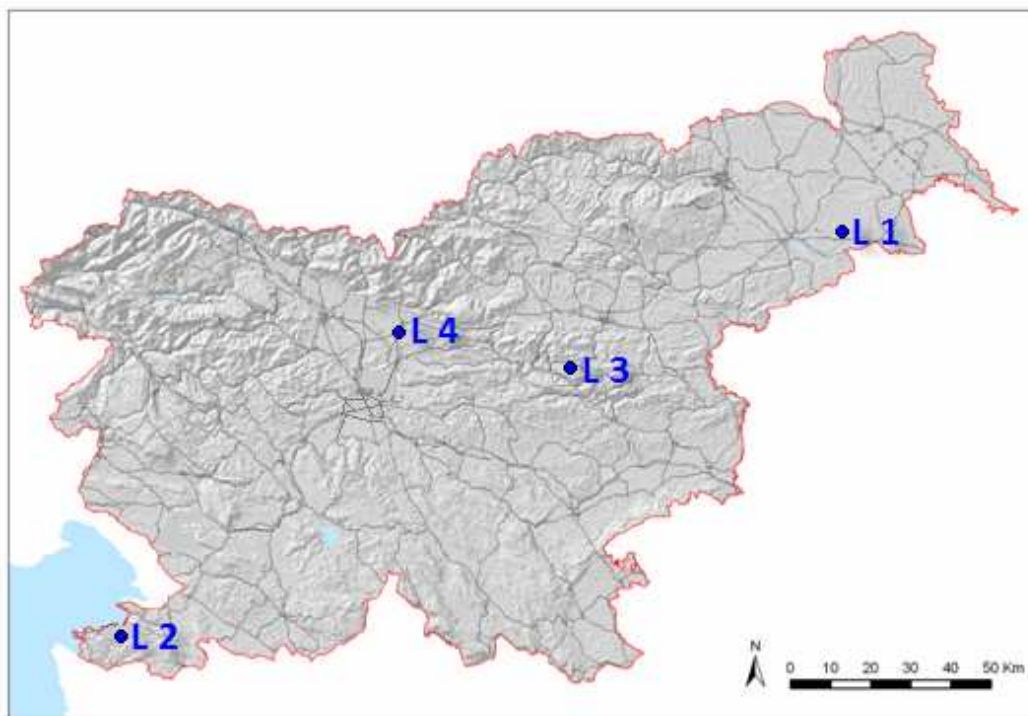
Izbrali smo štiri različne lokacije za vzorčenje tal. Njihovo razporejenost kaže slika 2. Lokacije so bile izbrane s ciljem, da pridobimo čim bolj raznolike fizikalne lastnosti tal in morda tudi različne vrste tal. Izkazalo se je, da smo v treh primerih vzorčili na evtričnih rjavih tleh z različno matično podlago, v enem primeru pa na rjavih pokarbonatnih tleh.

Lokacija 1 so Moškanjci pri Ptujju. Matična podlaga je mešani prod reke Drave. Tla uvrščamo med evtrična rjava tla.

Lokacija 2 je Koštrlag nad Izolo. Matična podlaga je fliš. Tla uvrščamo med evtrična rjava tla.

Lokacija 3 so Gore nad Hrastnikom. Matična podlaga je apnenec. Tla uvrščamo rjava pokarbonatna tla.

Lokacija 4 je Spodnji Brnik pri Cerkljah na Gorenškem. Matična podlaga je mešani prod reke Save. Tla uvrščamo med evtrična rjava tla.



Slika 2: Slovenija in lokacije vzorčenja tal (L1 – Moškanjci na Ptujskem polju, L2 – Koštrlag nad Izolo, L3 – Gore nad Hrastnikom, L4 – Spodnji Brnik v Cerkljah na Gorenškem) (cit. po Šijanec, 2009)

Na izbranih lokacijah smo vzorčili tla v treh ponovitvah na treh globinah obdelovalne plasti tal (2-7 cm, 12-17 cm in 30-35 cm). Izjema so bila tla na lokaciji Spodnji Brnik, kjer smo zaradi plitkosti tal lahko vzorčili le na dveh globinah (2-7 cm, 12-17 cm). Vzorčili smo neporušene vzorce tal s cilindri Kopecky volumna 100 cm^3 in pripadajočo sondo za nabijanje. Sondo smo porinili v tla enakomerno in čim bolj navpično. Kopeckijev cilindar je bilo potrebno previdno vzeti ven iz sonde in na obeh straneh z nožem odstraniti zemljo, ki je gledala ven iz cilindra. Cilinder smo zaprli s plastičnimi pokrovčki, da smo preprečili izgube vzorca ter ga nato spravili v kovček in odnesli v laboratorij.



Slika 3: Slika cilindrov, kladiva in sonde



Slika 4: Slika vzorčenja na lokaciji Spodnji Brnik



Slika 5: Slika talnega izkopa na lokaciji Spodnji Brnik za odvzem vzorcev tal

3.2 ANALITSKE METODE

Analize so bile izvedene v laboratoriju Centra za pedologijo in varstvo okolja. Vzorce tal smo za fizikalno-kemijske analize pripravili v skladu s standardom (ISO 11464, 1994).

3.2.1 Meritev volumske gostote tal in deleža skeleta

Volumsko gostoto smo določali po standardu (ISO 11272, 1993). Kopeckijeve cilindre smo skupaj z vzorcem stehali. Nato smo jih postavili v pečico in sušili pri 105°C (za 48 ur). Vsak porušen vzorec smo skupaj s cilindrom ponovno stehali. Vzorec smo pretresli skozi sito s premerom 2 mm. Tako smo pridobili skelet (delci večji od 2 mm) in ostale talne delce manjše od dveh milimetrov, ki smo jih stresli v polivinilasto vrečko in shranili za druge fizikalno-kemijske analize. Skelet smo oprali, posušili in mu izmerili volumen in maso. Stehali smo tudi še prazen Kopeckijev cilindar. Iz razlike smo izračunali maso trdne faze vzorca. Volumen Kopeckijevega cilindra znaša 100 cm³. Iz dobljenih podatkov smo izračunali volumsko gostoto tal z in brez vsebnosti skeleta.

3.2.2 Mehanska analiza teksture tal

Za določevanje teksture tal smo se poslužili mehanske analize, in sicer smo uporabili sedimentacijsko pipetno metodo z ameriško teksturno klasifikacijo (ISO 11277, 1998). V stekleničko smo zatehtali 10 g tal, jih prelili s 25 ml 0,4 M natrijevim pirofosfatom (NaP₂O₇) in pustili stati preko noči. Naslednji dan smo raztopino stresali na stresalniku 4 ure. Suspenzijo smo prenesli na sito s premerom 0,2 mm (grobi pesek). Tega smo prenesli v predhodno stehano izparilnico, sušili 1 uro pri 105°C, ohladili v eksikatorju in stehali. Iz razlike v težah izparilnic, smo dobili težo grobega peska. Suspenzijo, ki je šla skozi sito, smo prenesli v valj z volumnom 1000 ml. Dolili smo deionizirano vodo do oznake 1000 ml. Valj smo zamašili in stresali 3 minute. Po treh minutah smo valj postavili na mizo in s tem sprožili proces sedimentacije. Prvič smo odpipetirali po 10 ml suspenzije po 44 sekundah iz globine 10 cm in s tem zajeli delce, ki so manjši od 0,005 mm (grobi in fini melj ter glina). Odpipetirano suspenzijo smo dali v peščeno kopel, kjer je voda izparela. Valj smo ponovno stresali 3 minute in po 4 minutah in 27 sekundah odpipetirali novih 10 ml iz globine 10 cm. V suspenziji smo dobili delce manjše od 0,02 mm (fini melj in glina). Ponovili smo postopek z odpipetirano suspenzijo.

Valj smo še tretič stresali 3 minute in po 7 urah, 35 minutah in 30 sekundah odpipetirali 10 ml iz globine 5 cm (v suspenziji so delci manjši od 0,002 mm – glina). Sledil je ponoven postopek z odpipetirano suspenzijo. Iz dobljenih mas smo izračunali delež gline, melja in peska v vzorcih.

3.2.3 Določitev organske snovi v tleh

Za določitev organske snovi v tleh smo se poslužili metode po Walkey – Blacku (SIST ISO 14235, 1999). Metoda temelji na spontani oksidaciji organske snovi v raztopini žveplove in kromove kisline. Njena prednost je v tem, da določitev organske snovi talnega vzorca ne zajame elementarnega ogljika, pač pa le humus in slabše razkrojene organske ostanke. Za postopek smo uporabili 200 ml merilne bučke in v vsako zatehtali 0,5 g vzorca (zatehto smo prilagodili glede na vsebnost organske snovi v tleh – v tleh z več humusa smo zatehtali manj vzorca, to je 0,2 g). Prilili smo 10 ml 1M $K_2Cr_2O_7$ in 20 ml koncentrirane H_2SO_4 ter raztopino dobro premešali in jo pustili 20 minut, da je reakcija potekla. V bučko smo nato dolili deionizirano vodo do oznake 200 ml. Od celotne raztopine smo odpipetirali 20 ml, dodali 1 ml 85% H_3PO_4 , 0,2 g NaF ter 3 kapljice difenilamina (indikatorja). Suspenzijo smo narahlo premešali. Sledila je titracija suspenzije z raztopino 0,5 M feroamonsulfatom Barva suspenzije je bila na začetku rjava, med titracijo je prehajala v motno modro barvo, končno stanje pa je bil preskok v zeleno barvo. Pri titraciji smo uporabili tudi standardno oziroma slepo probo, ki smo jo pripravili na enak način kot ostale vzorce, le brez vzorca tal. Iz pridobljenih podatkov je sledil izračun deleža organske snovi.

3.3 IZBOR PEDOTRANSFER FUNKCIJ ZA IZRAČUN VOLUMSKE GOSTOTE TAL

V domači in tuji literaturi smo izbrali trinajst pedotransfer funkcij, ki so bile razvite za napovedovanje volumske gostote tal na osnovi drugih lastnosti: Urbančič in sod., 2007 (1); ostale avtorje cit. po De Vos in sod., 2005: Jeffrey, 1970 (2); Harrison in Bocock - za vrhnja plast (3) in globlja plast tal (4), 1981; Leonavičiute - A horizont (5), E horizont (6), B horizont (7) in BC-C horizont (8), 2000; Alexander, 1980 (9); Manrique in Jones, 1991 (10); Tamminen in Starr, 1994 (11); Honeysett in Ratkowsky, 1989 (12); Kaur in sod., 2002 (13). Testirali smo jih na podatkih o izmerjeni volumski gostoti tal. Funkcije imajo sledeče oblike:

$$\rho_{vol} = 1 (0,625 + 0,05 \% \text{ org snovi} + 0,0015 \% \text{ gline})^{-1} \quad \dots (1)$$

$$\rho_{vol} = 1,482 - 0,6786 \log_{10}(\% \text{ org snovi}) \quad \dots (2)$$

$$\rho_{vol} = 1,558 - 0,728 \log_{10}(\% \text{ org snovi}) \quad \dots (3)$$

$$\rho_{vol} = 1,729 - 0,769 \log_{10}(\% \text{ org snovi}) \quad \dots (4)$$

$$\rho_{vol} = 1,70398 - 0,00313 \% \text{ melja} + 0,00261 \% \text{ gline} - 0,11245 \% \text{ org C} \quad \dots (5)$$

$$\rho_{vol} = 0,99915 - 0,00592 \ln(\% \text{ melja}) + 0,07712 \ln(\% \text{ gline}) - 0,09371 \ln(\% \text{ peska}) - 0,08415 \ln(\% \text{ org C}) \quad \dots (6)$$

$$\rho_{vol} = 1,07256 - 0,032732 \ln(\% \text{ melja}) + 0,038753 \ln(\% \text{ gline}) - 0,078886 \ln(\% \text{ peska}) + 0,054309 \ln(\% \text{ org C}) \quad \dots (7)$$

$$\rho_{vol} = 1,06727 - 0,01074 \ln(\% \text{ melja}) + 0,08068 \ln(\% \text{ gline}) - 0,08759 \ln(\% \text{ peska}) + 0,05647 \ln(\% \text{ org C}) \quad \dots (8)$$

$$\rho_{\text{vol}} = 1,660 - 0,308 (\% \text{ org C})^{1/2} \quad \dots (9)$$

$$\rho_{\text{vol}} = 1,660 - 0,318 (\% \text{ org C})^{1/2} \quad \dots (10)$$

$$\rho_{\text{vol}} = 1,565 - 0,2298 \% \text{ org snovi} \quad \dots (11)$$

$$\rho_{\text{vol}} = (0,548 - 0,0,588 \% \text{ org snovi})^{-1} \quad \dots (12)$$

$$\ln(\rho_{\text{vol}}) = 0,313 - 0,191 \% \text{ org C} + 0,02102 \% \text{ gline} - (0,000476 \% \text{ gline})^2 - \\ - 0,00432 \% \text{ melja} \quad \dots (13)$$

% org C delež organskega ogljika

% org snovi delež organske snovi

% gline delež gline

% melja delež melja

% peska delež peska

Pedotransfer funkcije smo uporabili za izračun volumske gostote tal ter rezultat primerjali z izmerjeno volumsko gostoto tal s pomočjo statistične obdelave podatkov. Uporabili smo statistične kazalce, ki so jih predlagali (Urbančič in sod., 2007; Benites in sod., 2007; De Vos in sod., 2005). MPE (14) nam pove pozivni oz. negativni bias regresijskega modela (nakazuje morebitno precenjevanje oz. podcenjevanje napovedane spremenljivke). Parameter mora biti čim manjši oz. čim bližje 0. SDPE (15) nakazuje standardni odklon napake napovedi. Parameter mora biti čim manjši oz. čim bližje 0. RMSPE (16) je mera skupne napake modela. Parameter mora biti čim manjši oziroma čim bližje 0. R_p^2 (17) predstavlja koeficient determinacije. Parameter mora biti čim večji. Te mere smo definirali kot:

$$\text{MPE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{\rho}_{b,i} - \rho_{b,i}) \quad \dots (14)$$

$$\text{SDPE} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n ((\hat{\rho}_{b,i} - \rho_{b,i}) - \text{MPE})^2} \quad \dots (15)$$

$$\text{RMSPE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{\rho}_{b,i} - \rho_{b,i})^2} \quad \dots (16)$$

$$R_p^2 = \frac{[\text{cov}(\rho_{b,i}, \hat{\rho}_{b,i})]^2}{\text{var}(\rho_{b,i}) \cdot \text{var}(\hat{\rho}_{b,i})} \quad \dots (17)$$

$\hat{\rho}_{b,i}$ izmerjena volumska gostota tal i -tega vzorca tal

$\rho_{b,i}$ napovedana (ocenjena) volumska gostota tal

n število vseh opazovanj

4 REZULTATI

4.1 IZMERJENA VOLUMSKA GOSTOTA TAL

Spodnje preglednice prikazujejo volumske gostote tal in volumske gostote tal brez skeleta ter pripadajoči masni in volumski delež skeleta (Preglednice 2 – 5).

Preglednica 2: Volumske gostote tal in volumske gostote tal brez skeleta ter pripadajoči masni in volumski delež skeleta na orani in neorani lokaciji Moškanjci

Oznaka cilindra	Globina vzorčenja [cm]	Volumska gostota suhega vzorca tal [g/cm ³]	Volumska gostota suhega vzorca tal* [g/cm ³]	Volumenski delež skeleta	Masni delež skeleta
NJIVA - ORANA TLA					
C1 20	2 – 7	1,28	1,20	4,0	9,6
C1 19	12 – 17	1,68	1,65	6,0	7,7
C1 18	30 – 35	1,40	1,38	2,5	3,9
C1 11	2 – 7	1,13	1,13	2,0	1,9
C1 04	12 – 17	1,38	1,38	3,0	3,0
C1 03	30 – 35	1,46	1,41	2,5	6,1
C1 06	2 – 7	1,40	1,39	2,5	3,0
C1 14	12 – 17	1,47	1,47	3,5	3,8
C1 09	30 – 35	1,64	1,62	3,5	4,2
NJIVA - NEORANA TLA					
C1 24	2 – 7	1,13	1,13	1,5	2,1
C1 07	12 – 17	1,54	1,61	6,5	2,2
C1 16	30 – 35	1,54	1,53	1,0	1,2

* gre za volumsko gostoto suhega vzorca brez delcev večjih od 2 mm (brez skeleta)

Preglednica 3: Volumske gostote tal in volumske gostote tal brez skeleta ter pripadajoči masni in volumski delež skeleta na orani lokaciji Spodnji Brnik

Oznaka cilindra	Globina vzorčenja [cm]	Volumska gostota suhega vzorca tal [g/cm ³]	Volumska gostota suhega vzorca tal* [g/cm ³]	Volumenski delež skeleta	Masni delež skeleta
NJIVA - ORANA TLA					
G 24	2 – 7	1,42	1,45	9,5	7,4
G 21	12 – 17	1,33	1,30	8,0	10,1
G 16	2 – 7	1,36	1,37	6,5	5,7
G 18	12 – 17	1,39	1,37	10,5	11,9
G 06	12 – 17	1,47	1,35	23,5	30,8

* gre za volumsko gostoto suhega vzorca brez delcev večjih od 2 mm (brez skeleta)

Preglednica 4: Volumske gostote tal in volumske gostote tal brez skeleta ter pripadajoči masni in volumski delež skeleta na orani (oljčnik) in orani (njiva) lokaciji Koštrlag

Oznaka cilindra	Globina vzorčenja [cm]	Volumska gostota suhega vzorca tal [g/cm ³]	Volumska gostota suhega vzorca tal* [g/cm ³]	Volumenski delež skeleta	Masni delež skeleta
OLJČNIK - ORANA TLA					
P 1 / 1	2 – 7	1,54	1,55	0,5	0,0
P 1 / 2	12 – 17	1,68	1,68	0,0	0,0
P 1 / 3	30 – 35	1,55	1,56	0,5	0,1
P 2 / 1	2 – 7	1,59	1,59	0,0	0,0
P 2 / 2	12 – 17	1,66	1,67	0,5	0,1
P 2 / 3	30 – 35	1,54	1,54	0,0	0,0
P 3 / 1	2 – 7	1,50	1,51	1,0	0,4
P 3 / 2	12 – 17	1,72	1,72	0,5	0,1
P 3 / 3	30 – 35	1,66	1,66	0,0	0,0
NJIVA - ORANA TLA					
P 4 / 1	2 – 7	1,35	1,35	1,0	1,0
P 4 / 2	12 – 17	1,35	1,34	3,5	3,8
P 4 / 3	30 – 35	1,43	1,45	1,5	0,6

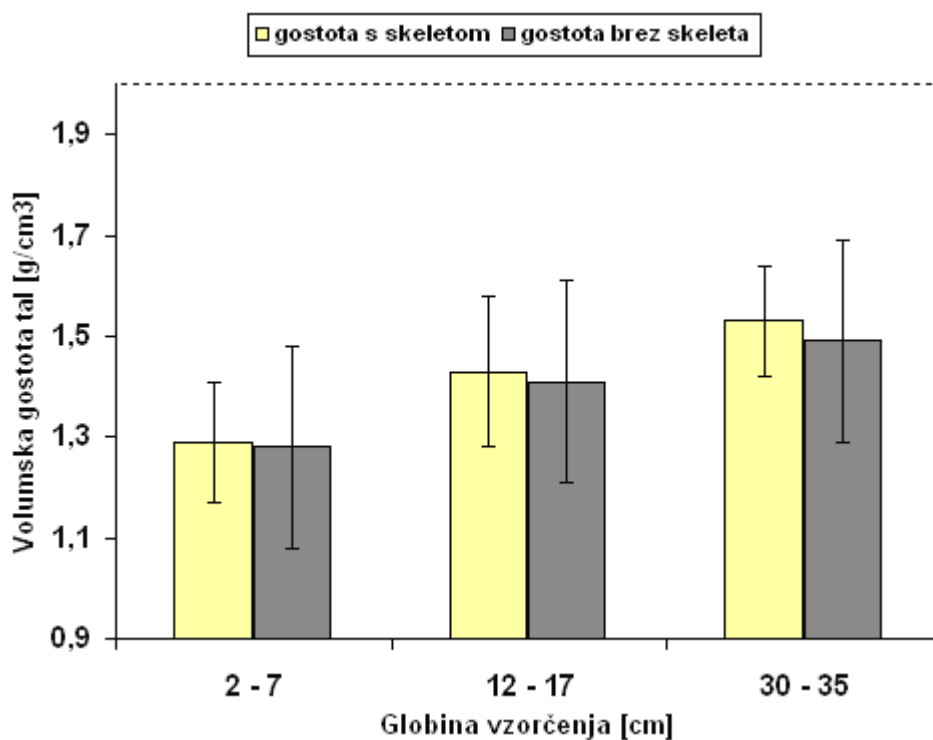
* gre za volumsko gostoto suhega vzorca brez delcev večjih od 2 mm (brez skeleta)

Preglednica 5: Volumske gostote tal in volumske gostote tal brez skeleta ter pripadajoči masni in volumski delež skeleta na orani in neorani lokaciji Gore

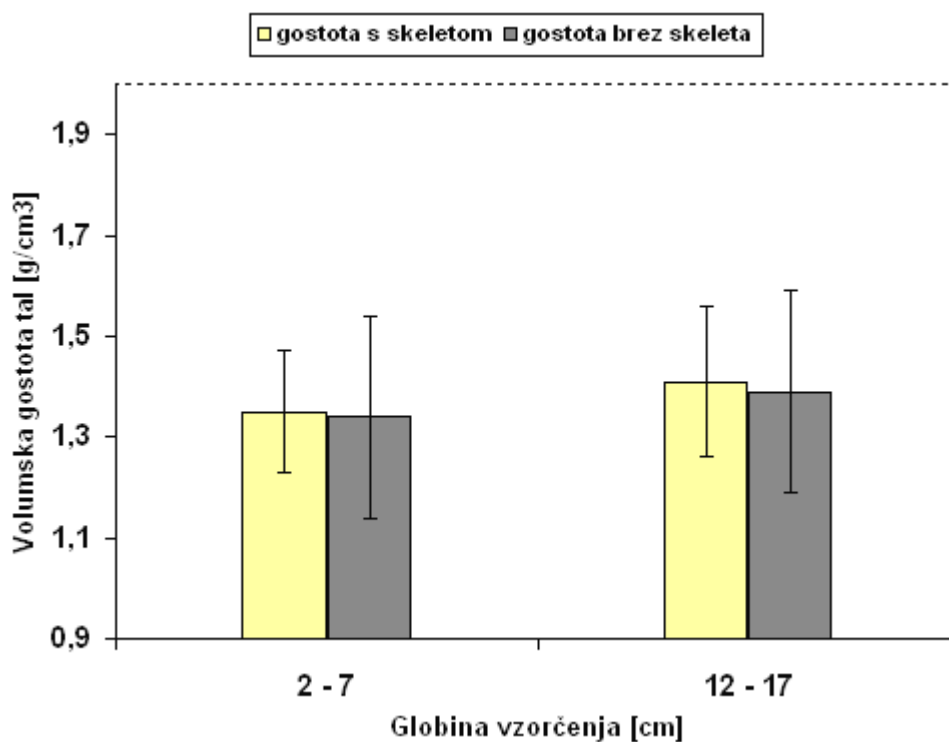
Oznaka cilindra	Globina vzorčenja [cm]	Volumska gostota suhega vzorca tal [g/cm ³]	Volumska gostota suhega vzorca tal* [g/cm ³]	Volumenski delež skeleta	Masni delež skeleta
VRT - ORANA TLA					
V 1 / 1	2 – 7	1,16	1,17	4,0	3,3
V 1 / 2	12 – 17	1,02	1,03	1,5	0,3
V 1 / 3	30 – 35	1,16	1,16	1,0	1,6
V 2 / 1	2 – 7	1,18	1,21	3,5	1,6
V 2 / 2	12 – 17	1,02	1,03	1,0	0,4
V 2 / 3	30 – 35	1,16	1,18	2,5	0,6
V 3 / 1	2 – 7	1,04	1,17	3,5	2,5
V 3 / 2	12 – 17	1,01	1,02	2,5	0,7
V 3 / 3	30 – 35	1,20	1,20	0,5	0,4
TRAVNIK - NEORANA TLA					
V 4 / 1	2 – 7	1,15	1,21	5,5	11,7
V 4 / 2	12 – 17	1,37	1,38	0,5	0,1
V 4 / 3	30 – 35	1,33	1,33	0,0	0,0

* gre za volumsko gostoto suhega vzorca brez delcev večjih od 2 mm (brez skeleta)

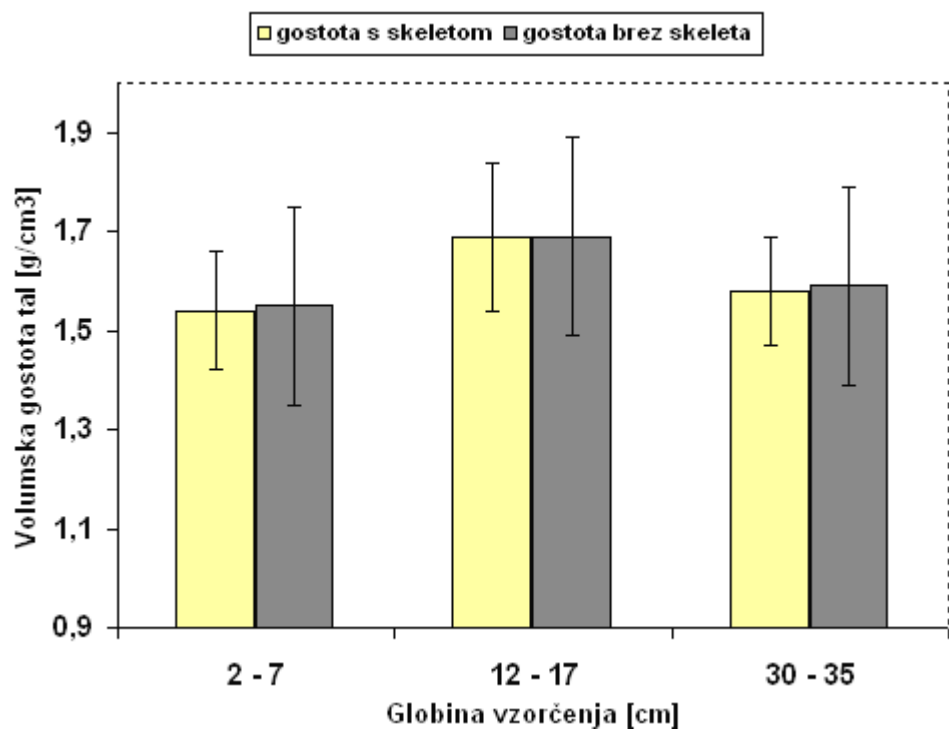
Vrednosti volumske gostote tal na izbranih lokacijah so bile variabilne. Na lokaciji Moškanjci (Preglednica 2 in Slika 6) je bila vrednost volumske gostote tal s skeletom od 1,13 do 1,68 g cm⁻³, vrednost volumske gostote tal brez skeleta pa od 1,13 do 1,65 g cm⁻³. Na lokaciji Spodnji Brnik (Preglednica 3 in Slika 7) je bila vrednost volumske gostote tal s skeletom od 1,33 do 1,47 g cm⁻³ in vrednost volumske gostote tal brez skeleta od 1,30 do 1,45 g cm⁻³. Na lokaciji Koštrlag (Preglednica 4 in Slika 8) sta bila razpona volumske gostote tal s skeletom in brez skeleta identična, od 1,35 do 1,72 g cm⁻³. Na lokaciji Gore (Preglednica 5 in Slika 9) pa se je vrednost volumske gostote tal s skeletom gibala od 1,02 do 1,37 g cm⁻³ in za volumsko gostoto tal brez skeleta od 1,02 do 1,38 g cm⁻³. Spreminjala se je prav tako tudi volumska gostota tal z globino. Na vseh štirih vzorčnih lokacijah in pri skoraj vseh ponovitvah se je izkazalo, da se vrednost volumske gostote tal z globino povečuje. Manjše variiranje volumske gostote tal je bilo na neobdelanih tleh, kot na obdelanih. Samo ugotovitev je povsem običajna, saj na volumsko gostoto tal pomembno vpliva tudi človek z načinom rabe tal (atropogeni dejavniki).



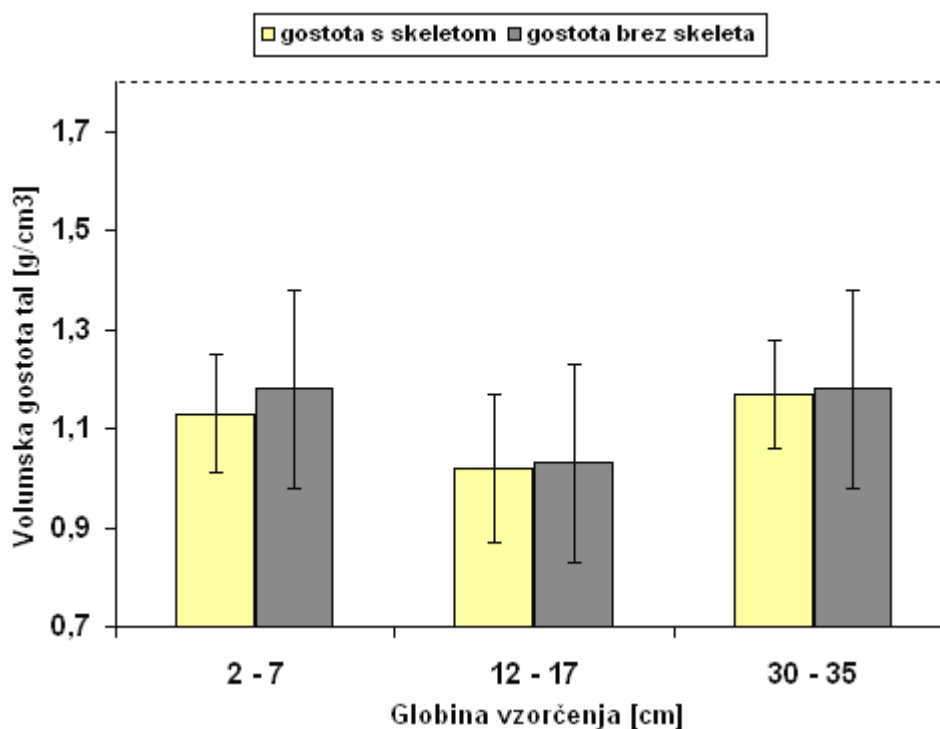
Slika 6: Volumska gostota v odvisnosti od globine tal za vzorce na lokaciji Moškanjci (orana tla)



Slika 7: Volumska gostota v odvisnosti od globine tal za vzorce na lokaciji Spodnji Brnik (orana tla)



Slika 8: Volumska gostota v odvisnosti od globine tal za vzorce na lokaciji Koštrlag (oljčnik)



Slika 9: Volumska gostota v odvisnosti od globine tal za vzorce na lokaciji Gore (orana tla)

4.2 TEKSTURA TAL IN DELEŽ ORGANSKE SNOVI V TLEH

Tekstura je lastnost, ki ni zelo variabilna, kar pomeni, da v enakih tleh, na enaki matični podlagi in enaki globini ne pričakujemo večjih razlik v vsebnosti peska, melja in gline. Zato smo se odločili, da bomo (tudi zaradi zahtevnosti in dolgotrajnosti postopka) analizirali le eno ponovitev za vsak tip tal. Rezultati so prikazani v Preglednicah 6 – 9. V Moškanjcih imajo tla ilovnato teksturo z deležem gline od 14,5 do 20,3; melja od 41,8 do 49,4 in peska od 31,6 do 39,1. Na njivi, ki jo že deset let obdelujejo na način "no till" (neorano), vidimo, da z globino delež gline narašča. Na Brniku so teksturno tla podobna, z nekoliko več melja. Tekstura je na meji med ilovico in meljasto ilovico. Delež gline je od 19,3 do 21,2; peska od 31,7 do 32,2 in melja od 47,1 do 48,5. Tla na Koštrlagu uvrščamo v teksturni razred glinasta ilovica oziroma meljasto glinasta ilovica. Vsebujejo nekoliko več gline, kot tla na lokacijah Moškanjci in Brnik, in sicer je deleže gline od 30,4 do 36,2; peska od 18,8 do 23,3 in melja od 42,2 do 46,3. Teksturno podobna so tudi tla na lokaciji Gore, ki jih uvrščamo v meljasto glinasto ilovico z deležem gline od 33,8 do 40,7; melja od 43,7 do 56,7 in peska od 8,5 do 20,4.

Za izračun napovedane volumske gostote tal s pomočjo pedotransfer funkcij smo potrebovali tudi podatek za delež organske snovi in delež organskega ogljika v vzorcih. Prvo enoto smo pridobili z metodo po Walkey – Blacku, drugo pa smo izračunali s pomočjo pretvorbene konstante (ta znaša 0,579) iz deleža organske snovi v tleh. Spodnje preglednice prikazujejo deleže organske snovi v vzorcih (Preglednice 6 – 9). V Moškanjcih

je vsebnost organske snovi od 0,5 do 2,5; na Brniku od 3,1 do 3,4; na Koštrlagu od 1,3 do 5,6 in v Gorah od 2,3 do 4,9. Kjer so tla neorana (Moškanjci neorano in Gore travnik) se vsebnost organske snovi z globino značilno zmanjšuje.

Preglednica 6: Podatki za teksturo tal in delež organske snovi vzorcev na lokaciji Moškanjci

Oznaka cilindra	Globina vzorčenja [cm]	Delež gline [%]	Delež melja [%]	Delež peska [%]	Teksturni razred	Delež organske snovi [%]
NJIVA - ORANA TLA						
C1 20	2 – 7	17,3	43,6	39,1	I	1,6
C1 19	12 – 17	20,3	41,8	37,9	I	1,4
C1 18	30 – 35	16,6	45,7	37,7	I	1,5
C1 11	2 – 7	/	/	/	/	1,6
C1 04	12 – 17	/	/	/	/	1,6
C1 03	30 – 35	/	/	/	/	1,4
C1 06	2 – 7	/	/	/	/	1,4
C1 14	12 – 17	/	/	/	/	1,2
C1 09	30 – 35	/	/	/	/	1,3
NJIVA - NEORANA TLA						
C1 24	2 – 7	14,5	49,3	36,2	I	2,5
C1 07	12 – 17	16,3	45,9	37,8	I	1,7
C1 16	30 – 35	19,0	49,4	31,6	I	0,5

Preglednica 7: Podatki za teksturo tal in delež organske snovi vzorcev na lokaciji Spodnji Brnik

Oznaka cilindra	Globina vzorčenja [cm]	Delež gline [%]	Delež melja [%]	Delež peska [%]	Teksturni razred	Delež organske snovi [%]
NJIVA - ORANA TLA						
G 24	2 – 7	21,2	47,1	31,7	I-MI	3,4
G 21	12 – 17	19,3	48,5	32,2	I-MI	3,2
G 16	2 – 7	/	/	/	/	3,1
G 18	12 – 17	/	/	/	/	3,3
G 06	12 – 17	/	/	/	/	3,2

Preglednica 8: Podatki za teksturo tal in delež organske snovi vzorcev na lokaciji Koštrlag

Oznaka cilindra	Globina vzorčenja [cm]	Delež gline [%]	Delež melja [%]	Delež peska [%]	Teksturni razred	Delež organske snovi [%]
OLJČNIK - ORANA TLA						
P 1 / 1	2 – 7	36,0	44,2	19,8	GI-MGI	1,4
P 1 / 2	12 – 17	36,2	45,0	18,8	GI-MGI	1,3
P 1 / 3	30 – 35	34,4	44,7	20,9	GI-MGI	1,3
P 2 / 1	2 – 7	/	/	/	/	1,4
P 2 / 2	12 – 17	/	/	/	/	1,4
P 2 / 3	30 – 35	/	/	/	/	1,3
P 3 / 1	2 – 7	/	/	/	/	1,5
P 3 / 2	12 – 17	/	/	/	/	1,4
P 3 / 3	30 – 35	/	/	/	/	1,3
NJIVA - ORANA TLA						
P 4 / 1	2 – 7	34,5	42,2	23,3	GI	3,4
P 4 / 2	12 – 17	30,4	46,3	23,3	GI	5,6
P 4 / 3	30 – 35	33,0	44,7	22,3	GI	2,9

Preglednica 9: Podatki za teksturo tal in delež organske snovi vzorcev na lokaciji Gore

Oznaka cilindra	Globina vzorčenja [cm]	Delež gline [%]	Delež melja [%]	Delež peska [%]	Teksturni razred	Delež organske snovi [%]
VRT - ORANA TLA						
V 1 / 1	2 – 7	34,1	45,5	20,4	MGI	4,4
V 1 / 2	12 – 17	40,7	43,7	15,6	MGI	4,7
V 1 / 3	30 – 35	37,1	45,3	17,6	MGI	4,2
V 2 / 1	2 – 7	/	/	/	/	4,4
V 2 / 2	12 – 17	/	/	/	/	4,5
V 2 / 3	30 – 35	/	/	/	/	4,7
V 3 / 1	2 – 7	/	/	/	/	4,5
V 3 / 2	12 – 17	/	/	/	/	4,7
V 3 / 3	30 – 35	/	/	/	/	4,5
TRAVNIK - NEORANA TLA						
V 4 / 1	2 – 7	38,5	49,4	12,1	MGI	4,9
V 4 / 2	12 – 17	33,8	53,2	13,0	MGI	2,3
V 4 / 3	30 – 35	34,8	56,7	8,5	MGI	3,0

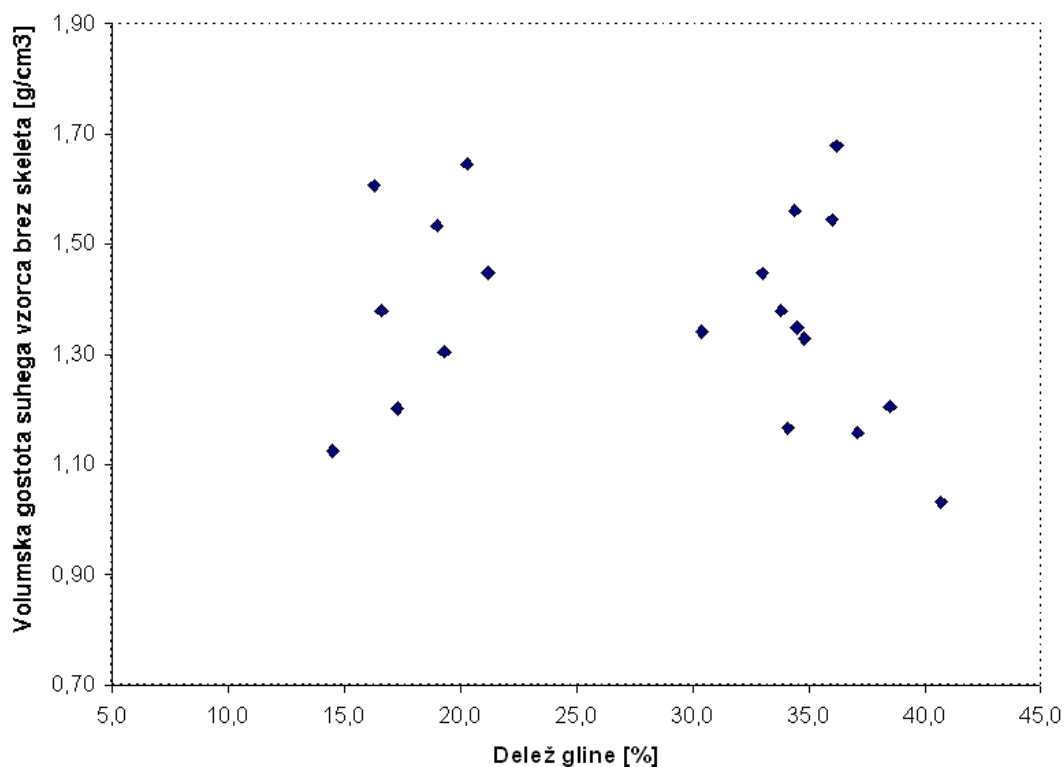
4.3 PEDOTRANSFER FUNKCIJE TAL

Volumsko gostoto tal naših vzorcev smo ocenili s pomočjo trinajstih različnih pedotransfer funkcij. Pridobljene podatke smo nato statistično obdelali in jih primerjali z izmerjenimi vrednostmi. Vsi izračuni veljajo za volumsko gostoto brez skeleta. Uporabili smo predlagane statistične kazalce: pozivni oz. negativni bias regresijskega modela (MPE), standardni odklon napake napovedi (SPDE), mera skupne napake modela (RMSPE) in koeficient determinacije (R_p^2), ki so navedeni v Preglednici 10.

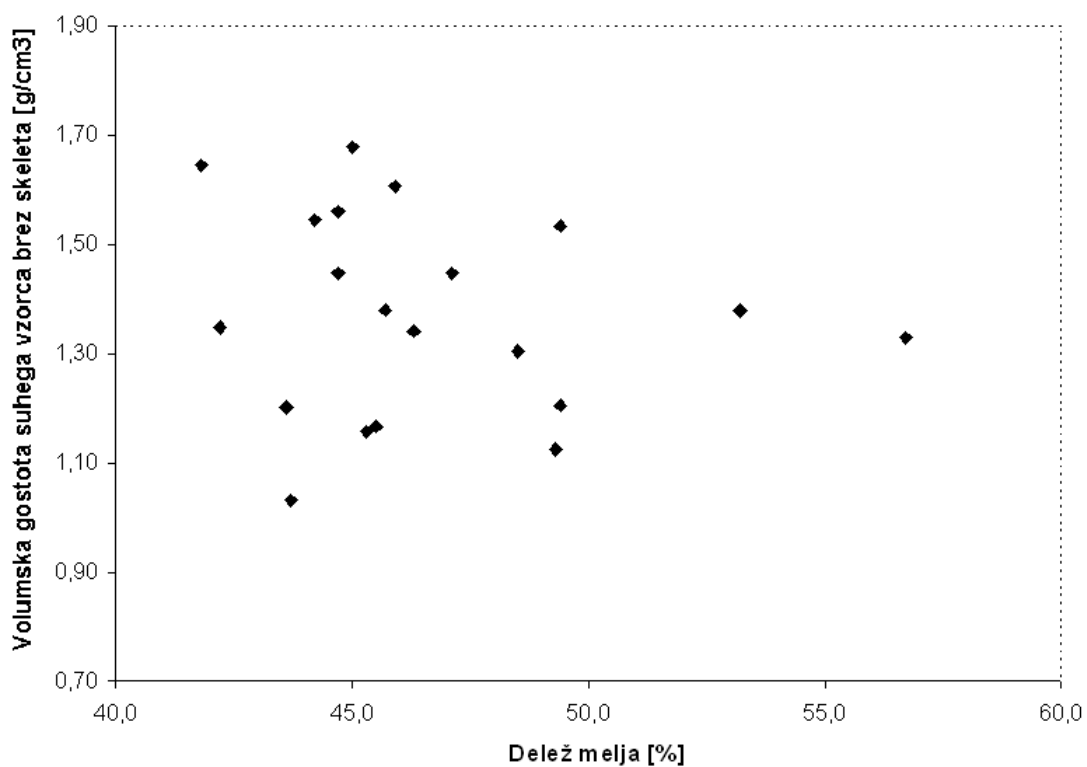
Preglednica 10: Statistični podatki trinajstih različnih pedotransfer funkcij za vzorce na vseh štirih vzorčnih lokacijah (cit. po De Vos in sod., 2005; Urbanič in sod., 2007)

Uporabljene pedotransfer funkcije	MPE	SDPE	RMSPE	R_p^2
Urbančič in sod. (2007)	0,02	0,03	0,01	0,40
Jeffrey (1970)	0,14	0,02	0,75	0,51
Harrison in Bocock (1981) – vrhnja plast tal	0,08	0,02	0,26	0,51
Harrison in Bocock (1981) – globlja plast tal	-0,08	0,02	0,19	0,51
Leonavičiute (2000) A horizont	-0,30	0,03	0,65	0,51
Leonavičiute (2000) E horizont	-0,14	0,06	0,14	0,51
Leonavičiute (2000) B horizont	-0,19	0,04	0,27	0,43
Leonavičiute (2000) BC-C horizont	-0,30	0,06	0,71	0,45
Alexander (1980)	0,08	0,02	0,28	0,53
Manrique in Jones (1991)	0,10	0,80	0,36	0,53
Tamminen in Starr (1994)	0,17	0,02	1,13	0,53
Honeysett in Ratkowsky (1989)	-0,06	0,02	0,12	0,53
Kaur in sod.. (2002)	-0,24	0,15	0,77	0,00

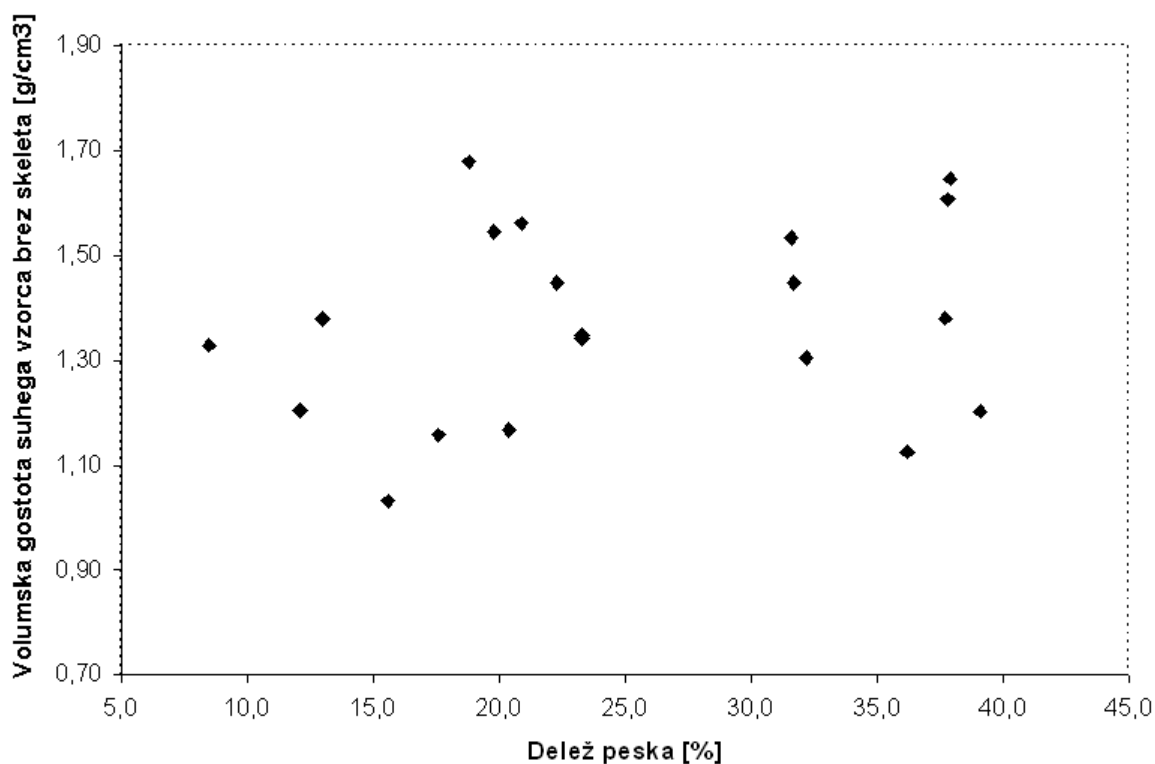
Zanimalo nas je tudi, ali obstaja povezava med odvisno spremenljivko (izmerjena volumska gostota suhega vzorca brez skeleta) in vsako od neodvisnih spremenljivk (deleži gline, melja in peska, delež organske snovi ter vpliv globine vzorčenja). Slike 10 – 14 prikazujejo potencialno odvisnost volumske gostote od neodvisnih spremenljivk. Če obstaja povezava med spremenljivkami, so to odrazi na grafu tako, da se točke razporedijo okoli trendne premice in da je koeficient determinacije čim večji. Kot kažejo Slike 10 – 14, smo povezavo našli le v primeru organske snovi.



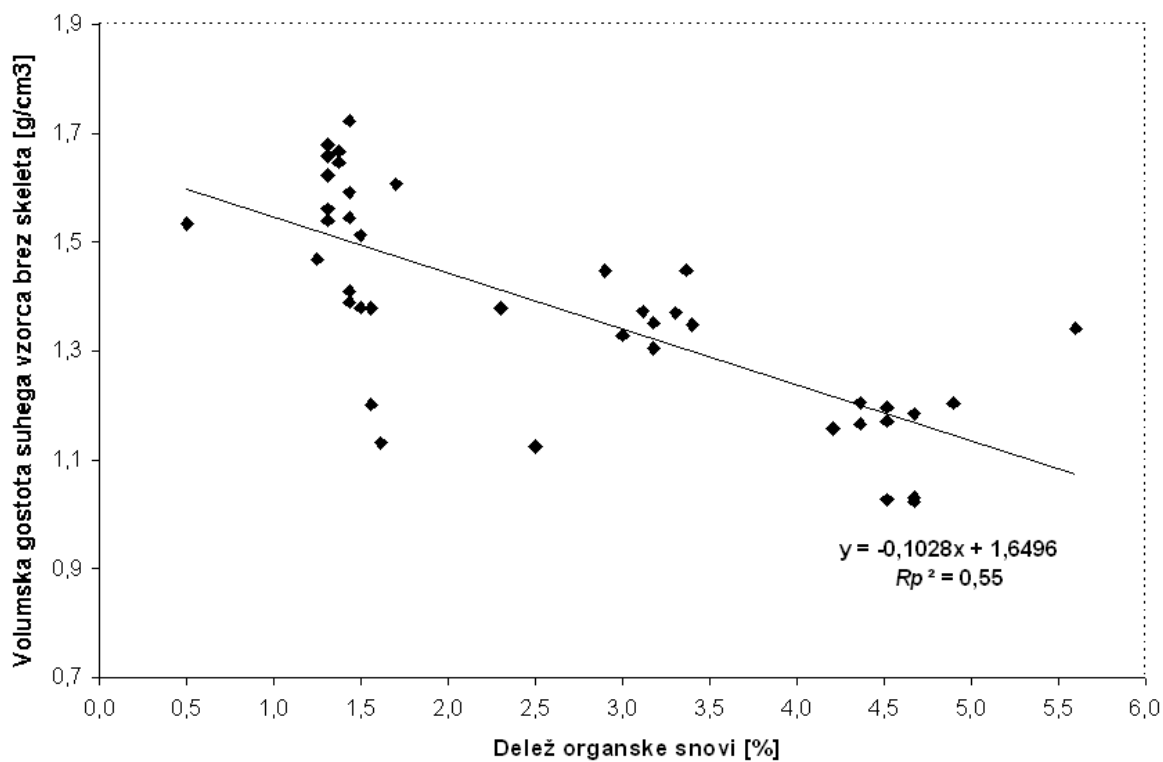
Slika 10: Povezava med izmerjeno volumsko gostoto suhega vzorca in deležem glin v vzorcih



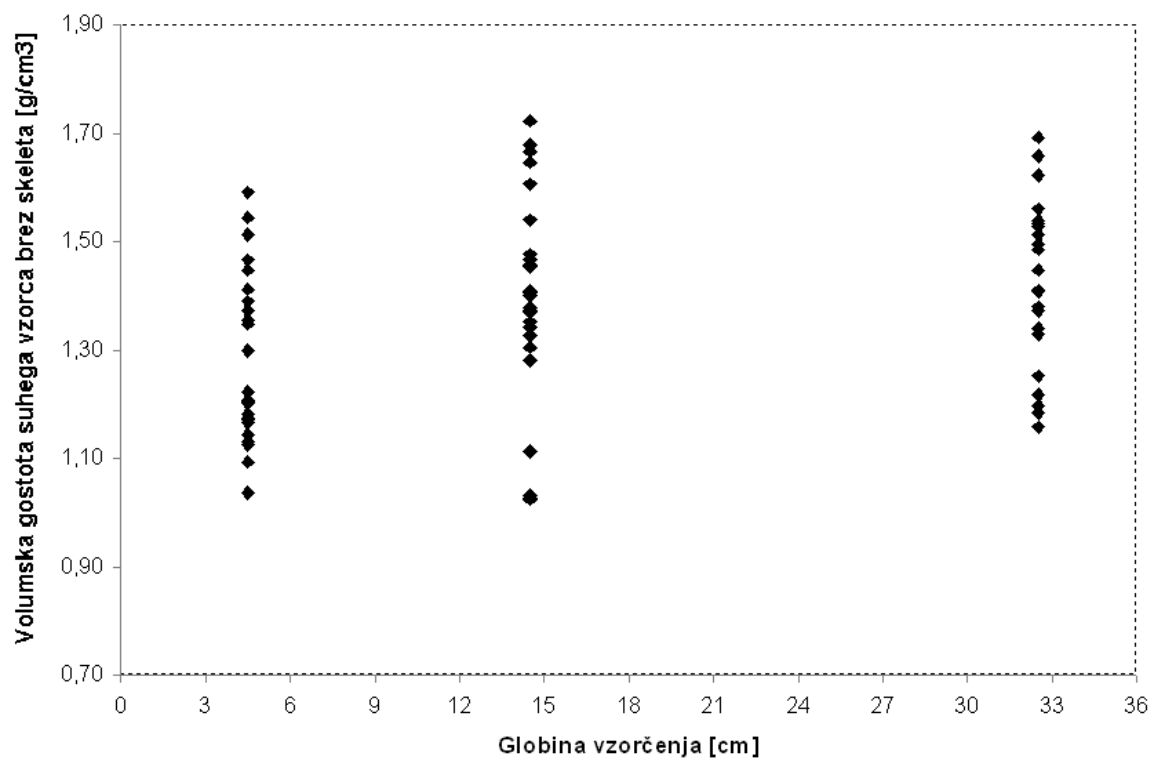
Slika 11: Povezava med izmerjeno volumsko gostoto suhega vzorca in deležem melja v vzorcih



Slika 12: Povezava med izmerjeno volumsko gostoto suhega vzorca in deležem peska v vzorcih



Slika 13: Povezava med izmerjeno volumsko gostoto suhega vzorca in deležem organske snovi v vzorcih



Slika 14: Povezava med izmerjeno volumsko gostoto suhega vzorca in globino vzorčenja

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

Na tem mestu bi bilo potrebno opozoriti, da smo se pri tem diplomskem delu omejili na morda dokaj majhno število vzorcev, s katerimi smo želeli, ne samo ugotoviti primernost objavljenih pedotransfer funkcij, ampak predvsem katere talne lastnosti statistično značilno vplivajo na volumsko gostoto tal. Ne glede na lokacijsko oddaljenost vzorčnih mest se je izkazalo, da je teksturna variabilnost izbranih vzorcev manjša od pričakovane. Vsebnost gline je bila v razponu od 14,5 do 40,7; peska od 8,5 do 39,1 in melja 41,8 do 56,7. Majhna variabilnost podatkov je omejevala analizo podatkov. Izbor različnih načinov obdelave tal (orano, neorano) in globine vzorčenja je sicer nakazal problematiko antropogenih vplivov v kmetijskih tleh, vendar bi bilo s statističnega vidika bolje, da bi izbrali le eno globino tal oziroma en način obdelave.

Že pri iskanju literature, ki obravnava ocenjevanje volumske gostote tal, smo ugotovili, da je bilo največ pedotransfer funkcij razvitih za gozdna oziroma neobdelovana tla. To je razumljivo, saj je v gozdnih tleh motečih (antropogenih) vplivov, kot so oranje, gaženje, gojenje različnih kmetijskih rastlin najmanj, kar pomeni, da lažje iz vrednotimo vpliv talnih lastnosti na volumsko gostoto.

V diplomskem delu smo tako testirali primernost tujih pedotransfer funkcij, ki so bile razvite za gozdna oziroma naravna tla, za kmetijska tla v Sloveniji. Z določeno gotovostjo iz pridobljenih podatkov lahko trdimo, da uporabljene pedotransfer funkcije, niso dovolj natančne za slovenska kmetijska tla. Standardni odklon napake napovedi je bil v razponu od 0,01 do 0,77; koeficient determinacije pa od 0,00 do 0,53. Še za najbolj natančna sta se izkazali pedotransfer funkciji razviti po avtorjih Harrison in Bocoock (1981) – globja plast tal (cit. po De Vos in sod., 2005) ter po avtorjih Honeysett in Ratkowsky (1989) (cit. po De Vos in sod., 2005). Obe pedotransfer funkciji sta imeli (v primerjavi z ostalimi) manjši MPE (-0,08 po pedotransfer funkciji avtorjev Harrison in Bocoock in -0,06 po avtorjih Honeysett in Ratkowsky), SDPE (0,02 po obeh omenjenih pedotransfer funkcijah) in RMSPE (0,19 po prvi in 0,12 po drugi pedotransfer funkciji) ter razmeroma velik R_p^2 (0,51 in 0,53). Obe pedotransfer funkciji napovedujeta volumsko gostoto na osnovi podatka o organski snovi tal. Med uporabljenimi pedotransfer funkcijami smo imeli tudi eno, ki je bila razvita za slovenska tla (Urbančič in sod., 2007), vendar za gozdna in ne kmetijska. Omenjena pedotransfer funkcija je imela v primerjavi z ostalimi manjši koeficient determinacije. Razlog je lahko v tem, da na volumsko gostoto lahko vplivajo tudi antropogeni faktorji (rahljanje in zbijanje tal z uporabo kmetijskih strojev in kolobarjenje kmetijskih kultur), ki jih na gozdnih tleh navadno ni.

Da je organska snov bistvena lastnost, ki vpliva na volumsko gostoto tal, smo ugotovili tudi v naši raziskavi. Kot kaže grafični prikaz (Slike 10 – 14) na volumsko gostoto vpliva predvsem delež organske snovi v tleh, na drugi strani pa so se teksturne lastnosti izkazale

kot statistično manj oziroma nevplivajoče na volumsko gostoto tal. Iz naših podatkov lahko zaključimo, da so najprimernejše pedotransfer funkcije za slovenska kmetijska tla tiste, ki temeljijo le na deležu organske snovi oziroma na deležu organskega ogljika.

Do podobnih ugotovitev, da delež organske snovi v večji meri vpliva na volumsko gostoto tal, kot tekstura, so prišli tudi avtorji člankov (Benites in sod., 2007; De Vos in sod., 2005; Heuscher in sod., 2005) iz katerih smo pridobili podatke za izdelane pedotransfer funkcije. Avtorji opozarjajo, da je potrebno v tujini razvite pedotransfer funkcije prilagoditi nacionalnim lastnostim tal in načinu rabe tal.

Na volumsko gostoto tal pomembno vpliva tudi način obdelave tal in globina vzorčenja, zato bi bilo v prihodnosti smiselno sistematično zbirati podatke tako iz njivskih površin, kot iz travniških. Na travniških površinah bi bilo smiselno jemati vzorce iz večjih globin, pri čemer ostaja odprto vprašanje ali je bolje jemati iz fiksnih, v naprej izbranih globin ali glede na lastnosti horizontov v profilu. Na njivskih površinah bi bilo potrebno jemati iz določene globine ornice, najbolje vedno v istem časovnem obdobju leta (verjetno v jeseni, po spravilu pridelkov), saj sicer obstaja dodatna variabilnost zaradi obdelave (oranje, gaženje). Vzorčna mesta bi bilo smiselno izbrati tudi glede na podatke pedološke karte po pedokartografskih enotah.

5.2 SKLEPI

Raziskavo lahko strnemo v naslednje sklepe:

V tujini razvite pedotransfer funkcije gozdnih tal so se izkazale kot manj primerne za slovenska kmetijska tla, prav tako tudi pedotransfer funkcije razvite za slovenska gozdna tla. Standardni odklon napake napovedi je bil v razponu od 0,01 do 0,77, koeficient determinacije pa od 0,00 do 0,53.

Za najbolj primerni pedotransfer funkciji od uporabljenih, sta se izkazali pedotransfer funkciji po avtorjih Harrison in Boccock (1981) – globlja plast tal (cit. po De Vos in sod., 2005) ter po avtorjih Honeysett in Ratkowsky (1989) (cit. po De Vos in sod., 2005), ki napovedujeta volumsko gostoto na osnovi podatka o vsebnosti organske snovi.

Ugotovili smo odvisnost volumske gostote tal od deleža organske snovi oz. deleža organskega ogljika, medtem ko teksturne lastnosti niso kazale močne zveze z volumsko gostoto tal.

V primeru izdelave pedotransfer funkcij za slovenska kmetijska tla v prihodnosti predlagamo sistematično zbiranje podatkov ločeno za travniške in njivske površine. Potrebno je zbrati dovolj podatkov v širokem razponu tako teksturnih lastnosti kot vsebnosti organske snovi.

6 POVZETEK

V diplomski nalogi smo ugotavljali vpliv talnih lastnosti za napovedovanje volumske gostote tal. Naloga zajema izbor tal, izkop talnih profilov in osnovni opis tipa tal ter analizo volumske gostote tal, deleža skeleta, teksture, deleža organske snovi oziroma deleža organskega ogljika. Na osnovi pridobljenih podatkov smo nato primerjali izračunano in ocenjeno (preko različnih pedotransfer funkcij) volumsko gostoto tal. Izbrali smo štiri različne lokacije v Sloveniji, (Moškanjci na Ptujskem polju, Kostrlag nad Izolo, Gore nad Hrastnikom, Spodnji Brnik v Cerkljah na Gorenškem). Izkopali smo vzorce v večih ponovitvah na treh globinah (2-7, 12-17 in 30-35 cm). Iz dobljenih vzorcev tal smo izračunali volumsko gostoto tal in volumsko gostoto brez skeleta.

Analize so bile izvedene v laboratoriju Centra za pedologijo in varstvo okolja. Vzorce tal smo za fizikalno-kemijske analize pripravili v skladu s standardom (ISO 11464, 1994). Teksturo tal smo določali po standardu (ISO 11277, 1998). Volumsko gostoto smo določali po standardu (ISO 11272, 1993). Delež organske snovi pa smo določali po standardu (SIST ISO 14235, 1999).

Vrednosti volumske gostote tal in teksturnih lastnosti tal so se na izbranih lokacijah izkazale kot variabilne. Volumska gostota tal in volumska gostota tal brez skeleta je bila od 1,02 do 1,72 g/cm³. Tla so imela teksturo z deležem gline od 14,5 do 40,7; melja od 23,3 do 49,4 in peska od 8,5 do 39,1.

Spreminjala pa se je prav tako tudi volumska gostota tal z globino. Na vseh štirih vzorčnih lokacijah in pri skoraj vseh ponovitvah se je izkazalo, da se vrednost volumske gostote tal z globino povečuje.

Za primerjavo izmerjene in ocenjene volumske gostote tal smo uporabili eno slovensko (Urbančič in sod., 2007) in dvanajst v tujini razvitih pedotransfer funkcij (Jeffrey, 1970, cit. po De Vos in sod., 2005; Harrison in Boccock, 1981, cit. po De Vos in sod., 2005; (za vrhno plast in globjo plast tal), Leonavičiute, 2000, cit. po De Vos in sod., 2005; (za A, E, B in BC-C horizont), Alexander, 1980, cit. po De Vos in sod., 2005; Manrique in Jones, 1991, cit. po De Vos in sod., 2005; Tamminen in Starr, 1994 cit. po De Vos in sod., 2005; Honeysett in Ratkowsky, 1989 cit. po De Vos in sod., 2005; Kaur in sod., 2002, cit. po De Vos in sod., 2005). Za najbolj primerni od uporabljenih, sta se izkazali pedotransfer funkciji po avtorjih Harrison in Boccock (1981, cit. po De Vos in sod., 2005) – globja plast tal ter po avtorjih Honeysett in Ratkowsky (1989, cit. po De Vos in sod., 2005). Standardni odklon napake napovedi je bil 0,02 pri obeh pedotransfer funkcijah ter koeficient determinacije 0,51 in 0,53.

V naši raziskavi smo ugotovili, da je organska snov bistvena lastnost, ki vpliva na volumsko gostoto tal. Medtem ko so se teksturne lastnosti izkazale kot statistično manj oziroma nevpilivajoče na volumsko gostoto tal. Iz naših podatkov lahko strnemo, da so

najprimernejše pedotransfer funkcije za slovenska kmetijska tla tiste, ki temeljijo le na deležu organske snovi oziroma na deležu organskega ogljika.

Na volumsko gostoto tal pomembno vpliva tudi globina vzorčenja in človek z načinom obdelave tal, zato bi bilo v prihodnosti smiselno sistematično zbirati podatke tako iz njivskih površin, kot iz travniških. Na travniških površinah bi bilo smiselno jemati vzorce iz večih globin (ali je bolje jemati iz fiksnih, v naprej izbranih globin ali pa glede na lastnosti horizontov v profilu – bi bilo morda smiselno predhodno preučiti). Na njivskih površinah bi bilo potrebno jemati iz določene globine ornice, najbolje vedno v istem časovnem obdobju leta. Vzorčna mesta bi bilo smiselno izbrati tudi glede na podatke pedološke karte po pedokartografskih enotah.

7 VIRI

- Benites V.M., Machado P.L.O.A., Coelho F.M.R, Madari B.E. 2007. Pedotransfer functions for estimating soil bulk density from existing soil survey reports in Brazil. Science Direct. Geoderma, 139: 90-97
- Brady N.C., Weil R. R. 2002. Soil density. V: The nature and properties of soils. 13. Edition. New Jersey, Prantice Hall: 148-158
- Dane J.H., Topp G.K. 2002. The solid phase. V: Methods of soil analysis. Part 4. Madison, Wisconsin, USA. Soil Science Society of America: 201-211
- De Vos B., Van Meirvenne M., Quataert P., Decters J., Muys B. 2005. Predictive quality of pedotransfer functions for estimating bulk density of forest soils. Soil Science Society of America Journal, 69: 500-510
- Grčman H., Zupan M. 2008. Navodila za vaje iz pedologije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Center za pedologijo in varstvo okolja: 46 str.
- Heuscher S.A., Brandt C.C., Jardine P.M. 2005. Using soil physical and chemical properties to estimate bulk density. Soil Science Society of America Journal, 69: 51-56
- SIST ISO 14235. Kakovost tal – Določanje organskega ogljika z oksidacijo v kromžvepleni kislini (Modificirano po Walkley –Black). 1999: 5 str.
- ISO 11272. Soil Quality – Determination of dry bulk density. 1993: 10 str.
- ISO 11277. Soil Quality – Determination of particle size distribution in mineral soil material – Method by sieving and sedimentation. 1998: 30 str.
- ISO 11464. Soil Quality – Pretreatment of samples for physico-chemical analysis. 1994: 9 str.
- Leštan D. 2002. Tla. V: Ekopedologija. Študijsko gradivo za študente opredeljenega izbirnega študija Ekopedologije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Center za pedologijo in varstvo okolja: 1-23
- McBratney, A.B., Minasny, B., Cattle, S.R., Vervoort, R.W., 2002. From pedotransfer functions to soil inference systems. Geoderma, 109: 41-73
- Ogorevc B. 2008. Vpliv vode v tleh na tok geogenega CO₂ iz tal v atmosfero. Dipl. delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za agronomijo: 39 str.

- Pachepsky Y.A., Rawls W.J., Lin, H.S. 2006. Hydropedology and pedotransfer functions. *Geoderma*, 131: 308-316
- Pachepsky Y.A., Rawls W.J. 2004. Development of pedotransfer functions in soil hydrology. *Developments in Soil Science*, 30: 225-240
- Rowell D.L. 1994. The arrangement of particles and pores – soil structure. V: *Soil science: Methods and applications*. 1. Edition. London, Longman: 66-70
- Skudnik M. 2010. Zaloge ogljika v tleh v Sloveniji. Seminar »Varstvo okolja«. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za agronomijo 19 str.
- Šijanec M. 2009. Sposobnost izbranih tal za zadrževanje vode. Dipl. delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za agronomijo: 41 str.
- Štangelj A. 2009. Ocena izpiranja izbranih herbicidov na obrečnih tleh Apaške doline, posejanih s koruzo. Dipl. delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za agronomijo: 40 str.
- Švigelj N. 2010. Uporaba računalniških orodij za ocenjevanje izpiranja fitofarmaceutskih sredstev. Dipl. projekt. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za agronomijo: 16 str.
- Urbančič M., Kobal M., Zupan M., Šporar M., Eler K., Simončič P. 2007. Organska snov v gozdnih tleh. V: *Strategija varovanja tal v Sloveniji. Zbornik referatov konference*. Knapič M. (ur.). Ljubljana, Slovensko pedološko društvo: 217-230
- Zupanc V. 2003. Določanje potreb po namakanju v Vipavski dolini za breskve in nektarine ob spremenjeni vodni bilanci tal. Dokt. disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za agronomijo: 121 str.

ZAHVALA

Za zaključek bi se resnično rad zahvalil v prvi vrsti mentorici doc. dr. Heleni Grčman za veliko mero prijaznosti, vodenja in pomoči pri nastajanju diplomskega dela.

Prav tako se zahvaljujem celotnemu osebju Centra za pedologijo in varstvo okolja Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, kjer so mi pomagali pri opravljenju kemijskih analiz.

Prav tako se zahvaljujem družini za vsa dolga leta duhovne in materialne podpore ob mojemu študiju.

In seveda se zahvaljujem tudi Martini za moralno oporo.

Levstik S.. Talne lastnosti kot osnova za napovedovanje volumske gostote tal.

Dipl. delo. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za agronomijo, 2010
