

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN  
OBNOVLJIVE GOZDNE VIRE

Bor KRAJNC

**GOSTOTA TAL IN ZALOGE OGLJIKA V GOZDNIH  
TLEH NA TRDIH KARBONATNIH PODLAGAH V  
SLOVENIJI**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2011

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN OBNOVLJIVE GOZDNE VIRE

Bor KRAJNC

**GOSTOTA TAL IN ZALOGE OGLJIKA V GOZDNIH TLEH NA  
TRDIH KARBONATNIH PODLAGAH V SLOVENIJI**

DIPLOMSKO DELO  
Univerzitetni študij

**FOREST SOIL BULK DENSITY AND CARBON STOCK ON HARD  
CARBONATE PARENT MATERIALS OF SLOVENIA**

GRADUATION THESIS  
University studies

Ljubljana, 2011

*"Tako je šel naprej, ta pot pa je bila dolga. Cesta, glavna cesta v vasi, namreč ni držala h grajskemu hribu, ampak le v njegovo bližino, potem pa je kakor nalašč zavila, in eprav se ni oddaljila od gradu, se mu tudi ni približevala. K. je ves čas pri akoval, da mora cesta zdaj zdaj zaviti proti gradu, in šel je naprej le zato, ker je to pri akoval; očitno zato, ker je bil truden, se je obotavljal in ni zapustil ceste, tudi se je čudil, kako dolga je vas, ki ji ni bilo ne konca ne kraja ..."*

(Franz Kafka, Grad)

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija gozdarstva. Opravljeno je bilo na Centru za pedologijo in varstvo okolja Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Kemijske in fizikalne analize so bile opravljene na Gozdarskem inštitutu Slovenije. Talni profili so bili narejeni na območju Slovenije.

Komisija za študijska in študentska vprašanja Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire BF je dne 12. 4. 2011 sprejela temo in za mentorja diplomskega dela imenovala izr. prof. dr. Heleno Grman, za somentorja prof.dr. Jurija Diacija, za recenzenta pa dr. Primoža Simonija.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Ilan:

Ilan:

Datum zagovora:

Diplomsko delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Bor Krajnc

## KLJU NA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	GDK 114(043.2)=163.6
KG	pedologija/tla/gostota tal/PTF/pedotransferna funkcija/pedotransferni model/zaloga ogljika/apnenec/dolomit/Slovenija
KK	
AV	KRAJNC, Bor
SA	GR MAN, Helena (mentor) / DIACI, Jurij (somentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Ve na pot 83
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire
LI	2011
IN	GOSTOTA TAL IN ZALOGE OGLJIKA V GOZDNIH TLEH NA TRDIH KARBONATNIH PODLAGAH V SLOVENIJI
TD	Diplomsko delo (Univerzitetni študij)
OP	IX, 45 str., 8 pregl., 8 sl., 3 pril., 51 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Pridobivanje podatka o volumenski gostoti tal ( $\rho_b$ ) je izvedbeno zahteven in asovno potraten postopek. Z razvojem pedotransfernih funkcij (PTF) se lahko ta podatek oceni iz drugih parametrov tal, ki se že nahajajo v bazah podatkov, ali pa se jih veliko lažje in hitreje izmeri. Če se funkcija razvije za tla na dolo eni mati ni kamnini, je lahko ta ocena natan nejša. Iz podatkov 15ih vzor nih ploskev 16 x 16 km bioindikacijske mreže Slovenije, ki so bili pridobljeni leta 2006 v okviru projekta BioSoil, je bila razvita PTF za ocenjevanje $\rho_b$ mineralnega dela tal na trdih karbonatnih mati nih podlagah v Sloveniji. S podatkom o koncentraciji organskega ogljika je bilo pojasnjenih 89% variabilnosti $\rho_b$ mineralnega dela tal. Če je bil v model vklju en še podatek o kationski izmenjalni kapaciteti, je bilo pojasnjenih skoraj 94% variabilnosti $\rho_b$ mineralnega dela tal. Volumensko gostoto organskega dela tal smo poizkušali oceniti na podlagi vrste podhorizonta. S tem podatkom je bilo pojasnjenih 42% variabilnosti volumenske gostote organskega dela tal. Preverjeno je bilo, e obstaja korelacija med koli ino lesne zaloge in zalogo ogljika v tleh. Korelacija na preu evanih ploskvah ni bila dokazana.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn

DC FDC 114(043.2)=163.6

CX soil science/soils/soil bulk density/PTF/pedotransfer function/pedotransfer  
model/carbon stock/limestone/dolomite/Slovenia

CC

AU KRAJNC, Bor

AA GR MAN, Helena (supervisor) / DIACI, Jurij (co-supervisor)

PP SI-1000 Ljubljana, Ve na pot 83

PB University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Department of forestry and  
renewable forest resources

PY 2011

TI FOREST SOIL BULK DENSITY AND CARBON SOCK ON HARD  
CARBONATE PARENT MATERIALS OF SLOVENIA

DT Diplomsko delo (University studies)

NO IX, 45 p., 8 tab., 8 fig., 3 ann., 51 ref.

LA sl

AL sl/en

AB Measuring soil bulk density ( $\rho_b$ ) is a complex and time consuming activity. With the development of pedotransfer functions (PTFs) this information can be assessed from other soil parameters which are much easier and faster to measure or are already present in databases. If the function is developed for the soil at a particular parent rock, the estimate may be more accurate. In the development of PTFs to estimate the  $\rho_b$  of the mineral part of the soil, specifically the hard carbonate parent rock material in Slovenia the data, which was obtained in 2006 in the framework of the BioSoil project was used. The data was collected from 15 sample plots which are part of the 16 x 16 km bio-indication network of Slovenia. The data on the concentration of organic carbon explained 89% of the variability of  $\rho_b$  in the mineral part of the soil. If the data on cation exchange capacity was included, the model explained almost 94% of the variability of  $\rho_b$  in the mineral part of the soil. A study of the types of sub-horizons was used to estimate the  $\rho_b$  of the organic part of the soil. The data explained 42% of the variability of  $\rho_b$  of the organic part of the soil. The correlation between the growing stock and soil carbon pool was examined. No proof of correlation for the studied plots existed.

## KAZALO VSEBINE

KLJU NA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA .....	III
KEY WORDS DOCUMENTATION .....	IV
KAZALO VSEBINE .....	V
KAZALO PREGLEDNIC .....	VIII
KAZALO SLIK .....	IX
KAZALO PRILOG .....	IX
1 UVOD.....	1
1.1 POVOD ZA IZDELAVO DIPLOMSKEGA DELA .....	2
1.2 NAMEN DIPLOMSKEGA DELA .....	2
1.3 DELOVNE HIPOTEZE .....	2
2 PREGLED OBJAV .....	3
2.1 RAZVOJ PTF FUNKCIJ .....	3
2.2 PRIMERJAVA OBJAVLJENIH PTF FUNKCIJ ZA GOZDNA TLA.....	4
2.3 RAZVOJ TER PRIMERJAVA SPLOŠNE PTF S SPECIFI NIMI PTF .....	6
2.4 VPLIV RAZLI NIH PARAMETROV NA OCENO b .....	7
2.5 RAZVOJ SPLOŠNE PTF Z UPORABO METODE OJA ANIH REGRESIJSKIH DREVES (BOOSTED REGRESSION TREES).....	8
2.6 RAZVOJ LOKALNE PTF FUNKCIJE ZA SLOVENIJO IN NJENA PRIMERJAVA Z OBJAVLJENIMI PTF FUNKCIJAMI.....	9
2.7 IMENA ORGANSKIH PODHORIZONTOV .....	10
2.9 PROJEKT BIOSOIL .....	11
3 MATERIALI IN METODE.....	12
3.1 IZBOR IN OPIS KONTROLNIH PLOSKEV .....	12

3.1.1 Izbor kontrolnih ploskev.....	12
3.3.2 Potencialne rastlinske združbe na vzor nih ploskvah .....	13
3.3.3 Klasifikacija tal.....	15
3.4 STRATEGIJA JEMANJA VZORCEV TAL .....	16
3.5 LABORATORIJSKO DELO.....	17
3.5.1 Priprava vzorcev za laboratorijsko delo .....	17
3.5.2 Merjenje $\rho_b$ .....	17
3.5.3 Merjenje pH vrednosti .....	17
3.5.4 Merjenje kationske izmenjalne kapacitete.....	18
3.5.5 Merjenje koncentracije ogljika (C).....	18
3.5.6 Merjenje koncentracije dušika (N) .....	18
3.5.7 Merjenje vsebnosti karbonatov.....	18
3.5.8 Meritve vlage tal.....	18
3.5.9 Določanje teksture tal .....	18
3.6 STATISTI NA OBDELAVA PODATKOV .....	19
3.6.1 Primerjava gostot organskih podhorizontov glede na vrsto .....	19
3.6.2 Razvoj lokalne PTF funkcije za ocenjevanje $\rho_b$ mineralnega dela tal.....	19
3.6.3 Primerjava lesne zaloge in zaloge ogljika v tleh ( $C_{zal}$ ) .....	21
4 REZULTATI .....	23
4.1 OCENA VOLUMENSKÉ GOSTOTE TAL ORGANSKIH PODHORIZONTOV NA OSNOVI VRSTE PODHORIZONTA .....	23
4.4 RAZVOJ PTF FUNKCIJE IN VPLIV $C_{org}$ NA OCENO VOLUMENSKÉ GOSTOTE TAL ZA MINERALNE HORIZONTE .....	23
4.5 ZVEZA MED ZALOGO OGLJIKA V TLEH IN LESNO ZALOGO.....	28
5 RAZPRAVA IN SKLEPI.....	31
5.1 RAZPRAVA.....	31



5.1.1 Določitev gostote tal organskega podhorizonta s podatkom o vrsti podhorizonta ( $I_{me_{org}}$ ).....	31
5.1.2 PTF funkcija in vpliv koncentracije $C_{org}$ na določanje volumske gostote tal.....	32
5.1.3 Vsebnost organskega ogljika v tleh in lesna zaloga .....	34
5.2 SKLEPI.....	36
6 POVZETEK .....	37
7 VIRI.....	40

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Delovne oznake koordinat ploskev (D.O.K.), krajevna imena, mati ne podlage, nadmorske višine, nakloni, ekspozicije, skalovitost in kamnitost obravnavanih vzor nih ploskev (Urban i , 2009: 28) .....	13
Preglednica 2: Delovne oznake koordinat ploskev (D.O.K.), krajevna imena in potencialne rastlinske združbe na kontrolnih ploskvah (Urban i , 2009: 38).....	14
Preglednica 3: Slovenska razvrstitev tal, mati ne podlage in humusne oblike reprezentan nih talnih profilov (Urban i , 2009: 34) .....	15
Preglednica 4: Omejitve vhodnih parametrov multiple regresije .....	20
Preglednica 5: Lesna zaloga [ $m^3/ha$ ] po lokacijah.....	22
Preglednica 6: Regresijska odvisnost izbranih neodvisnih spremenljivk z volumensko gostoto tal za 24 vzorcev .....	27
Preglednica 7: Koeficienti in standardizirani regresijski koeficienti v dobljenih modelih.	27
Preglednica 8: Izra unane zaloge ogljika v tleh po lokacijah, lo eno za organski del tal ( $C_{zalOrg}$ ), mineralni del tal ( $C_{zalMine}$ ) in skupaj ( $C_{zal}$ skupaj) .....	28

## KAZALO SLIK

Slika 1: Vzor na mesta, na katerih smo pridobili podatke za razvoj PTF funkcij tal za gostoto tal .....	12
Slika 2: Okvir z roaji za $\rho_{org}$ glede na vrsto podhorizonta .....	23
Slika 3: Tokasti graf $\rho_{org}$ glede na $C_{org}$ .....	23
Slika 4: Odvisnost volumenske gostote tal ( $\rho_b$ ) s koncentracijo skupnega dušika ( $N_{tot}$ ), koncentracijo organskega ogljika ( $C_{org}$ ), kationsko izmenjalno kapaciteto (KIK) ter globino sredine vzor enega horizonta za 24 talnih vzorcev. ....	24
Slika 5: Odvisnost volumenske gostote tal ( $\rho_b$ ) s pH vrednostjo tal, nasi enostjo z bazami (BS), deležem gline, deležem melja ter deležem peska za 24 talnih vzorcev. ....	25
Slika 6: Odvisnost volumenske gostote tal ( $\rho_b$ ) s transformiranimi spremenljivkami $korC_{org}$ , $korN_{tot}$ in $kubkorGlob$ za 24 talnih vzorcev .....	26
Slika 7: Zaloga ogljika ( $C_{zal}$ ) glede na organski (Or) in mineralni (Mi) del tal .....	29
Slika 8: Graf odvisnosti lesne zaloge glede na zalogo organskega ogljika v tleh ( $C_{zal}$ ) .....	30

## KAZALO PRILOG

Priloga A:	Podatki o izmerjeni volumenski gostoti tal $\rho_{org}$ in vsebnosti organskega ogljika ( $C_{org}$ ) v organskih podhorizontih
Priloga B:	Volumenska gostota tal, šifre skeletnosti in globine mineralnih horizontov po lokacijah
Priloga C:	Tekstura (odstotek gline, melja in peska), delež organskega ogljika, delež skupnega dušika, pH vrednost tal, Kationska izmenjalna kapaciteta in delež nasi enosti z bazami v mineralnih horizontih po lokacijah

## 1 UVOD

Za gozdna tla Slovenije že imamo na razpolago zbirke podatkov o izbranih kemijskih in fizikalnih lastnostih tal. Pridobivanje dolo enih podatkov je lahko izvedbeno zahtevno, asovno potratno ter zahteva drage merilne naprave in analize. V izogib zahtevnemu, dragemu in asovno potratnemu pridobivanju takih podatkov so se razvile nove metode, s katerimi je mogo e na te podatke sklepati iz cenejših in lažje merljivih parametrov tal. Razvite so bile pretvorbene funkcije tal (PTF), s pomo jo katerih na podlagi razli nih statisti nih modelov pri dolo eni stopnji tveganja in z dovolj veliko natan nostjo sklepamo na sicer težko merljivi parameter tal.

Eden takih težje merljivih podatkov je volumenska gostota tal ( $\rho_b$ ). Definirana (FAO, 2006) je kot masa tal pri danem volumnu. Obi ajno jo izražamo v  $\text{g/cm}^3$ , oziroma  $\text{kg/dm}^3$  (Cools in De Vos, 2010). Skeletnih delcev ve jih od 2 mm pri izra unu  $\rho_b$  ne upoštevamo. Podatek o  $\rho_b$  je pomemben za ocenjevanje zalog snovi in hranil v tleh, za vrednotenje procesov v tleh, kot so zbitost tal in omejevanje rasti korenin (Mouazen in sod., 2003; Dexter, 2004) ter za gibanje in zadrževanje vode v tleh (Givi in sod., 2004). V zadnjem asu pa je podatek o  $\rho_b$  pomemben predvsem zato, ker je skrb o podnebnih spremembah in kopi enje ogljika v tleh kot blažilec teh sprememb zahtevala nacionalne ocene zalog ogljika v tleh (Eswaran in sod., 1993). Zaloge vezanega organskega ogljika predstavljajo najve ji kopenski zbiralnik ogljika (Hillel, 2009). Zaloge ogljika v tleh in opadu so sestavni del obveznega poro anja držav podpisnic Konvencije UNFCCC in Kjotskega protokola, katerega podpisnica je Slovenija. Kjotskega protokola je Slovenija ratificirala leta 2002, (Zakon o ratifikaciji... , 2002) in izhaja iz Okvirne konvencije Združenih narodov (ZN) o spremembi podnebja (UNFCCC). Podatek o  $\rho_b$  je nujen za izra un zalog ogljika in hranil v tleh na površino (Tamminem in Starr, 1994). Potrebujemo ga, da pretvorimo vsebnost ogljika kot odstotek pri suhi teži v težo ogljika na enoto površine (Howard in sod., 1995).

## 1.1 POVOD ZA IZDELAVO DIPLOMSKEGA DELA

Ker so tla nastala v dolgem časovnem obdobju pod vplivom t.i. tlotvornih dejavnikov (klima, organizmi, relief, mati na podlaga in čas), so talne lastnosti, vključno z gostoto tal, zelo lokalno pogojene (Phillips in Marion, 2005). Zlasti rezultati novejših študij razvoja PTF funkcij, ki so potekale na nacionalnem nivoju (npr. De Vos, 2005; Martin, 2009; Kobal in sod. 2011), so pokazali zelo lokalno omejeno uporabo enotnih PTF funkcij, medtem ko uporabo teh funkcij za območja, ki presegajo območje raziskave odsvetujejo oz. zahtevajo dodatno kalibracijo vhodnih parametrov modelov. Zato je za natančnost ocene  $\tau_b$  smiselno razvijati lokalne PTF funkcije. To pa pomeni posledično tudi natančnejšo oceno zalog ogljika v tleh, kar je v zadnjem času zlasti pomembno pri poročanju v okviru mednarodnih konvencij.

## 1.2 NAMEN DIPLOMSKEGA DELA

Namen diplomskega dela je, na osnovi obstoječih podatkov za gozdna tla nacionalne 16x16 km bioindikacijske mreže za mati na podlago apnenca in dolomiti (trde karbonatne kamnine), izračunati modelno PTF funkcijo za napoved  $\tau_b$  ter izračunati zaloge ogljika ( $C_{zal}$ ) v tleh na osnovi podatkov talnih profilov.

## 1.3 DELOVNE HIPOTEZE

- Za ocenitev  $\tau_b$  v organskem delu zadošča podatek o vrsti organskega podhorizonta.
- V mineralnem delu tal je  $\tau_b$  odvisna zlasti od koncentracije organskega ogljika ( $C_{org}$ ) v tleh.
- Med zalogo ogljika v tleh ( $C_{zal}$ ) in lesno zalogo obstaja statistično značilna pozitivna korelacija.

## 2 PREGLED OBJAV

### 2.1 RAZVOJ PTF FUNKCIJ

PTF funkcije tal za oceno  $C_b$  so bile razvite že zelo zgodaj (npr. Jeffrey, 1970). Sprva so  $C_b$  ocenjevali le na podlagi organske snovi v vzorcu tal (Adams, 1973; Federer 1993 Honeysett in Ratkowski, 1989), kasneje pa so v modele za  $C_b$  vključili tudi podatke o teksturi tal (Leonavi iute, 2000; Kaur s sod., 2002). Navadne univariantne modele so razširili z uporabo multiple regresije, istočasno so nekateri razvili funkcije  $C_b$  za organski oz. mineralni del tal (npr. Harrison in Bocoock, 1981), oz. celo  $C_b$  za posamezne horizonte npr. (Leonavi iute, 2000). Sledila je uporaba metod strojnega učenja, na primer pretvorbene funkcije tal narejene na podlagi regresijskih dreves (Martin s sod., 2009).

Funkcije, tako enostavne kot multiple regresije, so razvijali za specifične talne enote (Huntington, 1989; Arrouays in Pelissier, 1994) in za specifične ekosisteme (Grigal in sod., 1989; Honeysett in Ratkowski, 1989; Howard, 1995). Razvijali so tudi splošne funkcije, ki naj bi bile uporabne za širok spekter tal (Adams, 1973; Alexander, 1980).

Do sedaj je bilo objavljenih malo raziskav vrednotenja obstoječih PTF za ocenjevanje  $C_b$ , z uporabo neodvisnih vzorcev. Kaur in sod. (2002) so odkrili zelo omejeno napovedovalno vrednost teh funkcij. Kot vzroke navajajo, da so bile razvite za specifična tla in ekosisteme, da so pri razvoju funkcij uporabljali posredno izražene vsebnosti organske snovi ter vpliv subjektivnih napak.

Raziskave kažejo, da  $C_b$  mineralnega dela tal močno korelira z vsebnostjo organske snovi in teksturo tal (Adams, 1973; Alexander, 1980; Harrison in Bocoock, 1981; Huntington in sod., 1989; Manrique in Jones, 1991; Salifu in sod., 1999). Na nekultiviranih, ohranjenih tleh, kot je večinoma gozdnih tal, ima organska snov poglavitni vpliv na  $C_b$  (Manrique in Jones, 1991).

Gostota tal se spreminja tudi z globino tal (Harrison in Bocoock, 1981; Hunington in sod., 1989; Leonavi ute, 2000), s talnimi tipi (Alexander, 1980; Manrique in Jones, 1991; Salifu in sod., 1999), z uporabo tal in z razli no vrsto in pokrovnostjo vegetacije (Harrison in Bocoock, 1981).

## 2.2 PRIMERJAVA OBJAVLJENIH PTF FUNKCIJ ZA GOZDNA TLA

Devos in sod. (2005) so primerjali 12 objavljenih PTF funkcij. Podatke so dobili iz baze podatkov ForSite za 217 vzor nih ploskev v gozdovih Flandrije (Belgija).

Baza podatkov je bila precej velika, vendar je zajemala samo eno regijo. Od fizikalnih in kemi nih lastnosti tal so za neodvisne spremenljivke uporabili le podatke o vsebnosti organske snovi, pridobljene s suhim sežigom (LOI), ter podatke o teksturi tal.

Od dvanajstih PTF funkcij so izbrali dve, ki sta se najbolj prilagajali. In sicer PTF funkcijo, ki jo je razvil Adams (1973), in PTF funkcijo, katero sta razvila Tamminem in Starr (1994). Obe funkciji imata kot edino neodvisno spremenljivko vrednost LOI. Te dve funkciji so ponovno kalibrirali in vrednotili glede na svojo bazo podatkov. Funkcije so preverili še tako, da so namesto LOI upoštevali samo teksturo tal, ter tako, da so funkcijo razširili na tri neodvisne spremenljivke: LOI, teksturo in globino vzor enja. Preverjali so tudi, kako na rezultate vpliva lo eno kalibriranje zgornjega (ve inoma A horizont) in spodnjega (E, B in C horizont) dela tal.

Raziskava je pokazala, da lahko pri študijah, ki dopuščajo napovedano napako med 10% in 20%, uporabimo prej omenjeni funkciji ter funkcijo ki sta jo razvila Harrison in Boccock (1981). Pri študijah, ki zahtevajo napovedano napako pod 10%, pa ne smemo uporabljati nobene od preučenih funkcij brez ponovne kalibracije in lokalnega vrednotenja. Vrednotenje ponovno kalibriranih funkcij je pokazalo značilno zmanjšanje mere skupne napake modela, večinoma zaradi eliminacije biasa po ponovni kalibraciji. V tej raziskavi je imela najboljša nekalibrirana PTF slabšo napovedovalno vrednost kot najslabša, ki so jo ponovno kalibrirali. Zato je za povečanje natančnosti napovedane gostote tal potrebno PTF kalibrirati in ovrednotiti na regionalnem nivoju, kot so to že predlagali Alexander (1980), Harrison in Boccock (1981), Salifu in sod. (1999) ter Kaur in sod. (2002). Z ponovno kalibracijo se je točnost znatno izboljšala natančnost pa le malo.

Razširitev modela na drugi in tretji polinomski red ni bistveno povečala koeficienta determinacije niti ni bistveno znižala standardne napake ostankov. Modeli, temelječi samo na teksturi, so bili bistveno manj natančni kot modeli, temelječi samo na LOL. Tekstura je imela majhno vlogo pri napovedovanju gostote. Organska snov pa ima, kot je skladno z ugotovitvami mnogih avtorjev, dominantno vlogo.

Ločna kalibracija modelov za zgornje in spodnje plasti ni bistveno izboljšala napovedovalne vrednosti. Ker posebna funkcija za zgornji del tal zaradi njegove velike heterogenosti (biotična aktivnost, zbitje tal, korenine itd.) pomeni slabo umeščenost PTF funkcije, predlagajo, da se PTF funkcije razvijejo za celotni profil ter da se jemljejo vzorci iz vseh horizontov ali globin, ki nas zanimajo.

Najbolje se je izkazal empirični model, razvit iz PTF funkcije, ki jo je predlagal Adams (1973). V nasprotju s pričakovanji pa je največjo napovedano napako pokazal model, ki so ga nedavno razvili Kaur in sod. (2002). Iz tega sklepajo, da ta funkcija ni razvita za širok spekter talnih tipov.



### 2.3 RAZVOJ TER PRIMERJAVA SPLOŠNE PTF S SPECIFIČNIMI PTF

Sonja A. Heuscher in sod. (2005) so iz baze podatkov 21 667 pedonov in 136 000 vzorcev iz ZDA in nekaj drugih držav preverjali odnos med fiziokemičnimi parametri tal in  $\theta_b$ . Preizkušali so, kako natančna je PTF funkcija, in jo izpeljejo za vse vzorce skupaj ali eno za vsako skupino tal izračunajo posebno PTF funkcijo. Za preizkus so uporabili podatke o teksturi,  $C_{org}$ , vsebnosti vode pri 15 bar ter globino horizonta. Da bi določili odnos teh parametrov in nekaj iz njih izpeljanih spremenljivk z  $\theta_b$ , so z uporabo REG procedure s korakno (stepwise) metodo (SAS Institute, 1991) razvili multiplo regresivne modele.

Ugotovili so, da lahko s splošno funkcijo pojasnijo 45% variacije  $\theta_b$ , če pa razdelijo podatke na skupine tal, se napoved gostote tal značilno izboljša ( $R^2 = 0,62$ ). Tudi pri tej raziskavi je  $C_{org}$  pojasnil največji del variacije  $\theta_b$  (25% pri skupnem vzorcu). Če so namesto  $C_{org}$  uporabili kvadratni koren  $C_{org}$ , je ta pojasnil kar 33% variacije  $\theta_b$ .

Kakovost regresijskih modelov ločenih po skupinah tal je zelo odvisna od vsebnosti  $C_{org}$  v posamezni skupini tal. Zato imajo modeli skupin tal z majhno vsebnostjo  $C_{org}$  nižje vrednosti  $R^2$ .

Tudi ostali parametri so opisali variacijo v gostoti tal, vendar ne v tolikšni meri kot  $C_{org}$ . Ugotovili so, da globina ni močan napovedovalec gostote tal. Pri splošnem modelu je parameter globine tal opisal 0,08% variacije gostote tal. Pri večini ločenih modelov pa sploh ni bil dovolj statistično značilen, da bi ga vanj vključili.

## 2.4 VPLIV RAZLI NIH PARAMETROV NA OCENO $\delta^{13}C$

Benites in sod. (2007) so iz podatkov, zbranih v brazilskem arhivu tal (Soil Archives of Embrapa Solos, Rio de Janeiro), z uporabo kora ne-naprej metode multiple regresije izpeljali različne PTF funkcije: splošno PTF funkcijo, PTF funkciji izpeljani loeno glede na globino jemanja vzorca (0 – 30 cm in 30 – 100 cm) ter PTF funkciji izpeljani loeno glede na dva v Braziliji najbolj razširjena talna tipa (Latosolos in Argissolos). Za vsako od teh možnosti so izpeljali kompleksno in enostavno PTF funkcijo. Pri razvoju kompleksnih PTF funkcij so upoštevali 16 različnih fizikalnih in kemičnih parametrov. Upoštevali so pH,  $C_{org}$ , delež dušika (N), železov oksid, titanijev oksid, aluminijev oksid, silicijev oksid, izmenljive katione ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ), topljiv kalij, fosfor, delež gline, melja in peska ter vsebnost v vodi disperzne gline. Pri razvoju enostavnih PTF funkcij pa le  $C_{org}$ , vsebnost gline (v g/kg) in vsoto izmenljivih kationov.

V splošni kompleksni model so se uvrstili naslednji parametri: N, vsebnost gline, vsota izmenljivih kationov, železov oksid, C/N razmerje, aluminijev oksid in  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ . Model je pojasnil 70% variacije  $\delta^{13}C$ . Zanimivo je, da v model ni bil vključen podatek o  $C_{org}$ . To si razlagajo s tem, da sta bila N in  $C_{org}$  v tleh v močni korelaciji in je v proceduri multiple regresije in testa kolinearnosti N zamenjal  $C_{org}$  ter s tem, da je postopek merjenja N v tleh bolj zanesljiv kot postopek merjenja ogljika. Enostavni splošni model je pojasnil 66% variacije  $\delta^{13}C$ . Delitev vzorca na skupine glede na globino ali glede na talni tip ni pripomoglo k obsežni izboljšavi ocenjevanja  $\delta^{13}C$ .

To, da delitev glede na red tal ni izboljšalo ocene  $\delta^{13}C$ , ni skladno z ugotovitvami Heuscher in sod. (2005). To si razlagajo s tem, da so imeli v svoji raziskavi veliko manjši vzorec in drugačno metodo merjenja  $\delta^{13}C$ .

## 2.5 RAZVOJ SPLOŠNE PTF Z UPORABO METODE OJA ANIH REGRESIJSKIH DREVES (BOOSTED REGRESSION TREES)

Martin in sod.(2009) so preizkušali novo metodo sestavljanja PTF funkcij za oceno  $\tau_b$ . Uporabili so MART metodo. Ta metoda temelji na tehniki strojnega učenja z ojaenimi regresijskimi drevesi. Deluje lahko tako s kvalitativnimi kot kvantitativnimi spremenljivkami, zdrži manjkajoče podatke in kolinearne pojasnjevalne spremenljivke, je manj občutljiva na osamelce v vzorcih in na uporabo nebitvenih spremenljivk. (Friedman in Meulman, 2003).

Primerjali so delovanje PTF funkcij iz skupin, ki so jih uporabljali De Vos in sod. (2005), s PTF funkcijami, pridobljenimi z MART metodo. Funkcije so preverjali z vzorci, pridobljenimi iz francoske mreže za monitoring kakovosti tal (RMQS). Uporabili so podatke 551-ih vzorčnih ploskev, ki se nahajajo v različnih francoskih regijah in pokrivajo širok spekter različnih podnebnih, talnih in agrikulturnih pogojev.

Funkcije, ki so jih uporabljali De Vos in sod. (2005), so pred primerjavo kalibrirali in primerjali med seboj. Najboljše se je obnašala funkcija Kaur in sod. (2002). Uporabili so dva MART modela. Prvi je zajemal iste parametre kot funkcija Kaur in sod. (2002), s katero so ga primerjali ( $C_{org}$ , glina, melj), drugi pa je zajemal še podatke o vsebnosti peska, tipu tal, vegetaciji, globini, in vrsti horizonta. Tudi tukaj so ugotovili, da je za njihov vzorec najpomembnejši parameter  $C_{org}$ , temu so sledili vsebnost peska, vsebnost melja, vsebnost gline, globina tal, tip tal, vegetacija in vrsta horizonta; kar je skladno z rezultati, ki so jih dobili De Vos in sod. (2005). Globina tal ni vplivala na oceno  $\tau_b$ , kar potrjuje rezultate, ki so jih dobili Heuscher in sod. (2005). V nasprotju z dejstvom, da so Heuscher in sod. (2005) veliko pridobili s tem, da so funkcije razdelili po skupinah tal, pa je to, da je pri tej analizi parameter tipa tal po pomembnosti šele na šestem mestu, takoj za globino tal.

Ugotovili so, da se prva funkcija s samo tremi parametri obnaša zelo primerljivo z drugo funkcijo, ki ima osem vhodnih parametrov.

Model Kaur in sod. (2002) je dal dokaj to ne rezultate za nizke  $b_v$ , vendar je bil tako kot ostali objavljeni PTF modeli nenatan en za visoke  $b_v$  z značilno negativnim biasom. MART modeli so dali dobre rezultate na celotnem spektru preučevanih  $b_v$ , vendar so dajali podcenjene vrednosti pri visokih  $b_v$ .

V raziskavi sta obe novi funkciji delovali bolje ( $R^2$  0,828 in 0,944) kot ostale PTF funkcije. Ti rezultati so bili boljši kot rezultati pri vseh do sedaj objavljenih študijah o PTF funkcijah za ocenjevanje  $b_v$  na podlagi zelo velikega števila vzorcev. Boljši rezultati objavljenih funkcij pri manjšem, bolj homogenem vzorcu pa potrjujejo njihovo nizko mnogostranskost. To pa zopet opozarja, da moramo biti previdni pri uporabi takih PTF funkcij izven geomorfološkega območja, v katerem so bile razvite in umešane (McBratney in sod., 2002). PTF funkcije, ki temeljijo na regresijskih metodah, lahko še vedno dajo dobre rezultate tudi na zelo velikem in raznolikem vzorcu (Heuscher in sod., 2005), če je ta razdeljen (npr.: na podtipa tal), čeesar v tej raziskavi niso naredili.

## 2.6 RAZVOJ LOKALNE PTF FUNKCIJE ZA SLOVENIJO IN NJENA PRIMERJAVA Z OBJAVLJENIMI PTF FUNKCIJAMI

Kobal in sod. (2011) so na podlagi podatkov o tleh 16x16km bioindikacijske mreže Slovenije kalibrirali štiri objavljene PTF funkcije (Jeffrey (1970), Harrison in sod. (1981), Tamminen (1994), Kaur in sod. (2002)) ter razvili lokalno PTF funkcijo za gozdna tla Slovenije. Funkcije so nato med seboj primerjali. Kakovost ocenjevanja  $b_v$  mineralnega dela gozdnih tal so preverili s štirimi kazalniki (povprečna srednja napaka, standardni odklon napovedane napake, mera skupne napake modela (RMSPE) in koeficient determinacije ( $R^2$ )).

Gostoto tal so poskušali pojasniti z devetimi izmerjenimi fizikalnimi in kemijskimi lastnostmi: teksturo tal (glina, melj in pesek),  $C_{org}$ , deležem skupnega dušika ( $N_{tot}$ ), pH vrednostjo tal, kationsko izmenjevalno kapaciteto (KIK) in nasičenostjo z bazami (BS).

Ve kot 73% celotne variabilnosti  $\sigma_b$  je bilo pojasnjene samo s  $C_{org}$ . Dodajanje drugih parametrov kot pojasnjevalnih spremenljivk v multipli regresiji ni statisti no zna ilno izboljšalo napovedi. Presenetljivo je, da tekstura, še posebej delež glin, ni bila statisti no zna ilna spremenljivka v modelih. To je v nasprotju z mnogimi študijami, ki govorijo o povezavi deleža glin z  $\sigma_b$  (Kaur, 2002; Leonavi iute, 2000). S segmentno regresijo so nato še izboljšali oceno  $\sigma_b$ . S tem modelom so pojasnili skoraj 80% celotne variacije  $\sigma_b$ .

Vsi štirje kazalniki so potrdili najve jo napovedovalno mo razvitega modela v primerjavi z objavljenimi modeli.

Pri visokih vrednostih  $\sigma_b$  je bil model manj natan en, kar si razlagajo s tem, da v model niso vklju ili podatka o deležu glin. Delež glin je ponavadi najve ji prav za horizonte z najve jo  $\sigma_b$  (Urban i , in sod., 2005).

## 2.7 IMENA ORGANSKIH PODHORIZONTOV

Ve ina gozdnih tal ima površinski organski horizont, ki ga ozna ujemo z veliko rko O. Vsebuje nad 35% organskih snovi in praviloma leži nad mineralnim delom tal. Nastal je v pretežno aerobnih razmerah (Urban i et.al., 2005).

Razlikujemo tri organske podhorizonte: Ol, Of ter Oh. Ol je organski podhorizont, ki ga sestavlja rastlinski opad (listje, iglice, vejice in drugi rastlinski ostanki), ki se še dobro razlo i (Urban i et.al., 2005).

Podhorizont Of vsebuje delno razkrojene (fermentirane) rastlinske ostanke, katerih poreklo se še razlo i. Drobna organska substanca zavzema 10% do 70% prostornine (Urban i et.al., 2005).

Oh je organski podhorizont iz že dobro razkrojene (humificirane) organske snovi, pri kateri izvirna zgradba in poreklo nista ve razvidna. Drobna organska substanca zavzema ve kot 70% prostornine (Urban i et.al., 2005).

## 2.8 STALNE VZORNE PLOSKVE V SLOVENIJI

Mreža stalnih vzornih ploskev (16 x 16 km) je namenjena spremljanju stanja in sprememb vitalnosti gozdnega drevja. Vitalnost gozdnega drevja se ocenjuje vsako leto, kot osnovni pokazatelj vitalnosti služi osutost krošenj. Poleg letnega spremljanja vitalnosti drevja, naj bi se po metodologiji ICP Forest vsakih 10 let opravila tudi analiza stanja gozdnih tal in vsebnosti hranil v listju oz. iglicah drevja. V Evropi se te aktivnosti izvajajo na približno 6000 ploskvah, v Sloveniji pa na do 45 objektih.

Cilji programa na I. ravni spremljanja stanja gozdov so zasnova periodične inventure zdravstvenega stanja gozdov v državah članicah EU, z zbiranjem reprezentativnih podatkov o obsegu in intenzivnosti poškodovanosti gozdov in spremljanjem razvoja.

V Sloveniji se spremljanje stanja gozdov izvaja na nacionalni mreži, katere osnovni namen je pridobiti pregled nad trenutnim stanjem gozdov ter nad časovnimi in prostorskimi spremembami stanja. V okviru te ravni potekajo vsakoletna snemanja stanja gozdov na 41 ploskvah 16 x 16 km mreže, vsakih 10 let pa na več kot 700 ploskvah 4 x 4 km mreže. Razen snemanja vitalnosti drevja se vsakih 10 let, na ploskvah 16 km mreže, opravi še popis stanja gozdnih tal in popis preskrbljenosti gozdnega drevja s hranili. Našteti popisi so v skladu z evropsko metodologijo. Poleg tega se opravijo še popisi lišajске vegetacije, ki služi kot bioindikator za onesnaženost zraka, saj v večini primerov v bližini ploskev ni postaj za merjenje onesnaženost zraka (Poročilo o spremljanju ..., 2011).

## 2.9 PROJEKT BIOSOIL

Demonstracijski EU projekt BioSoil z moduloma tla in biodiverziteti (2005 - 2006, v okviru programa Forest Focus) je doslej največji skupni monitoring gozdnih tal in biodiverzitet v EU. Namenjen je ponovitvi monitoringa gozdnih tal iz leta 1995/96 in testiranju ter razvoju evropskega spremljanja tal. Zato ga je treba obravnavati kot demonstracijsko študijo in ne kot operacijski sistem. Celosten namen talnega dela projekta je bil preizkusiti uporabnost navodil za izvajanje monitoringa gozdnih tal v okviru naloge BioSoil - modul tla (ICP 2006) ter pridobiti podatke o gozdnih tleh, ki jih potrebujejo EU in njene članice v povezavi z monitoringom tal v celotni Uniji (Urban *et al.*, 2009).

### 3 MATERIALI IN METODE

#### 3.1 IZBOR IN OPIS KONTROLNIH PLOSKEV

##### 3.1.1 Izbor kontrolnih ploskev

Za našo raziskavo smo uporabili podatke podatkovne baze za tla Gozdarskega inštituta Slovenije (TIGIS). Omejili smo se le na podatke, ki so jih pridobili leta 2006 v okviru demonstracijskega EU projekta BioSoil modul tla in sicer na 16x16 km bioindikacijski mreži Slovenije. Omenjena mreža vsebuje 41 vzor nih ploskev. Za to nalogo smo izmed teh ploskev izbrali 15 ploskev, katerih mati no podlago tvorijo apnenci in dolomiti. Lokacije in osnovni podatki izbranih ploskev so prikazani na sliki 1 in v preglednici 1.



Slika 1: Vzor na mesta, na katerih smo pridobili podatke za razvoj PTF funkcij tal za gostoto tal (Prirejeno po (Urban i , 1997) in (Geopedia, 2011))

Preglednica 1: Delovne oznake koordinat ploskev (D.O.K.), krajevna imena, mati ne podlage, nadmorske višine, nakloni, ekspozicije, skalovitost in kamnitost obravnavanih vzor nih ploskev (Urban i , 2009: 28)

D.O.K.	Lokacija	Mati na podlaga	Nadmorska		Ekspozicija	Skalovitost;
			višina (m)	Naklon (°)		kamnitost (%)
C3	Martuljek	Apnenec	1133	27	N	5;20
C5	Kneža	Apnenec, dolomit	720	20	W	30,3
C8	Križ	Apnenec	315	0-5	N	2-5;0-2
D4	Zajama	Dolomit	1025	27	N	0-2;2-5
E5	Lubnik	Dolomit	532	42	NE	2-5;20-30
E7	Ravnik	Apnenec	519	15	S	05.10.10
F7	Rakitna	Dolomit	799	18	S	0-2;5-15
F8	Križna jama	Apnenec	648	15	WNW	35-70;5-10
F9	Snežnik	Apnenec	1208	20	S	20;30
G4	Podvolovljek	Apnenec	1227	40	S	20;20
G5	Rafol e	Apnenec, dolomit	453	17	S	5-15;2-5
H5	Trojane	Dolomit	690	35	N	0,5
H8	Hinje	Apnenec	395	10	SW	5-15;20
I6	Gradiš e	Dolomit	686	20	SE	2-5;0
I9	Sredgora	Dolomit	839	18	NE	0-2;2-5

### 3.3.2 Potencialne rastlinske združbe na vzor nih ploskvah

Potencialne rastlinske združbe na vzor nih ploskvah, uporabljenih v tej nalogi, so razvidne v preglednici 2. Podatki so pridobljeni leta 2006 in 2007 v okviru projekta BioSoil (Urban i , 2009).



Preglednica 2: Delovne oznake koordinat ploskev (D.O.K.), krajevna imena in potencialne rastlinske združbe na kontrolnih ploskvah (Urban i , 2009: 38)

D.O.K.	Lokacija	Potencialna rastlinska združba
C3	Martuljek	Alpski bukov gozd <i>Anemone trifoliae-Fagetum</i> TREG.62 var.geogr. <i>Helleborus niger subsp.niger</i> MAR.,POLD.& ZUP.89
C5	Kneža	Predalpski toploljubni gozd bukve in gabrovca <i>Ostryo-Fagetum</i> M.WRAB.ex TRIN.72 var.geogr. <i>Anemone trifolia</i> (MAR.,PUNC.& ZUP.80)POLD.82
C8	Križ	Submediteranski gradnov gozd z jesensko vilovino <i>Sesleria autumnalis-Quercetum petraeae</i> POLD.(64)82
D4	Zajama	Alpski bukov gozd <i>Anemone trifoliae-Fagetum</i> TREG.62 var.geogr. <i>Helleborus niger subsp.niger</i> MAR.,POLD.& ZUP.89
E5	Lubnik	Bukov gozd s kresni evjem; na dolomitnih rendzinah, v hladnih legah <i>Arunco-Fagetum</i> KOŠ. 62
E7	Ravnik	Dinarski gorski gozd jelke in bukve <i>Omphalodo-Fagetum</i> (TREG.57 corr. PUNC.80) MAR. in sod. 93 var.geogr. <i>Calamintha grandiflora</i> SURINA (2001)2002
F7	Rakitna	Toploljubni gozd bukve in gabrovca <i>Ostryo-Fagetum</i> M.WRAB.ex TRIN.72
F8	Križna jama	Preddinarski gorski bukov gozd z veliko mrtvo koprivo <i>Lamio orvalae-Fagetum</i> (HT.38)BORH.63 var.geogr. <i>Dentaria polyphyllus</i> KOŠ.62
F9	Snežnik	Dinarski gorski gozd jelke in bukve <i>Omphalodo-Fagetum</i> (TREG.57 corr. PUNC.80) MAR. in sod. 93 var.geogr. <i>Calamintha grandiflora</i> SURINA (2001)2002
G4	Podvolovljek	Alpski bukov gozd <i>Anemone trifoliae-Fagetum</i> TREG.62 var.geogr. <i>Helleborus niger subsp.niger</i> MAR.,POLD.& ZUP.89
G5	Rafol e	Predalpski podgorski bukov gozd s tevjem <i>Hacquetio-Fagetum</i> KOŠ.62 var.geogr. <i>Anemone trifolia</i> KOŠ.79
H5	Trojane	Bukov gozd s kresni evjem; na dolomitnih rendzinah, v hladnih legah <i>Arunco-Fagetum</i> KOŠ. 62
H8	Hinje	Preddinarski gozd bukve in gradna z bršljanom <i>Hedero-Fagetum</i> KOŠ. (62, 79) 94 , (sin. <i>Quercus petraeae-Fagetum</i> KOŠ. 62 ) var.geogr. <i>Epimedium alpinum</i> KOŠ 79
I6	Gradiš e	Preddinarski gorski bukov gozd z veliko mrtvo koprivo <i>Lamio orvalae-Fagetum</i> (HT.38)BORH.63 var.geogr. <i>Dentaria polyphyllus</i> KOŠ.62
I9	Sredgora	Dinarski gorski gozd jelke in bukve <i>Omphalodo-Fagetum</i> (TREG.57 corr. PUNC.80) MAR. in sod. 93 var.geogr. <i>Calamintha grandiflora</i> SURINA (2001)2002

### 3.3.3 Klasifikacija tal

V preglednici 3 so razvidni podatki slovenske klasifikacije tal preu evanih vzor nih ploskev v okviru demonstracijskega projekta BioSoil, modul tla (Urban i , 2009).

Preglednica 3: Slovenska razvrstitev tal, mati ne podlage in humusne oblike reprezentan nih talnih profilov (Urban i , 2009: 34)

D.O.K.	Lokacija	Slovenska razvrstitev tal, mati ne podlage in humusne oblike reprezentan nih talnih profilov
C3	Martuljek	Rendzina, na apnencu in dolomitu, prhninasta, ponekod s surovim humusom, karbonatna, plitva do globoka
C5	Kneža	Rendzina, na apnencu in dolomitu, sprsteninasta, karbonatna, sr. gl. do globoka, zelo skeletna
C8	Križ	Rde e rjava pokarbonatna tla (jerovica – “ilovka”), na apnencu, tipi na, plitva do globoka, ilovnata, prhninasta
D4	Zajama	Rendzina, na apnencu in dolomitu, prhninasta, karbonatna, srednje gl. do globoka
E5	Lubnik	Rendzina, na dolomitu, prhninasta, rjava in karbonatna, globoka, koluvialna
E7	Ravnik	Rjava pokarbonatna tla, na apnencu, tipi na, srednje gl. do globoka, ilovnata, prhninasta
F7	Rakitna	Rendzina, na dolomitu, prhninasta, karbonatna, ponekod rjava, globoka
F8	Križna jama	Rjava pokarbonatna tla, na apnencu, tipi na, srednje globoka, ilovnata, sprsteninasta
F9	Snežnik	Rendzina, na apnencu, s surovim humusom, tipi na, globoka
G4	Podvolovljek	Rendzina, na apnenem gruš u, prhninasta, z debelim O horizontom, brez mineralnega dela tal (alpska rnica)
G5	Rafol e	Rjava pokarbonatna tla, na dolomitu, tipi na, plitva do srednje globoka, glinasta, prhninasto sprsteninasta
H5	Trojane	Rendzina, na dolomitu, prhninasta, rjava, globoka
H8	Hinje	Izprana pokarbonatna tla, na apnencu, evtri na, srednje globoka, glinasta, sprsteninasta
I6	Gradiš e	Rjava pokarbonatna tla, na dolomitu, tipi na, srednje globoka, ilovnata do glinasta, sprsteninasta
I9	Sredgora	Rjava pokarbonatna tla, na dolomitu, tipi na, srednje globoka, ilovnata do glinasta, sprsteninasta

### 3.4 STRATEGIJA JEMANJA VZORCEV TAL

V letu 2006 (le na eni lokaciji v letu 2005) so bili na ploskvah 16 x 16 km mreže na izbranih lokacijah izkopani talni profili za opis horizontov in za odvzem talnih vzorcev po horizontih tal z namenom dolo itve talnih lastnosti, tako kemijskih kot fizikalnih. Poleg vzor enja tal po horizontih so bili za pridobitev kvantitativnih podatkov vzor eni tudi vzorci tal po vnaprej dolo enih globinah. Lokacije talnih profilov in opis morfoloških lastnosti horizontov in rastiš so opisane po FAO metodologiji (FAO 2006), celotna metodologija pa je bila usklajena na ravni EU, delo so koordinirali sodelavci Forest Soil Coordinating Centre (FSCC) v Belgiji in JRC iz Ispre v Italiji. Vsa navodila in postopki so dostopni na spletnih straneh FSCC <http://icp-forests.net/page/forest-soil-coordinating> in JRC <http://forest.jrc.ec.europa.eu/contracts/biosoil>.

Vzor enje je potekalo lo eno po horizontih. V vsakem talnem profilu so bili vzeti vzorci mineralnega dela tal lo eno za merjenje  $\rho_b$  in lo eno za kemi ne in fizikalne analize tal. Vzorci za merjenje  $\rho_b$  (ISO 11272, 1993) so bili vzeti v petih ponovitvah na horizont z uporabo kovinskih cilindrov prostornine 5 cm<sup>2</sup>.

Vzorci organskega dela tal so bili izkopani s pomo jo 25 x 25 cm okvirjev nameš enih v neposredni bližini ela izkopenega profila. Najprej je bila s površine, ki jo je zaobjel okvir odstranjena živa vegetacija nato pa so bili iz okvirja izkopani posamezni organski podhorizonti. Prostornina vzorca je bila ocenjena s pomo jo štirih meritev globine na sredini robov okvirja. Na vsaki vzor ni ploskvi so bile opravljene tri ponovitve takšnega vzor enja.

Vsi vzorci so bili skrbno ozna eni (datum vzor enja, št. vzor ne ploskve, ime horizonta ter zaporedno število ponovitve vzor enja), in preneseni v laboratorij.

### 3.5 LABORATORIJSKO DELO

Vse kemijske in fizikalne analize so bile izvedene v Laboratoriju za Gozdno Ekologijo na Gozdarskem inštitutu Slovenije.

#### 3.5.1 Priprava vzorcev za laboratorijsko delo

Vsem vzorcem se v laboratoriju najprej izmeri trenutna vlažnost. Nato se jih posuši do zra no suhe vlage in kasneje še na 40 °C in shrani za nadaljnje analize.

Vzorci za kemi no analizo se zdrobijo in presejejo skozi 2 mm sito. Maso tal, korenin in skeleta, ki ostane na situ, se dolo i posebej. Za C/N analizo se iz teh vzorcev vzame majhne podvzorce in se jih zmelje do take mere, da se lahko cel podvzorec preseje skozi 250 µm sito.

#### 3.5.2 Merjenje b

Za analizo gostote mineralnega dela tal je bilo nabranih 90 vzorcev za 30 mineralnih horizontov na 15ih lokacijah. Po meritvi trenutne vlage, se vzorce suši 48 ur na 105 °C. Po sušenju se s sejanjem skozi 2 mm sito iz vzorca lo i korenine in kamenje, se jih stehta in jim dolo i prostornino. Prostornino kamenja in korenin se dolo i tako, da se jih vstavi v vodo in izmeri koli ino izpodrinjene vode. To prostornino in težo se odšteje od celotnega vzorca in iz dobljenega rezultata dobi b horizonta. Vsakemu vzorcu se glede na koli ino odvzetega kamenja dolo i še stopnjo skeletnosti po 10% razredih, 1. stopnja pomeni 10% skeletnost, 2. stopnja 20% itd.

Organskim podhorizontom se b dolo i na enak na in, le da se vzorca ne melje. Nabranih je bilo 114 vzorcev za 38 organskih podhorizontov na 15ih lokacijah.

#### 3.5.3 Merjenje pH vrednosti

Meritev pH se je izvedla z avtomatskim pH metrom Methrom Titrino. Meritev se izvaja v skladu s standardom ISO 10390 (ISO 10390, 1994).

### **3.5.4 Merjenje kationske izmenjalne kapacitete**

Vzorec se 12 ur macerira v amonijevem kloridu (  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ), nato 4 ure filtrira.  $\text{H}^+$  ione se dolo i z merjenjem pH vrednosti pred in po filtriranju. Izmenljive katione ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  ) se dolo i z induktivno združeno plasmatsko-atomsko emisijsko spektrometrijo (ICP-AES).

### **3.5.5 Merjenje koncentracije ogljika (C)**

Meritev se je izvedla z aparatom Leco CNS-2000 s katerim se meri vsebnosti C s suhim sežigom. Meritev se izvaja v skladu s standardom ISO 10694 (ISO 10694, 1995).

### **3.5.6 Merjenje koncentracije dušika (N)**

Meritev se je izvedla z aparatom Leco CNS-2000 s katerim se meri vsebnosti dušika s suhim sežigom. Meritev se izvaja v skladu s standardom ISO 13878 (ISO 13878, 1998).

### **3.5.7 Merjenje vsebnosti karbonatov**

Meritev je bila opravljena s Scheiblerjevim kalcimetrom Eijkelkamp. Meritev se izvaja v skladu s standardom ISO 10693 (ISO 10693, 1995).

### **3.5.8 Meritve vlage tal**

Vsebnost vode se dolo ili v skladu s standardom ISO 11465 (ISO 11465, 1993).

### **3.5.9 Dolo anje teksture tal**

Tekstura tal je bila dolo ena s sedimentacijsko metodo in pipeto po Köhnu. Meritev se izvaja v skladu s standardom ISO 11277 (ISO 11277, 1998).

### 3.6 STATISTI NA OBDELAVA PODATKOV

#### 3.6.1 Primerjava gostot organskih podhorizontov glede na vrsto

Za preizkus prve hipoteze smo iz petnajstih izkopanih profilov zbrali podatke za 38 organskih podhorizontov. Zanimali so nas podatki o vsebnosti organskega ogljika ( $C_{org}$ ) (v g/kg), ocenjeni volumenski gostoti organskega podhorizonta ( $\rho_{org}$ ) ter vrsti podhorizonta. Preverili smo, koliko odstotkov variabilnosti  $\rho_{org}$  pojasnimo, če imamo na voljo le podatek o vrsti podhorizonta. Zanimalo nas je, če lahko s tem podatkom bolje pojasnimo variabilnost  $\rho_{org}$  kot s podatkom o  $C_{org}$ . Za neodvisno spremenljivko smo izbrali  $C_{org}$ , ker menimo, da v mineralnem delu tal na trdih karbonatih vsebnost ogljika pojasnjuje največji del variabilnosti volumenske gostote, kar pa je druga hipoteza tega diplomskega dela. Vpliv vrste organskega podhorizonta smo dokazovali z univariantnim linearnim modelom. Vpliv vsebnosti  $C_{org}$  na  $\rho_{org}$  pa z enostavnim linearnim regresijskim modelom. Vse izračune smo izvedli s pomočjo programa SPSS (SPSS Statistics 17.0).

#### 3.6.2 Razvoj lokalne PTF funkcije za ocenjevanje $\rho_b$ mineralnega dela tal

V petnajstih izkopanih profilih je bilo zbranih podatkov o 42 mineralnih horizontih, od tega je bilo zaradi pomanjkljivosti podatkov za našo analizo primernih le 24 horizontov.

S pomočjo programa SPSS (SPSS Statistics 17.0) smo razvijali regresivne modele za oceno  $\rho_b$  mineralnega dela tal z drugimi izmerjenimi fizikalnimi in kemijskimi parametri tal. Od fizikalnih lastnosti smo upoštevali  $\rho_b$  kot odvisno spremenljivko ter teksturo in globino horizonta kot neodvisni spremenljivki. Od kemijskih pa  $C_{org}$ , delež skupnega dušika ( $N_{tot}$ ), pH vrednost tal, kationsko izmenjalno kapaciteto tal (KIK) in nasičenost z bazami (BS) kot neodvisne spremenljivke. Podatki so bili najprej preverjeni, da ne bi vsebovali nesmiselnih vrednosti. Uporabljene omejitve so prikazane v preglednici 4.

Preglednica 4: Omejitve vhodnih parametrov multiple regresije

Parametri	Omejitve
Gostota tal	$0,25\text{g/cm}^3 < \rho < 2,25\text{g/cm}^3$
Delež organskega ogljika ( $C_{\text{org}}$ )	$C_{\text{org}} \leq 100\%$
Delež skupnega dušika ( $N_{\text{tot}}$ )	$N_{\text{tot}} \leq 100\%$
pH vrednost tal	$3 < \text{pH} < 11$
Nasi enost z bazami (BS)	$BS \leq 100\%$
Posamezen delež glin, melja ali peska	$\leq 100\%$
Seštevek deležev glin, melja in peska	94% (glina, melj, pesek) 106%*
Globina	0cm

\*Dopustni interval pri seštevku deležev glin, melja in peska nam dopuša 2% napake pri meritvi posameznih deležev.

Z enostavno linearno regresijo smo primerjali vsako neodvisno spremenljivko posebej z izmerjeno volumensko gostoto tal. Tako je bilo ugotovljeno, koliko variabilnosti  $\rho$  pojasnjuje posamično neodvisna spremenljivka. Pojasnjevalne parametre pa smo poizkušali še tako transformirati, da bi bila gostota  $\rho$  bolj linearno odvisna od njihovih transformiranih vrednosti.

Preden smo razvili model, smo v modulu za multiplo regresijo v programu SPSS vključili opcijo diagnostike kolinearnosti neodvisnih spremenljivk.

S podatki, ki so nam ostali, smo nato po kora ni metodi (kombinacija kora ne-naprej in kora ne-nazaj metode) naredili model multiple linearne regresije. Kot statistično značilne spremenljivke, smo v model vključili tiste, ki so imele statistično značilnost manjšo od 0,05 ( $p < 0,05$ ), izločili pa tiste s statistično značilnostjo večjo od 0,10 ( $p > 0,10$ ).

Po razvoju modela je bilo preverjeno, ali se ostanki normalno porazdeljujejo; poiskali smo morebitne osamelce s pomočjo studentiziranih ostankov in Cookove razdalje, zopet preverili kolinearnost, preverili, ali se varianca ostankov homogeno porazdeljuje po stopnjah napovedanih vrednosti, preverili nelinearnost neodvisnih spremenljivk preko grafov parcialne korelacije ter na koncu še preverili umešanost modela preko grafov ostankov z napovedovanimi vrednostmi.

Da bi preverili vpliv  $C_{org}$  v dobljeni PTF funkciji, smo preverili standardizirane koeficiente regresije. Vse izraune smo izvedli s pomočjo programa SPSS (SPSS Statistics 17.0).

### 3.6.3 Primerjava lesne zaloge in zaloge ogljika v tleh ( $C_{zal}$ ).

$C_{zal}$  v tleh za določeno površino, v našem primeru na hektar (t/ha), smo izračunali po vzorcih ploskvah, ločeno za organski in mineralni del tal.

Za izračun  $C_{zal}$  v organskem delu tal smo uporabili sledečo enačbo (enačba 1)

$$C_{zal} = \sum_{i=1}^n (Mhor_i \cdot Corg_i / 100) \quad \dots(1)$$

Kjer je  $Mhor_i$  teža organskega podhorizonta (v t/ha) v  $i$ -tem horizontu,  $Corg_i$  pa je količina organskega ogljika (v g/kg) v  $i$ -tem podhorizontu.

Za izračun  $C_{zal}$  mineralnega dela tal pa smo uporabili enačbo 2. Zaradi pomanjkljivosti podatkov o izmerjeni volumenski gostoti tal, smo to izračunali po modelu, ki smo ga dobili pri preizkušanju druge hipoteze (enačba 3).

$$C_{zal} = \sum_{i=1}^n (Corg_i \cdot d_i \cdot \rho_i \cdot skel_i \cdot 100) \quad \dots(2)$$

Kjer je  $Corg_i$  koncentracija organskega ogljika (v %) v  $i$ -tem mineralnem horizontu,  $d_i$  je debelina  $i$ -tega horizonta (v m),  $\rho_i$  je izračunana volumenska gostota tal  $i$ -tega horizonta (v g/cm<sup>3</sup>),  $skel_i$  je korekcijski faktor za vsebnost skeleta, ki je recipročna vrednost deleža skeleta (v %) v  $i$ -tem horizontu in  $n$  je število horizontov za določen talni profil.

$$\rho_b = 1,6 - 0,193 \cdot \sqrt{Corg} - 0,004 \cdot KIK \quad \dots(3)$$

Kjer je  $C_{org}$  koncentracija organskega ogljika (v %) v horizontu,  $KIK$  pa kationska izmenjalna kapaciteta (v cmol(+)/kg) v horizontu.



$C_{zal}$  organskega in  $C_{zal}$  mineralnega dela tal posamezne vzor ne ploskve smo sešteli skupaj in ga primerjali s pripadajo imi podatki o lesni zalogi, ki smo jih iz dobili iz podatkovne baze Gozdarskega inštituta Slovenije (Preglednica 5).

Preglednica 5: Lesna zaloga [ $m^3/ha$ ] po lokacijah

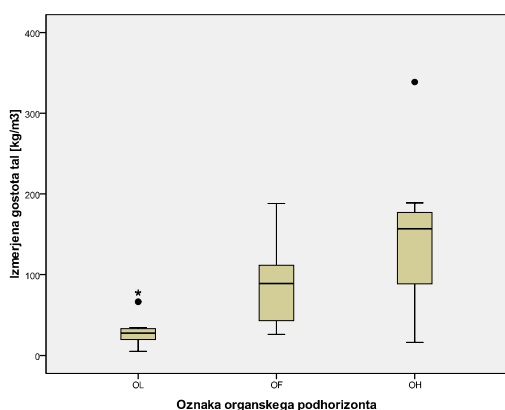
Lokacija	Lesna zaloga [ $m^3/ha$ ]
Martuljek	417,81
Kneža	371,15
Križ	317,92
Zajama	355,21
Lubnik	334,70
Ravnik	ni podatka
Rakitna	435,79
Križna jama	99,05
Snežnik	544,32
Podvolovljek	383,80
Rafol e	ni podatka
Trojane	231,03
Hinje	371,57
Gradiš e	281,79
Sredgora	168,43

S pomojo programa SPSS (SPSS Statistics 17.0) smo izpeljali enostavno linearno regresijo ter preverili koeficiente korelacije.

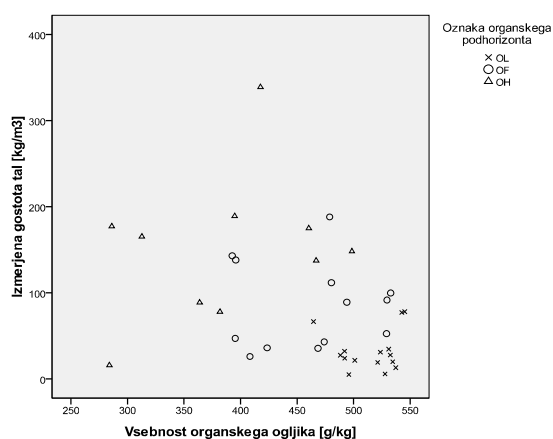
## 4 REZULTATI

### 4.1 OCENA VOLUMENSKA GOSTOTE TAL ORGANSKIH PODHORIZONTOV NA OSNOVI VRSTE PODHORIZONTA

Primerjava vrste organskega podhorizonta ( $Ime_{org}$ ) z  $z_{org}$  je pokazala srednje mo no korelacijo ( $R^2_{adj} = 0,420$ ,  $p < 0,001$ ), medtem ko je primerjava  $C_{org}$  z  $z_{org}$  pokazala zelo šibko korelacijo ( $R^2_{adj} = 0,118$ ,  $p = 0,020$ ). Odvisnosti  $z_{org}$  od obeh preizkušanih neodvisnih spremenljivk, je razvidna iz slik 2 in 3. Preglednica z izhodišnimi podatki je v prilogi A



Slika 2: Okvir z roaji za  $z_{org}$  glede na vrsto podhorizonta (Okvir dolo ata prvi in tretji kvartil, njegovo preko pa mediana. Roaja sta pogojni minimum in pogojni maksimum. Osamelci so prikazani s krožcem, ekstremni osamelci pa z zvezdico)



Slika 3: To kasti graf  $z_{org}$  glede na  $C_{org}$  (to ke so razli no ozna ene glede na vrsto podhorizonta)

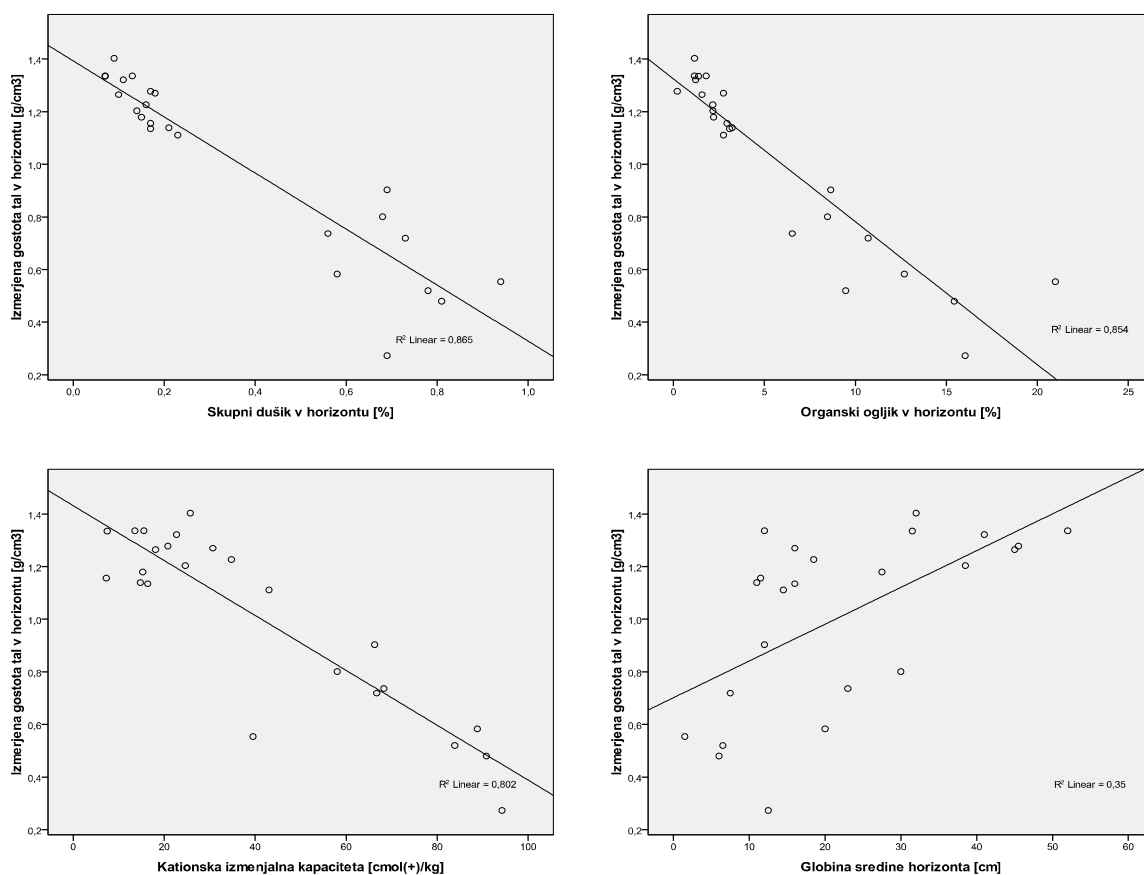
### 4.4 RAZVOJ PTF FUNKCIJE IN VPLIV $C_{org}$ NA OCENO VOLUMENSKA GOSTOTE TAL ZA MINERALNE HORIZONTE

Na 15 vzor nih ploskvah, ki smo jih izbrali za našo raziskavo imamo 4 različne tipe tal. Na osmih ploskvah imamo rendzine (na lokaciji Podvolovljek brez mineralnega dela), na petih rjava pokarbonatna tla, na eni jerovico in na eni izprana pokarbonatna tla.

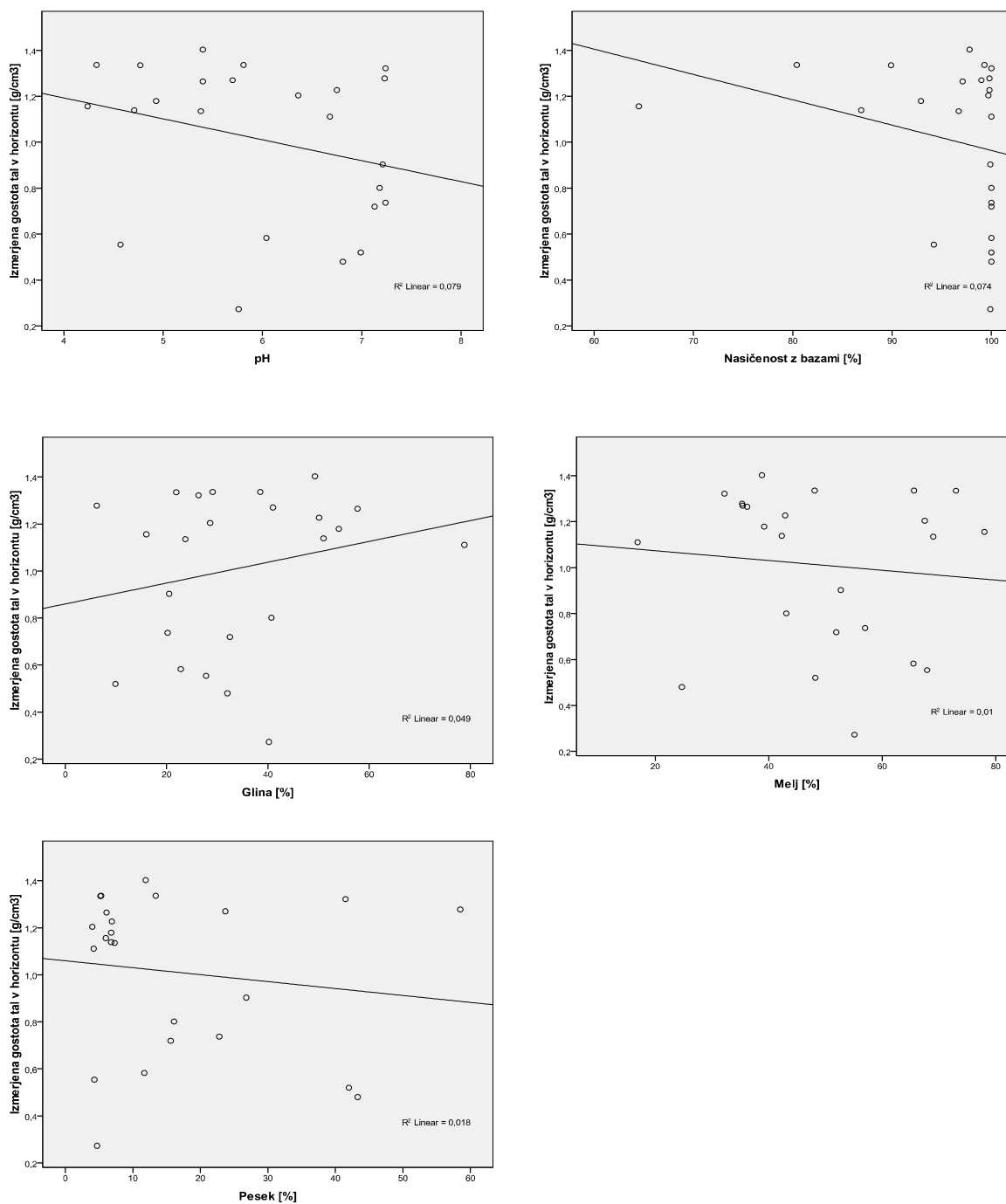
V mineralnem delu tal preu evanih vzor nih ploskev segajo pH vrednosti od 3,9 do 7,5, vrednosti KIK segajo od 7,27 cmol(+)/kg do 118,4 cmol(+)/kg, vrednosti BS od 64% do 100%, vrednosti  $C_{org}$  od 0,21% do 20,99%, vrednosti  $N_{tot}$  od 0,07% do 1,12%, izmerjena gostota tal pa od 0,273 g/cm<sup>3</sup> do 1,403 g/cm<sup>3</sup>.

Preglednice s podatki preu evanih fizikalnih in kemi nih lastnosti mineralnega dela tal so v prilogah B in C.

Primerjava vsake neodvisne spremenljivke posebej z odvisno je pokazala najve jo korelacijo  $\rho_b$  z  $N_{tot}$  ( $R^2 = 0,865$ ,  $p < 0,001$ ), nato z  $C_{org}$  ( $R^2 = 0,854$ ,  $p < 0,001$ ) ter z KIK ( $R^2 = 0,802$ ,  $p < 0,001$ ). Znatno manjšo korelacijo je imela z globino sredine merjenega horizonta ( $R^2 = 0,350$ ,  $p = 0,002$ ). Korelacija ostalih izmerjenih lastnosti tal ( pH, BS, Glina, melj in pesek) z  $\rho_b$  ni bila statisti no zna ilna ( $p > 0,05$ ) (Slika 4 in 5).

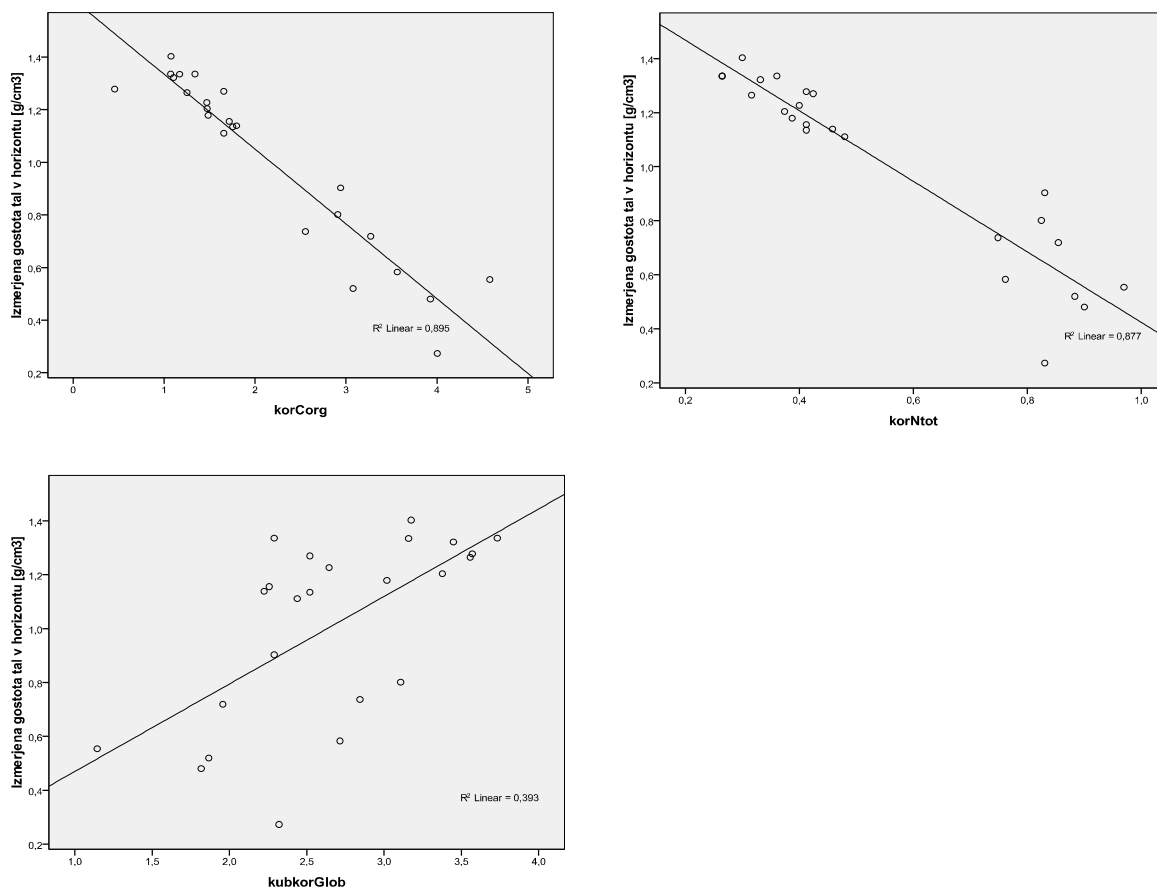


Slika 4: Odvisnost volumenske gostote tal ( $\rho_b$ ) s koncentracijo skupnega dušika ( $N_{tot}$ ), koncentracijo organskega ogljika ( $C_{org}$ ), kationsko izmenjalno kapaciteto (KIK) ter globino sredine vzor enega horizonta za 24 talnih vzorcev.



Slika 5: Odvisnost volumenske gostote tal ( $\rho_b$ ) s pH vrednostjo tal, nasičenostjo z bazami (BS), deležem glin, deležem melja ter deležem peska za 24 talnih vzorcev.

Da bi še pove ali linearno odvisnost volumske gostote tal, smo spremenljivke  $C_{org}$ ,  $N_{tot}$  in globino sredine horizonta transformirali tako, da smo  $C_{org}$  in  $N_{tot}$  kvadratno korenili in dobili koren  $C_{org}$ , ki smo ga poimenovali korCorg, ter koren  $N_{tot}$ , ki smo ga poimenovali korNtot. Globino sredine horizonta smo kubi no korenili in transformirano spremenljivko poimenovali kubkorGlob. Po izvedeni transformaciji je  $z_b$  najboljše korelirala spremenljivka korCorg ( $R^2 = 0,895$ ,  $p < 0,001$ ), nato korNtot ( $R^2 = 0,877$ ,  $p < 0,001$ ), KIK in nazadnje kubkorGlob ( $R^2 = 0,393$ ,  $p = 0,001$ ) (Slika 6).



Slika 6: Odvisnost volumske gostote tal ( $z_b$ ) s transformiranimi spremenljivkami korCorg, korNtot in kubkorGlob za 24 talnih vzorcev

Da bi videli, kako korelira korCorg z  $V_b$ , smo naredili model z enostavno linearno regresijo in ugotovili, da nam korCorg že sam pojasni 89% variabilnosti  $V_b$  (model 1, Preglednica 6). Po izvedbi multiple linearne regresije po kora ni metodi pa sta se nam v model uvrstili le dve neodvisni spremenljivki in sicer korCorg in KIK. Skupaj sta pojasnili skoraj 94% variabilnosti  $V_b$  (model 2, Preglednica 6).

Preglednica 6: Regresijska odvisnost izbranih neodvisnih spremenljivk z volumensko gostoto tal za 24 vzorcev ( $R^2_{adj}$  je prilagojeni determinacijski koeficient)

Model	Konstanta	korCorg	KIK	SE	$R^2_{adj}$
1	1,619	-0,284		0,111765	0,890
2	1,6	-0,193	-0,004	0,084324	0,938

KorNtot se ni uvrstila v model zaradi prevelike kolinearne zveze z korCorg, ostale spremenljivke pa niso zna ilno vplivale na izboljšanje modela, oziroma so postale nezna ilne pri dodajanju drugih neodvisnih spremenljivk in smo jih zato izlo ili.

Iz standardiziranih regresijskih koeficientov (Beta) vidimo, da na volumensko gostoto najbolj vpliva korCorg. ( Preglednica 7 )

Preglednica 7: Koeficienti in standardizirani regresijski koeficienti v dobljenih modelih.

Neodvisna spremenljivka	Koeficient	Beta
korCorg	-0,193	-0,642
KIK	-0,004	-0,374

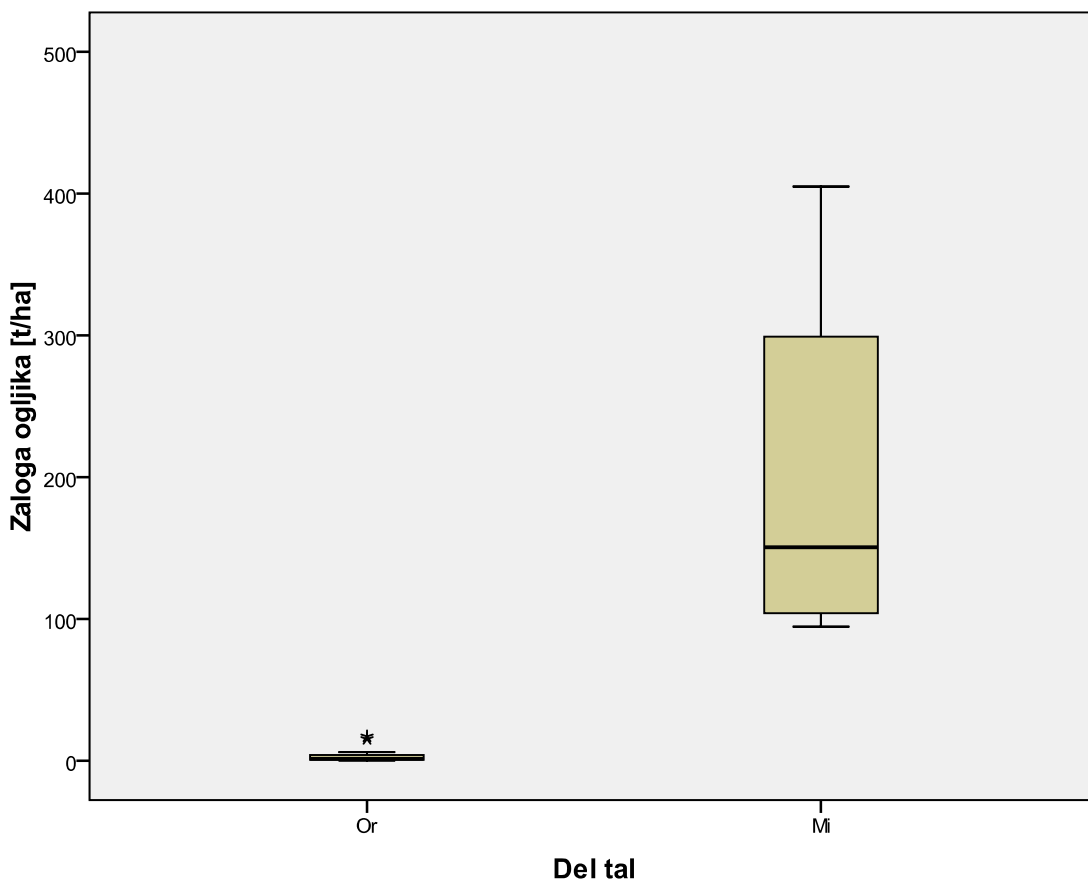
#### 4.5 ZVEZA MED ZALOGO OGLJIKA V TLEH IN LESNO ZALOGO

Izra unali smo, da je skupna zaloga ogljika v tleh na preiskovanih ploskvah od 15,32 t/ha do 410,36 t/ha. Zaloge talnega ogljika po posameznih lokacijah lo eno za organske in mineralne dele tal so prikazane v preglednici 8.

Opazili smo, da se ve ina  $C_{zal}$  nahaja v mineralnem delu tal (Slika 7). Vrednosti  $C_{zal}$  v organskem delu tal so med 0,2 t/ha do skoraj 18 t/ha (v povpre ju 3,7 t/ha). V mineralnem delu tal pa med 98 t/ha do 405 t/ha (v povpre ju 192 t/ha).

Preglednica 8: Izra unane zaloge ogljika v tleh po lokacijah, lo eno za organski del tal ( $C_{zalOrg}$ ), mineralni del tal ( $C_{zalMine}$ ) in skupaj ( $C_{zal}$  skupaj)

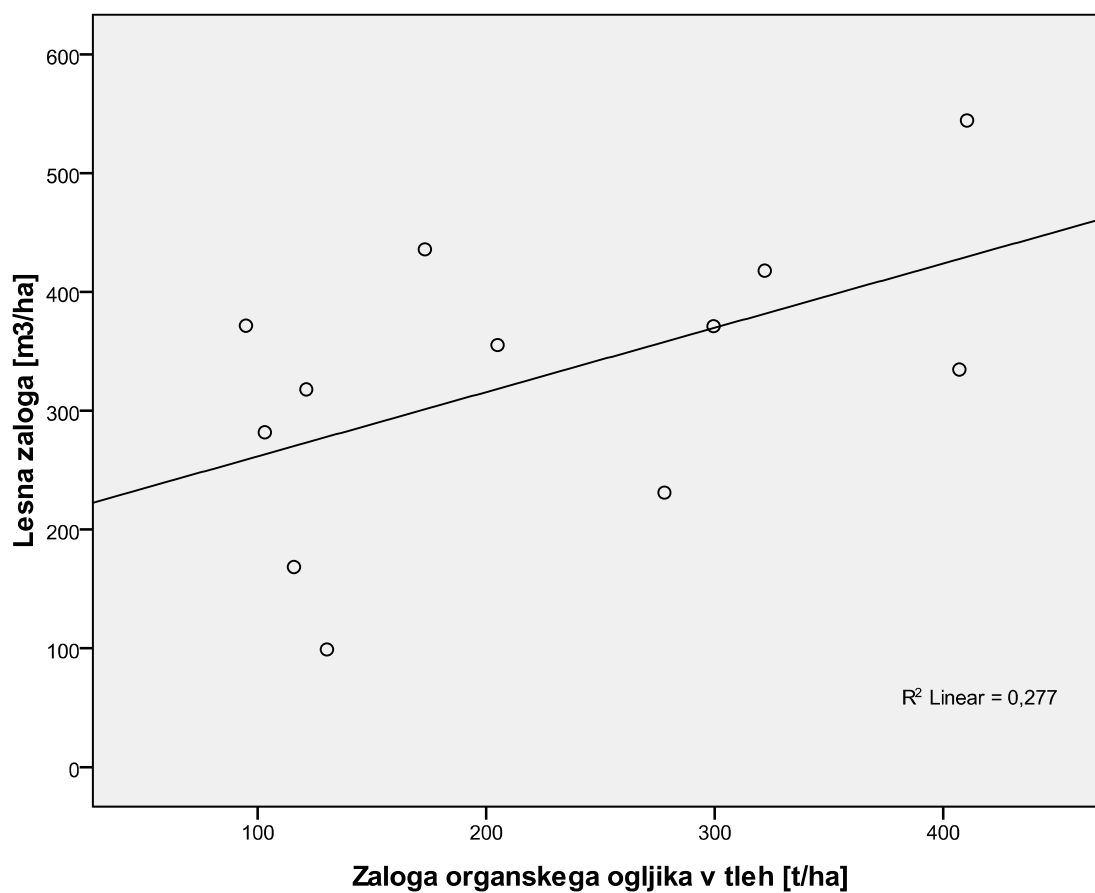
Lokacija	$C_{zal}$ Org [t/ha]	$C_{zal}$ Mine [t/ha]	$C_{zal}$ skupaj [t/ha]
Martuljek	17,15	304,69	321,83
Kneža	0,25	299,22	299,47
Križ	1,94	119,31	121,25
Zajama	2,86	202,11	204,97
Lubnik	6,00	401,03	407,03
Ravnik	0,69	98,89	99,58
Rakitna	1,68	171,46	173,15
Križna jama	0,76	129,52	130,27
Snežnik	5,40	404,95	410,36
Podvolovljek	15,32	/	15,32
Rafol e	0,87	104,01	104,87
Trojane	0,36	277,61	277,96
Hinje	0,37	94,46	94,83
Gradiš e	1,34	101,72	103,06
Sredgora	0,59	115,26	115,85



Slika 7: Zaloga ogljika ( $C_{zal}$ ) glede na organski (Or) in mineralni (Mi) del tal (Okvir določa prvi in tretji kvartil, njegovo preko pa mediana. Ročaja sta pogojni minimum in pogojni maksimum. Ekstremni osamelci so prikazani z zvezdico)

Enostavna linearna regresija je pokazala zelo slabo, sicer pozitivno, vendar statistično neznačilno zvezo med  $C_{zal}$  in lesno zalogo ( $R^2 = 0,277$ ,  $p = 0,079$ ). Tudi pri računanju koeficientov korelacije nismo mogli potrditi, da obstaja pozitivna povezava med  $C_{zal}$  in lesno zalogo. Zveza je razvidna iz slike 8.





Slika 8: Graf odvisnosti lesne zaloge glede na zalogo organskega ogljika v tleh ( $C_{zal}$ )

## 5 RAZPRAVA IN SKLEPI

### 5.1 RAZPRAVA

#### 5.1.1 Določitev gostote tal organskega podhorizonta s podatkom o vrsti podhorizonta ( $\text{Ime}_{\text{org}}$ )

Vrsta organskega podhorizonta kaže na povezavo z njegovo volumensko gostoto. Če želimo na boljše korelacijsko zvezo, kot je za pojasnjevalno spremenljivko uporabimo  $C_{\text{org}}$ , ki je v tem primeru glede koeficienta determinacije ( $R^2$ ) slabši napovedovalec gostote organskega dela tal ( $R^2_{\text{adj}} = 0,118$ ,  $p = 0,020$ ). Vrsta organskega podhorizonta pojasnjuje manj kot 50 odstotkov variabilnosti volumenske gostote organskega dela tal ( $R^2_{\text{adj}} = 0,420$ ,  $p < 0,001$ ).

Iz grafa (slika 2) so razvidne razlike v gostoti organskega dela tal glede na vrsto podhorizonta. Podhorizonti, sestavljeni iz bolj razgrajenega organskega materiala, imajo večjo gostoto, hkrati pa so tudi vrednosti gostote bolj razpršene, kar bi lahko pomenilo da, zaradi razkrojenosti organskega materiala, narašča vpliv drugih parametrov na gostoto tal.

Oh podhorizont je večinoma sestavljen iz nerazkrojenih listov in iglic, zato njegovo gostoto verjetno določa predvsem razmerje med količino iglic in listja, drugi parametri pa imajo manjši vpliv.

Drobna organska snov podhorizonta Of zavzema od 10% do 70% (Urban *et al.*, 2005). Gostota Of podhorizonta, ki vsebuje 10% drobne organske substance, in Of podhorizonta, ki vsebuje 70% organske substance, se zagotovo precej razlikujeta.

Pri Oh podhorizontu velja podobno, ker v njem po definiciji drobna organska snov zajema več kot 70% (Urban *et al.*, 2005). Poleg tega pa na njegovo gostoto še bolj kot pri ostalih dveh vplivajo snovi iz opada, glive in talna favna.

Če poznamo organske podhorizonte na trdnih karbonatnih matirnih kamninah, lahko okvirno določimo njihovo gostoto.

### 5.1.2 PTF funkcija in vpliv koncentracije $C_{org}$ na določanje volumske gostote tal

Smiselnost razvoja PTF funkcij za posamezne skupine tal, v našem primeru na trdih karbonatnih podlagah, podpirajo ugotovitve, ki so jih v svojih raziskavah dobili Heuscher in sod. (2005), ko so napovedovalno vrednost modela značilno izboljšali s tem, da so vzorce razdelili glede na skupino tal. Mi smo vzorce izbrali glede na matično podlago, ki je pomemben snovni tlotvorni dejavnik, ki vnaša v sistem tal mineralno komponento (Prus, 2004). Zelo vpliva na lastnosti tal, še posebej pomembna je za teksturo tal (Čuden, 2009). Da je smiselno izbirati vzorce glede na matično podlago tal in za razvoj modela uporabiti multiplo linearno regresijo podpira ugotovitev raziskave, ki so jo izvedli Martin in sod. (2009). Ugotovili so, da so v primerjavi z njihovimi modeli, pridobljenimi po metodi oja enih regresijskih dreves, lahko boljše rezultate pokazali le regresijski modeli, pridobljeni na manjšem, bolj homogenem vzorcu.

Z izra unom smo potrdili drugo hipotezo diplomskega dela in sicer, da je v mineralnem delu tal  $\rho_b$  odvisna od koncentracije  $C_{org}$  v tleh. Pri primerjavi odvisnosti  $\rho_b$  od fizikalnih in kemijskih parametrov je povezava med  $N_{tot}$  in  $\rho_b$  tesnejša kot povezave med  $C_{org}$  in  $\rho_b$ , vendar se je s transformacijo obeh pojasnjevalnih spremenljivk s kvadratnim korenom ( $\text{kor}C_{org}$  in  $\text{kor}N_{tot}$ ), s čimer smo omilili vpliv ekstremnih vrednosti,  $C_{org}$  izkazal za spremenljivko, ki najboljše pojasnjuje  $\rho_b$  mineralnega dela tal.

Prav tako, kot so ugotovili že Kobal in sod. (2011), tudi pri naši raziskavi vpliv teksture na napovedano vrednost  $\rho_b$  mineralnega dela tal ni statistično značilen, kar je v nasprotju z mnogimi raziskavami, ki dokazujejo, da je vpliv teksture (Adams, 1973; Alexander, 1980; Harrison in Bocoock, 1981; Huntington in sod., 1989; Manrique in Jones, 1991; Salifu in sod., 1999) še posebej deleža gline (Kaur, 2002; Leonavi iute, 2000) pomemben za določanje  $\rho_b$ .

V skladu z raziskavami, ki so jih izvedli Sonja A. Heuscher et al. (2005) ter Martin in sod. (2009), je bilo tudi opažanje, da globina tal ni v tesni zvezi z  $\rho_b$  mineralnega dela tal, prav se  $\rho_b$  spreminja z globino tal (Harrison in Bocoock, 1981; Huntington in sod., 1989; Leonavi iute, 2000).

Glede na to da je KIK v naši raziskavi že sama pojasnila 80% variabilnosti volumenske gostote tal in da je v skupnem modelu prispevala 0,48 spremembe  $R^2$ , je zanimivo, da je v raziskavah le redko vklju ena kot neodvisna spremenljivka v PTF funkcijah za dolo anje  $b_0$ . Vsebovana ni v nobeni od 12 PTF funkcij, ki so jih primerjali Devos in sod. (2005). Verjetno zato ker je KIK mera, ki je že sama odvisna od drugih talnih lastnosti, predvsem od vsebnosti organske snovi in deleža glin. Organska snov v tleh s številnimi prostimi skupinami, kot so karboksilne, karbonilne in druge, pove uje KIK tal (Gr man in Zupan, 2008). Zato nas ne presene a, da lahko v našem primeru pri stopnji tveganja 0,01 trdimo, da obstaja pozitivna linearna povezava med KIK in C<sub>org</sub>. Kljub vsemu pa je pri testu kolinearnosti med multiplo regresijo nismo izlo ili, ker je bila vrednost tolerance dovolj velika. ( tolerance = 0,342 ). Na multikolinearnost kažejo vrednosti tolerance nižje od 0,1 (SPSS Web Books... , 2011)

Zanimivo je to, da so Krogh in sod. (2000) razvili model, s pomo jo katerega so na podlagi podatkov o C<sub>org</sub>, deleža glin, deleža melja in pH vrednosti tal pojasnili 90% variabilnosti KIK za dolo ene vrste tal. Delež glin, delež melja in pH pa so prav spremenljivke, ki smo jih mi med multiplo regresijo izlo ili.

Glede na to, da smo vzor ili samo na karbonatnih podlagah, je imela ve ina vzorcev visoke vrednosti BS. Vrednosti BS niso statisti no zna ilno prispevale k izboljšanju napovedne vrednosti modela, ker je imela ve ina vzorcev vrednosti BS 100% ali pa blizu 100%. Zanimivo bi bilo preu evati vpliv BS na  $b_0$  v tleh z bolj variabilnimi vrednostmi BS.

prav so bile pH vrednosti tal bolj variabilne kot BS vrednosti, tudi te niso pokazale statisti no zna ilne korelacije z  $b_0$ .

Nekateri kemijski parametri (npr. pH in BS), nimajo neposredne logi ne povezave z  $b_0$ , vendar v posameznih primerih lahko najdemo povezavo med njimi in fizikalnimi parametri, ker kažejo na dolo ene procese v tleh (npr. izpiranje bazi nih kationov in glin). Prav zato, ker to velja samo v dolo enih primerih, pa je smiselno da jih v PTF funkciji, ki je splošna za vsa tla na dolo eni mati ni podlagi, ne upoštevamo.

V bodo e bi bilo smiselno, da se na obmoju Slovenije vsako dolo anje parametrov gozdnih tal vpisuje v skupno bazo podatkov in da se opravljajo raziskave razvijanja lokalnih PTF funkcij in primerjave teh funkcij z nacionalnimi, oziroma njihovo stalno preverjanje in dopolnjevanje z novimi raziskavami. Tako bi imeli za podobne raziskave, kot je ta, na voljo ve je število podatkov in s tem bi bile raziskave bolj verodostojne. Tako bi lahko razvili PTF funkcijo tudi na ve jem vzorcu in jo preizkusili še na drugem setu podatkov. Predvsem bi bila zanimiva raziskava, ki bi preverila, ali lo evanje PTF funkcij glede na mati no podlago res statisti no zna ilno pripomore k natan nejšemu dolo evanju b. e je temu tako, bi lahko razvili lokalne PTF funkcije za vse poglavitne mati ne podlage ali pedosekvence (Stritar, 1990) v Sloveniji. Tako bi lažje, hitreje, natan neje in ceneje dolo ali b in vse ostale lastnosti, na katere b vpliva. Zanimivo bi bilo tudi, razviti in preveriti nacionalno PTF funkcijo po metodi oja enih regresijskih dreves ter jo primerjati z lokalnimi regresijskimi PTF funkcijami.

### **5.1.3 Vsebnost organskega ogljika v tleh in lesna zaloga**

Lesna zaloga na trdih karbonatnih kamninah v Sloveniji, na podlagi v diplomskem delu analiziranih podatkov, ne odraža kolikšne zaloge ogljika se nahajajo v tleh. Glede na to, da organska snov vpliva na ohranjanje rodovitnosti tal, bi bilo pri akovati, da je na tleh, bogatejših z ogljikom, pri akovati ve jo lesno zalogo, kot drugod in obratno. Vendar je takšno sklepanje preve enostavno in ne upošteva hitrosti razkroja organske snovi, katerega pokazatelj je vrednost razmerja C/N. Ker na hitrost razkroja organske snovi vplivata tudi nadmorska višina in ekspozicija, npr. na prisojnih legah v visokogorju bi pri akovali ve ogljika, bi bilo pri podobnih raziskavah smiselno upoštevati tudi ta dva parametra. Pri naši raziskavi se je namre najnižje leže a ploskev nahajala na 315 m.n.v., najvišje leže a pa na 1227 m.n.v. (Preglednica 1). Ploskve so imele tudi razli ne ekspozicije (Preglednica 1).

Na koli ino lesne zaloge o itno vpliva tudi veliko drugih dejavnikov, kot so npr. globina tal, voda v tleh, na in gospodarjenja z gozdom, klima in z njo povezani parametri itd. in morda zato koli ina  $C_{zal}$  ne kaže statisti no zna ilne korelacije. Za karbonatne mati ne podlage je še posebej zna ilno, da se globina tal v prostoru hitro spreminja. Na karbonatih se tla lahko razvijajo v tako imenovanih talnih žepih, kjer je debelino posameznih horizontov težko dolo iti ( Urban i , 2007 ).

Tudi površinska skalovitost, ki je v izra unu  $C_{zal}$  nismo upoštevali, ima sigurno vpliv, še posebej na apnen astih mati nih podlagah. Prav tako pri izra unu  $C_{zal}$  nismo upoštevali naklona terena (dejanska globina tal se zmanjšuje s kosinusom kota naklona terena) ter prekoreninjenosti ( Urban i , 2007 ), zato so lahko izra unane vrednosti precenjene.

Za doseg boljše ocene  $C_{zal}$ , bi bilo potrebno vse te dejavnike upoštevati. S tem bi lažje dolo ali morebitne zveze  $C_{zal}$  z drugimi dejavniki. Seveda bi morda s tem v poro ilih raznim konvencijam prikazali manjše vrednosti  $C_{zal}$ , kar pa nas kot raziskovalce na eloma ne bi smelo motiti.

## 5.2 SKLEPI

Korelacija med vrsto organskega podhorizonta in njegovo volumensko gostoto je statistično značilna, vendar pojasni premajhen odstotek variabilnosti, zato bi prvo hipotezo pogojno potrdili. Ali nam ta ocena zadošča, je odvisno od tega kako natančen podatek želimo imeti.

Glede na naše rezultate so ocene  $\rho_b$  na trdih karbonatnih materijih in kamninah, na podlagi podatka o  $C_{org}$  in KIK dovolj natančne. Ker je večina variabilnosti  $\rho_b$  pojasnil podatek o  $C_{org}$ , potrdimo drugo hipotezo tega diplomskega dela, ki pravi, da je  $\rho_b$  mineralnega dela tal odvisna zlasti od  $C_{org}$ . V našem primeru pa smo napovedno vrednost naše PTF funkcije še izboljšali, če smo vanjo vključili še podatek o KIK.

Glede na naše podatke, na količino  $C_{zal}$  v tleh vpliva preveč drugih dejavnikov, da bi bila v pozitivno korelacijski zvezi s količino lesne zaloge in obratno.

## 6 POVZETEK

Za gozdna tla Slovenije že imamo na razpolago zbirke podatkov o izbranih kemijskih in fizikalnih lastnostih tal. Pridobivanje dolo enih podatkov pa je lahko izvedbeno zahtevno, asovno potratno ter zahteva drage merilne naprave. Eden takih podatkov je volumenska gostota tal  $\rho_b$ . S pomo jo pedotransfernih funkcij (PTF) lahko iz podatkov o drugih parametrih, ki so lažje pridobljivi, ali pa jih že celo imamo v podatkovnih bazah, sklepamo na  $\rho_b$ . Gostota tal je pomemben parameter za ocenjevanje raznih procesov v tleh, v zadnjem asu pa je predvsem zaradi skrbi o podnebnih spremembah, pomemben za ocenjevanje zalog ogljika v tleh.

Namen diplomskega dela je iz teh lažje merljivih podatkov izra unati PTF funkcijo za ocenjevanje  $\rho_b$  na trdih karbonatnih mati nih (apnenci in dolomiti) podlagah v Sloveniji ter na osnovi pridobljenih podatkov o talnih profilih izra unati zaloge ogljika ( $C_{zal}$ ) v tleh. Preu ili smo 15 ploskev 16x16 km bioindikacijske mreže Slovenije, katerih mati no podlago tvorijo apnenci in dolomiti. Ploskve smo izbrali glede na podatke, ki so jih leta 2006 pridobili v okviru projekta BioSoil.

Na teh kontrolnih ploskvah smo želeli preveriti, ali koncentracija organskega ogljika ( $C_{org}$ ) v posameznem profilu mineralnega dela tal opiše najve ji delež variabilnosti  $\rho_b$  in ali za razvoj PTF funkcije zadoš a že samo ta podatek. Zanimalo nas je tudi, e lahko gostoto organskih podhorizontov dovolj dobro ocenimo samo na podlagi podatka o vrsti podhorizonta, ter e med  $C_{zal}$  in lesno zalogo obstaja statisti no zna ilna pozitivna korelacija.



Za razvoj PTF funkcije smo na ploskvah za vsak horizont posebej v treh ponovitvah izmerili 10 parametrov tal. Volumensko gostoto tal ( $\rho_b$ ), globino posameznih mineralnih horizontov, teksturo tal (delež gline, melja in peska), koncentracijo organskega ogljika ( $C_{org}$ ), koncentracijo skupnega dušika ( $N_{tot}$ ), pH vrednost tal, vsoto izmenljivih kationov in nasičenost z bazami (BS). Za razvoj funkcije smo imeli na voljo podatke za 24 horizontov. S pomočjo programa SPSS (SPSS Statistics 17.0) smo z multiplo regresijo po kora ni metodi preverili, kateri podatki statistično značilno pripomorejo k izboljšavi napovedne vrednosti modela ter razvili PTF funkcijo za ocenjevanje  $\rho_b$  na trdih karbonatnih mati nih podlagah v Sloveniji.

Za ocenjevanje gostote organskih podhorizontov smo uporabili podatke o njihovi vrsti,  $C_{org}$  in izmerjeni volumenski gostoti. Na voljo smo imeli podatke za 38 organskih podhorizontov. S pomočjo programa SPSS (SPSS Statistics 17.0) smo preko univariantnega linearnega modela preverili, koliko variabilnosti  $\rho_{org}$  pojasni podatek o vrsti podhorizonta, ter z enostavno linearno regresijo preverili, koliko variabilnosti  $\rho_{org}$  pojasnimo s podatkom  $C_{org}$ .

Za preizkus korelacije med  $C_{zal}$  in lesno zalogo smo s pomočjo dobljenih podatkov izračunali  $C_{zal}$  in uporabili podatke Gozdarskega Inštituta Slovenije o lesni zalogi na vzor nih ploskvah. Na voljo smo imeli podatke za 12 vzor nih ploskev. S pomočjo SPSS (SPSS Statistics 17.0) programa smo preverili koeficiente korelacije in z enostavno linearno regresijo preverili, kolikšen del variabilnosti  $C_{zal}$  opiše podatek o lesni zalogi.

Pri razvoju PTF funkcije smo ugotovili, da nam podatek o  $C_{org}$ , če ga prej kvadratno korenimo, že sam pojasni 89% variabilnosti  $\rho_b$  mineralnega dela tal. Če pa dodamo še podatek o KIK, nam funkcija pojasni skoraj 94% variabilnosti. Na podlagi rezultatov smo ugotovili, da nam za ocenjevanje  $\rho_b$  mineralnega dela tal zadošča že samo podatek o  $C_{org}$ . Ostale parametre tal smo med kora ni metodo multiple regresije izločili, ker niso statistično značilno pripomogli k izboljšanju napovedne vrednosti PTF funkcije. Preko dobljene PTF funkcije lahko zelo dobro ocenimo  $\rho_b$  mineralnega dela tal na trdih karbonatnih mati nih podlagah.

V primerjavi s podatkom o  $C_{org}$  lahko s podatkom o vrsti podhorizonta veliko boljše ocenimo volumensko gostoto organskih podhorizontov. Rezultati so nam pokazali, da nam podatek o vrsti podhorizonta pojasni 42% variabilnosti  $C_{org}$ , medtem ko nam podatek o  $C_{org}$  pojasni manj kot 12%. Kljub temu da je podatek o vrsti organskega horizonta v linearni zvezi z njegovo gostoto, pa nam opiše dokaj majhen odstotek variacije, zato je treba tako oceno jemati z rezervo.

Pri primerjavi  $C_{zal}$  z lesno zalogo, nam ni uspelo dokazati korelacije. V linearni zvezi nam podatek o lesni zalogi pojasni manj kot 28% variabilnosti  $C_{zal}$ , vendar ni niti statisti no zna ilna. To da v našem delu z našimi metodami nismo uspeli dokazati korelacije, si lahko razlagamo s tem, da na lesno zalogo vpliva še veliko drugih parametrov.

## 7 VIRI

Adams W. A. 1973. Effect of Organic-Matter on Bulk and True Densities of Some Uncultivated Podzolic Soils. *Journal of Soil Science*, 24, 1: 10-17

Alexander E.B. 1980. Bulk densities of California soils in relation to other soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 44, 4: 689-692

Arrouays D., Pelissier O. 1994. Modeling carbon storage profiles in temperate forest humic loamy soils of France. *Soil Science*, 157, 3:185-192.

Benites V. M., Machado P. L. O. A., Fidalgo E. C. C., Coelho M. R., Madari B. E. 2007. Pedotransfer functions for estimating soil bulk density from existing soil survey reports in Brazil. *Geoderma*, 139, 1-2: 90-97.

Cools N., De Vos B. 2010. *Sampling and Analysis of Soil. V: Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests*, UNECE, ICP Forests, Hamburg. <http://www.icp-forests.org/Manual.htm> (5. apr. 2011)

uden I. 2009. *Klasifikacija gozdnih tal na apnencu v skladu s slovensko in WRB klasifikacijo: diplomsko delo*. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo). Ljubljana, samozal.: 71 str.

De Vos B., Van Meirvenne M., Quataert P., Deckers J., Muys B. 2005. Predictive quality of pedotransfer functions for estimating bulk density of forest soils. *Soil Science Society of America Journal*, 69, 2: 500-510.

Dexter A.R. 2004. Soil physical quality Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, 120, 3-4: 201-214.

Eswaran H., Van Den Berg E., Reich P. 1993. Organic carbon in soils of the world. *Soil*

Science Society of America Journal, 57, 1: 192-194.

FAO. 2006. Guidelines for soil description. 4. ed. Rome,. FAO: 97 str.

Federer C. A., Turcotte D. E., Smith C. T. 1993. The Organic Fraction - Bulk-Density Relationship and the Expression of Nutrient Content in Forest Soils. Canadian Journal of Forest Research, 23, 6: 1026-1032.

Friedman J.H., Meulman J.J. 2003. Multiple additive regression trees with application in epidemiology. Statistics in Medicine, 22, 9: 1365-1381.

Geopedia (2011)

<http://www.geopedia.si/lite.jsp> (5.apr. 2011)

Givi J., Prasher S.O., Patel R.M. 2004. Evaluation of pedotransfer functions in predicting the soil water contents at field capacity and wilting point. Agricultural Water Management, 70, 2: 83-96.

Grman H., Zupan M. 2008. Navodila za vaje iz pedologije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Center za pedologijo in varstvo okolja: 46 str.

Grigal D.F., Brovold S.L., Nord W.S., Ohman L.F. 1989. Bulk density of surface soils and peat in the north central United States. Canadian Journal of Soil Science, 69, 4: 895-900.

Harrison A. F., Bockock K. L. 1981. Estimation of Soil Bulk-Density from Loss-On-Ignition Values. Journal of Applied Ecology, 18, 3: 919-927.

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, 1: 51-56.

Hillel D. 2009. The mission of soil science in a changing world. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 172, 1: 5-9.

Honeysett J. L., Ratkowsky D. A. 1989. The Use of Ignition Loss to Estimate Bulk-Density of Forest Soils. *Journal of Soil Science*, 40, 2: 299-308.

Howard P.J.A., Loveland P.J., Bradley R.I., Dry F.T., Howard D.M., Howard D.C. 1995. The carbon content of soil and its geographical distribution in Great Britain. *Soil Use Manage*, 11, 1: 9-15.

Hunington T.G., Johnson C.E., Siccama T.G., Ryan D.F. 1989. Carbon, organic matter, and bulk density relationships in a forested podsol. *Soil Science*, 148, 5: 380-386.

ICP 2006. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests: part IIIa: sampling and Analysis of Soil. UN ECE Convention on long-range transboundary air pollution. International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests. Expert Panel on Soil. Forest Soil Co-ordinating Centre, Research Institute for Nature and Forest, Belgium, 127 str.

ISO 10390. Soil quality-Determination of pH, 1994.

ISO 10693. Soil quality-Determination of carbonate content-Volumetric method, 1995: 7 str.

ISO 10694: Soil quality-Determination of organic and total carbon after dry combustion (elementary analysis). 1995: 7 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.

ISO 11465. Soil quality-Determination of dry matter and water content on a mass basis-Gravimetric method, 1993: 3 str.

ISO 13878. Soil quality-Determination of total nitrogen content by dry combustion ("elemental analysis"), 1998: 5 str.

Jeffrey D. W., 1970. A Note on Use of Ignition Loss as A Means for Approximate Estimation of Soil Bulk Density. *Journal of Ecology*, 58, 1: 297-299.

Kaur R., Kumar S., Gurung H. P., 2002. A pedotransfer function (PTF) for estimating soil bulk density from basic soil data and its comparison with existing PTFs. *Australian Journal of Soil Research*, 40, 5: 847-857.

Kobal M., Urban i M., Poto i N., De Vos B., Simon i P. 2011. Pedotransfer functions for bulk density estimation of forest soils. *Šumarski list*, 135, 1-2: 19-27.

Krogh L., Breuning H., Greve M.H. 2000. Cation exchange capacity pedotransfer function for Danish soils. *Soil and Plant Science*, 50, 1: 1-12.

Leonavi iute N. 2000. Predicting soil bulk and particle densities by soils pedotransfer functions from existing soil data in Lithuania. *Geoandgrafijos metraštis*, 33: 317-330.

Manrique L.A., Jones C.A. 1991. Bulk density of soils in relation to soil physical and chemical properties. *Soil Science Society of America Journal*, 55, 2: 476-481.

Martin M. P., Lo Seen D., Boulonne L., Jolivet C., Nair K. M., Bourgeon G., Arrouays D. 2009. Optimizing Pedotransfer Functions for Estimating Soil Bulk Density Using Boosted Regression Trees. *Soil Science Society of America Journal*, 73, 2: 485-493.

McBratney A.B., Minasny B., Cattlr S.R., Vervoort R.W. 2002. From pedotransfer functions to soil inference systems. *Geoderma*, 109, 1-2: 41-73.

Mouazen A.M., Ramon H., Baerdemaeker J.D. 2003. Modelling compaction from on-line measurement of soil properties and sensor draught. *Precision Agriculture*, 4, 2: 203-212.

Phillips J. D., Marion D. A. 2005. Biomechanical effects, lithological variations, and local pedodiversity in some forest soils of Arkansas. *Geoderma*, 124, 1-2: 73-89.

Poročilo o spremljanju stanja gozdov za leto 2010. 2011. Gozdarski inštitut Slovenije (27. jun. 2011)

[http://www.gozdis.si/fileadmin/user\\_upload/Porocilo\\_o\\_stanju\\_gozdov\\_za\\_leto\\_2010r.pdf](http://www.gozdis.si/fileadmin/user_upload/Porocilo_o_stanju_gozdov_za_leto_2010r.pdf)  
(2. sep. 2011)

Prus T. 2004. Nastanek in razvoj tal-geneza tal: študijsko gradivo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Center za pedologijo in varstvo okolja: 8 str.

Salifu K. F., Meyer W. L., Murchison H. G. 1999. Estimating soil bulk density from organic matter content, pH, silt and clay. *Journal of Tropical Forestry*, 15, 2: 112–120.

SPSS Web Books, Regression with SPSS, Chapter 2-Regression Diagnostics. 2011. UCLA Academic Technology Services (feb. 2011)

<http://www.ats.ucla.edu/stat/spss/webbooks/reg/chapter2/spssreg2.htm> (15. jul. 2011)

Stritar A. 1990. Krajina, krajinski sistemi. Raba in varstvo tal. Ljubljana, Partizanska knjiga: 173 str.

Tamminen P., Starr M. 1994. Bulk density of forested mineral soils. *Silva Fennica*, 28, 1: 53–60.

Urban i M. 1997. Temeljni izsledki pregleda gozdnih tal na Slovenski 16 X 16 kilometrski bioindikacijski mreži. V: Prou evanje propadanja gozdov v Sloveniji v obdobju 1985-1995. 1997. Robek R. (ur.).(Zbornik gozdarstva in lesarstva, Tematska številka, 52). Ljubljana, Gozdarski inštitut: Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo: Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 223-250

Urban i M., Simon i P., Prus T., Kutnar L. 2005. Atlas gozdnih tal Slovenije. Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije, Gozdarski inštitut Slovenije: 100 str.

Urban i M., Kobal M., Zupan M., Šporar M., Eler K., Simon i P. 2007. Organska snov v gozdnih tleh. V: Zbornik referatov konference o strategiji varovanja tal v Sloveniji 5. decembra 2007. Knapi M. (ur.). Ljubljana, Pedološko društvo Slovenije: 217-230

Urban i M., Kutnar L., Kralj T., Kobal M., Simon i P. 2009. Rastiš ne zna ilnosti trajnih ploskev slovenske 16 x 16-kilometrsk mreže. Gozdarski vestnik, 67, 1: 17-48

Zakon o ratifikaciji Kjotskega protokola k Okvirni konvenciji Združenih narodov o spremembi podnebja (MKPOKSP). 2002. Ur. l. RS-MP, št. 17/02



## ZAHVALA

Najbolj bi se rad zahvalil svoji družini, ki mi je stala ob strani in me nesebi no podpirala pri mojem procesu. Posebna zahvala gre Ireni, ki me je prav tako nesebi no podpirala, tiskala lanke, potrpežljivo prelagala vsak projekt ali potovanje, ki sva ga na rtovala, pa se je prav v trenutku, ko bi morala kam iti, zopet nekaj premaknilo v zvezi z mojo zadevo.

Zahvalil bi se svoji mentorici izr. prof. dr. Heleni Grman, somentorju prof. dr. Juriju Diaciju, recenzentu dr. Primožu Simoniju in pa seveda dr. Milanu Kobalu, ki so me rešili iz zagate, ki je nastala po mojem "prostovoljnem" delu na oddelku.

Zahvalil bi se tudi vodji laboratorija na Gozdarskem Inštitutu Slovenije Danijelu Žlindri in ostalim sodelavcem.

Zahvala gre tudi Leigh San Juan za pomoč pri angleškem izvleku.

Vsekakor bi se rad zahvalil vsem profesorjem in asistentom za predano znanje.

Prav tako se ne smem pozabiti zahvaliti delavnemu ljudstvu, ki mi je omogočilo brezplačno univerzitetno šolanje.

Manj rad bi se zahvalil tudi vsem zidarjem in domačim mojstrom, ki so med mojim pisanjem adaptirali sosednja stanovanja, vrtali luknje za police oziroma karkoli "ropotajočega" so že pošli.

Nazadnje bi se še zahvalil sošolcem, s katerimi smo skupaj obupavali, se moralno podpirali in si pomagali v obdobju študija in pri pisanju diplomskih del.

## PRILOGE

### Priloga A

Podatki o izmerjeni volumenski gostoti tal  $C_{org}$  in vsebnosti organskega ogljika ( $C_{org}$ ) v organskih podhorizontih

Podhorizont	$C_{org}$ [g/kg]	$C_{org}$ [kg/m <sup>3</sup> ]
OL	534,60	20,00
OF	529,50	91,50
OH	417,60	338,67
OL	495,80	5,00
OF	423,50	36,00
OH	284,00	16,00
OL	542,70	77,00
OF	529,10	52,50
OH	363,80	88,67
OL	545,30	78,00
OF	494,00	89,00
OH	312,70	165,33
OL	531,10	34,50
OF	480,30	111,67
OH	460,30	174,80
OL	464,50	66,50
OL	523,80	31,00
OF	474,00	43,00
OH	394,80	189,00
OL	537,20	13,00
OF	395,80	138,00
OL	521,30	19,00
OF	478,80	188,00
OH	466,90	137,40
OL	532,40	27,67
OF	532,80	99,67
OH	498,50	148,11
OL	492,10	24,00
OF	468,50	35,50
OH	381,80	78,00
OL	527,80	5,75
OL	491,90	32,00
OF	408,30	26,00
OL	488,30	27,50
OF	392,60	143,00
OH	286,10	177,00
OL	501,00	21,50
OF	395,30	47,00

## Priloga B

Volumenska gostota tal, šifre skeletnosti in globine mineralnih horizontov po lokacijah

### Martuljek

HORIZONT	VOLUMENSKA GOSTOTA TAL	ŠIFRA	GLOBINA HORIZONTA
RCA	0,583	4	od 0 do 40

### Kneža

HORIZONT	VOLUMENSKA GOSTOTA TAL	ŠIFRA	GLOBINA HORIZONTA
A/C	0,48	3	od 0 do 12
CA	ni podatka	4	od 12 do 33

### Križ

HORIZONT	VOLUMENSKA GOSTOTA TAL	ŠIFRA	GLOBINA HORIZONTA
AB	ni podatka	1	od 0 do 2
B	1,139	2	od 2 do 20
B/C	1,179	3	od 20 do 35
CB	1,265	4	od 35 do 55

### Zajama

HORIZONT	VOLUMENSKA GOSTOTA TAL	ŠIFRA	GLOBINA HORIZONTA
A	0,52	3	od 0 do 13
A/C	0,737	4	od 13 do 33
RCA	ni podatka	5	od 33 do 76

### Lubnik

HORIZONT	VOLUMENSKA GOSTOTA TAL	ŠIFRA	GLOBINA HORIZONTA
A	0,719	3	od 0 do 15
A/C	0,801	4	od 15 do 45
CAB	ni podatka	4	od 45 do 89

### Ravnik

HORIZONT	VOLUMENSKA GOSTOTA TAL	ŠIFRA	GLOBINA HORIZONTA
A	ni podatka	1	od 0 do 1
B	1,156	2	od 1 do 22
B	1,335	2	od 22 do 41
CB	1,336	4	od 41 do 63

### Rakitna

HORIZONT	VOLUMENSKA GOSTOTA TAL	ŠIFRA	GLOBINA HORIZONTA
A/C	0,903	2	od 0 do 24
CB	1,278	4	od 24 do 67

### Kižna jama

HORIZONT	VOLUMENSKA GOSTOTA TAL	ŠIFRA	GLOBINA HORIZONTA
A	0,554	1	od 0 do 3
B/C	1,135	4	od 3 do 29
CRB	1,204	4	od 29 do 48

### Snežnik

HORIZONT	VOLUMENSKA GOSTOTA TAL	ŠIFRA	GLOBINA HORIZONTA
A/C	0,273	3	od 0 do 25
RCA	ni podatka	4	od 25 do 38

### Rafol e

HORIZONT	VOLUMENSKA GOSTOTA TAL	ŠIFRA	GLOBINA HORIZONTA
A	ni podatka	1	od 0 do 5
B	1,111	2	od 5 do 24
CB	ni podatka	4	od 24 do 36

### Trojane

HORIZONT	VOLUMENSKA GOSTOTA TAL	ŠIFRA	GLOBINA HORIZONTA
A	ni podatka	0	od 0 do 6
A/C	ni podatka	3	od 6 do 23
AB/C	ni podatka	4	od 23 do 39
CB	ni podatka	4	od 39 do 51

### Hinje

HORIZONT	VOLUMENSKA GOSTOTA TAL	ŠIFRA	GLOBINA HORIZONTA
A	ni podatka	1	od 0 do 4
E	1,336	3	od 4 do 20
B	1,403	2	od 20 do 44
CB	ni podatka	0	od 44 do 59

### Gradiš e

HORIZONT	VOLUMENSKA GOSTOTA TAL	ŠIFRA	GLOBINA HORIZONTA
A	ni podatka	1	od 0 do 3
B	1,27	2	od 3 do 29
CB	ni podatka	4	od 29 do 47

### Sredgora

HORIZONT	VOLUMENSKA GOSTOTA TAL	ŠIFRA	GLOBINA HORIZONTA
A	ni podatka	1	od 0 do 4
AB	ni podatka	1	od 4 do 8
B	1,227	2	od 8 do 29
CB	1,322	4	od 29 do 53

## PRILOGA C

Tekstura (odstotek gline, melja in peska), delež organskega ogljika, delež skupnega dušika, pH vrednost tal, Kationska izmenjalna kapaciteta in delež nasičenosti z bazami v mineralnih horizontih po lokacijah

### Martuljek

HORIZONT	GLINA [%]	MELJ [%]	PESEK [%]	Corg [%]	Ntot [%]	PH	CEC	BS [%]
RCA	22,8	65,5	11,7	12,70	0,58	6,04	88,84	100

### Kneža

HORIZONT	GLINA	MELJ [%]	PESEK [%]	Corg [%]	Ntot [%]	PH	CEC	BS [%]
A/C	32	24,7	43,3	15,43	0,81	6,81	90,84	100
CA	15,5	32,4	52,1	13,46	0,82	6,92	90,89	99,8

### Križ

HORIZONT	GLINA [%]	MELJ [%]	PESEK [%]	Corg [%]	Ntot [%]	PH	CEC	BS [%]
AB	53,3	42,2	4,5	17,14	0,77	4,37	24,16	85,7
B	51	42,3	6,8	3,23	0,21	4,71	14,78	86,9
B/C	54	39,2	6,8	2,21	0,15	4,93	15,29	92,9
CB	57,7	36,2	6,1	1,57	0,1	5,4	18,1	97,1

### Zajama

HORIZONT	GLINA [%]	MELJ [%]	PESEK [%]	Corg [%]	Ntot [%]	PH	CEC	BS [%]
A	9,9	48,2	42	9,47	0,78	6,99	83,89	100
A/C	20,2	57	22,8	6,53	0,56	7,24	68,28	100
RCA	14,9	42,3	42,8	1,75	0,27	7,26	38,02	100

### Lubnik

HORIZONT	GLINA [%]	MELJ [%]	PESEK [%]	Corg [%]	Ntot [%]	PH	CEC	BS [%]
A	32,5	51,9	15,6	10,70	0,73	7,13	66,72	100
A/C	40,7	43,1	16,1	8,47	0,68	7,18	58,05	100
CAB	27,8	43,4	28,8	5,16	0,5	7,13	46,73	100

### Ravnik

HORIZONT	GLINA [%]	MELJ [%]	PESEK [%]	Corg [%]	Ntot [%]	PH	CEC	BS [%]
A	33,9	63	3,1	14,86	0,73	3,91	18,11	72
B	16	78	6	2,94	0,17	4,24	7,27	64,5
B	21,9	73	5,2	1,37	0,07	4,77	7,47	89,9
CB	29,1	65,6	5,3	1,15	0,07	5,81	13,54	99,3

### Rakitna

HORIZONT	GLINA [%]	MELJ [%]	PESEK [%]	Corg [%]	Ntot [%]	PH	CEC	BS [%]
A/C	20,5	52,7	26,8	8,65	0,69	7,21	66,28	99,9
CB	6,2	35,3	58,5	0,21	0,17	7,23	20,81	99,8

### Križna jama

HORIZONT	GLINA [%]	MELJ [%]	PESEK [%]	Corg [%]	Ntot [%]	PH	CEC	BS [%]
A	27,8	67,9	4,3	20,99	0,94	4,57	39,53	94,2
B/C	23,7	69	7,3	3,08	0,17	5,38	16,36	96,7
CRB	28,6	67,5	4	2,17	0,14	6,36	24,64	99,7

### Snežnik

HORIZONT	GLINA [%]	MELJ [%]	PESEK [%]	Corg [%]	Ntot [%]	PH	CEC	BS [%]
A/C	40,2	55,1	4,7	16,04	0,69	5,76	94,25	99,9
RCA	41	54,1	4,9	15,94	0,68	6,38	109,99	100

### Rafol e

HORIZONT	GLINA [%]	MELJ [%]	PESEK [%]	Corg [%]	Ntot [%]	PH	CEC	BS [%]
A	65,6	27,8	6,6	12,05	0,79	5,03	81,21	99,1
B	78,8	16,9	4,2	2,75	0,23	6,68	43,05	100
CB	44,7	31,8	23,5	1,11	0,19	7,2	34,22	98,5

### Trojane

HORIZONT	GLINA [%]	MELJ [%]	PESEK [%]	Corg [%]	Ntot [%]	PH	CEC	BS [%]
A	16,7	72,9	10,4	18,37	1,12	7,01	118,41	100
A/C	24,3	50,3	25,4	9,92	0,71	7,17	83,55	100
AB/C	8,2	37,8	54	3,70	0,18	7,41	32,79	100
CB	9,1	30,3	60,6	1,92	0,1	7,5	18,25	100

### Hinje

HORIZONT	GLINA [%]	MELJ [%]	PESEK [%]	Corg [%]	Ntot [%]	PH	CEC	BS [%]
A	45,7	48,3	6	11,25	0,72	5,28	48,96	98,7
E	38,5	48,1	13,4	1,79	0,13	4,33	15,54	80,4
B	49,3	38,8	11,9	1,16	0,09	5,4	25,74	97,8
CB	51,9	30,4	17,7	0,77	0,07	5,88	34,96	100

### Gradiš e

HORIZONT	GLINA [%]	MELJ [%]	PESEK [%]	Corg [%]	Ntot [%]	PH	CEC	BS [%]
A	54	31,5	14,5	12,85	0,81	5,88	60,52	99,2
B	41	35,4	23,7	2,74	0,18	5,7	30,7	99
CB	36,7	35,7	27,6	0,92	0,13	7,11	30,82	100

### Sredgora

HORIZONT	GLINA [%]	MELJ [%]	PESEK [%]	Corg [%]	Ntot [%]	PH	CEC	BS [%]
A	51,3	45	3,7	14,40	0,8	6,52	75,46	99,8
AB	52,6	42,7	4,7	2,66	0,17	6,32	32,45	99,2
B	50,1	42,9	6,9	2,16	0,16	6,75	34,78	99,8
CB	26,3	32,2	41,5	1,22	0,11	7,24	22,71	100