

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Mihael ŠIJANEC

**SPOSOBNOST IZBRANIH TAL ZA ZADRŽEVANJE
VODE**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2009

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Mihael ŠIJANEC

SPOSOBNOST IZBRANIH TAL ZA ZADRŽEVANJE VODE

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

WATER RETENTION CHARACTERISTICS OF SELECTED SOILS

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2009

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija kmetijstvo – agronomija. 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 in za somentorja prof. dr. Franca LOBNIKA.

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

Član: prof. dr. Franc LOBNIK
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Članica: prof. dr. Marina PINTAR
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.

Mihael ŠIJANEC

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 637.432: 631.44 (043.2)
KG	pedologija/tla/voda v tleh
KK	AGRIS P30
AV	ŠIJANEC, Mihael
SA	GRČMAN, Helena (mentor)/LOBNIK, Franc (somentor)
KZ	SI - 1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
LI	2009
IN	SPOSOBNOST IZBRANIH TAL ZA ZADRŽEVANJE VODE
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	X, 41, [7] str, 14 pregl., 14 sl., 6 pril., 26 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Znanje o sposobnosti tal za zadrževanje vode je izrednega pomena za vsakogar, ki se ukvarja z obdelovanjem tal. Namen diplomske naloge je bil ugotoviti sposobnost tal za zadrževanje vode za različne vrste tal v Sloveniji, ovrednotiti razlike med njimi in ugotoviti vpliv posameznih talnih lastnosti. Delo je zajemalo izbor lokacij, izkop talnih profilov, opis in vzorčenje tal. V talnih vzorcih smo ugotavljali teksturo, vsebnost organske snovi, pH, kationsko izmenjalno kapaciteto in delež bazičnih kationov. Vodno zadrževalne lastnosti tal smo ugotavljali v visokotlačni komori z modificirano metodo ISO 11274 (1998) pri tlakih (0 bar, 0,1 bar, 0,33 bar, 0,66 bar, 1 bar, 2 bar, 5 bar, 10 bar, 15 bar). Na osnovi teh meritev smo izrisali desorpcijske krivulje in primerjali talne vzorce in profile med seboj. Skupna poljska kapaciteta tal za vodo je bila od 0,126 do 0,592 m³/m³, skupna rastlinam dostopna voda pa od 0,057 do 0,311 m³/m³. Z metodo linearne regresije smo postavili modela za izračunavanje poljske kapacitete tal za vodo in rastlinam dostopne vode na osnovi talnih lastnosti. Modela, ki sta vključevala glino, pesek in organsko snov, sta pojasnila več kot 90 % variabilnosti. Naše meritve smo primerjali tudi z ocenami, ki jih dajeta modela Saxton in Finneren. Nekoliko boljše ocene daje Finnernov model, ki vključuje tudi podatek za organsko snov v tleh.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn

DC UDC 637.432: 631.44 (043.2)

CX pedology/soil/soil water

CC AGRIS P30

AU ŠIJANEC, Mihael

AA GRČMAN, Helena (supervisor)/LOBNIK, Franc (co-supervisor)

PP SI - 1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101

PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy

PY 2009

TI WATER RETENTION CHARACTERISTICS OF SELECTED SOILS

DT Graduation thesis (University studies)

NO X, 41, [7] p., 14 tab., 14 fig., 6 ann., 26 ref.

LA sl

AL sl/en

AB Knowledge about soil and its capacity of water retention, is important for everyone involved in soil management. Goal of this study was to determine water retention capability for different soil types in Slovenia. The influence of soil characteristics on water retention capacity was studied as well. The work involved selection of sampling locations, digging the soil profiles, describing soil horizons and taking soil samples. In soil samples we determined texture, soil organic matter content, pH, cation exchange capacity and portion of base cations in the soil. We determined the desorptive characteristics with high pressure comora using modified method ISO 11274 (1998) at pressures (0 bar, 0.1 bar, 0.33 bar, 0.66 bar, 1 bar, 2 bar, 5 bar, 10 bar, 15 bar). Using measured data designed desorptions curves es for each horizon/profile. The comparison between soil profiles was made on the base of total field capacity or available water. Total field water capacity ranged from 0.126 to 0.592 m³/m³, water available for plants ranged from 0.037 to 0.192 m³/m³. Models for predicting field capacity and available water on the base of soil characteristics was established using linear regression method. Model included clay fraction, sand fraction and soil organic matter and explained over 90 % of variability. We compared also our measurements with results of selected models (Saxton and Finnern). The differences were high, but better results were given by Finnern model, that also included soil organic matter content.

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	III
Key words documentation (KWD)	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VII
Kazalo slik	VIII
Kazalo prilog	IX
Okrajšave in simboli	X
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 Tla kot trifazni sistem	3
2.1.1.1 Tekstura tal	4
2.1.1.1.1 Pesek	4
2.1.1.1.2 Melj	5
2.1.1.1.3 Glina	5
2.1.1.2 Organska snov	5
2.1.1.3 Skeletnost	6
2.1.1.4 Globina tal	6
2.2 VODA V TLEH	6
2.2.1 Globalni ciklus vode	6
2.2.2 Energijski potencial vode v tleh	7
2.2.2.1 Gravitacijski potencial	7
2.2.2.2 Matrični potencial	8
2.2.2.3 Osmotski potencial	8
2.2.3 Vsebnost vode in moč vezave v tleh	9
2.2.4 Meritve vode v tleh	9
2.2.5 Modeliranje vodno zadrževalnih lastnosti tal	11
3 MATERIALI IN METODE	12
3.1 IZBOR VZORČNIH LOKACIJ IN IZKOP TALNIH PROFILOV	12
3.1.1 Razori pri Ljubljani	13
3.1.2 Savlje v Ljubljani	14
3.1.3 Baredi nad Izolo	15
3.1.4 Kras med Avberjem in Dobravljami	16
3.1.5 Okolica Križa na Krasu	17

3.2 ANALITSKE METODE	18
3.2.1 Osnovne fizikalno kemijske analize tal	18
3.2.2 Določevanje vodno zadrževalnih lastnosti tal	18
3.2.3 Formula za preračunavanje masnih odstotkov tal v volumske odstotke tal	20
3.2.4 Izračun skupne kapacitete tal za vodo	20
3.2.5 Formula za izračun skupne kapacitete tal za vodo in skupne količine rastlinam dostopne vode v talnem profilu do globine enega metra	21
3.3 TEST MODIFICIRANIH OBROČKOV	22
3.4 STATISTIČNE METODE	22
3.5 TESTIRANJE OBSTOJEČIH MODELOV ZA NAPOVEDOVANJE DESORPCIJSKIH LASTNOSTI TAL	23
4 REZULTATI	24
4.1 TESTIRANJE UPORABE MODIFICIRANIH OBROČKOV PRI MERITVAH VODNO ZADRŽEVALNIH LASTNOSTI V VISOKOTLAČNI KOMORI	24
4.2 PEDOLOŠKE LASTNOSTI IN SPOSOBNOST IZBRANIH TAL ZA ZADRŽEVANJE VODE	25
4.2.1 Lastnosti posameznih profilov	25
4.2.1.1 Profil 1: Razori pri Ljubljani	25
4.2.1.2 Profil 2: Savlje v Ljubljani	26
4.2.1.3 Profil 3: Baredi nad Izolo	27
4.2.1.4 Profil 4: iz Krasa med Avberjem in Dobravljami	29
4.2.1.5 Profil 5: okolica Križa na Krasu	30
4.3 PRIMERJAVA VODNO ZADRŽEVALNIH LASTNOSTI MED PROFILI	32
4.4 POVEZAVA MED TALNIMI LASTNOSTMI IN VODNO ZADRŽEVALNIMI KARAKTERISTIKAMI TAL	33
4.5 PRIMERJAVA MODELOV	33
5 RAZPRAVA IN SKLEPI	35
5.1 RAZPRAVA	35
5.1.1 Testiranje modificiranih obročkov	35
5.1.2 Kapaciteta tal za vodo in vodno zadrževalne lastnosti izbranih tal za vodo	35
5.1.3 Uporaba modelov za računanje	36
5.2 SKLEPI	37
6 POVZETEK	38
7 VIRI	40
ZAHVALA	
PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Podatki o lokaciji talnega profila Razori pri Ljubljani in splošnih talnih lastnostih opisanih na terenu	13
Preglednica 2: Podatki o lokaciji talnega profila Savlje v Ljubljani in splošnih talnih lastnostih opisanih na terenu	14
Preglednica 3: Podatki o lokaciji talnega profila Baredi nad Izolo in splošnih talnih lastnostih opisanih na terenu	15
Preglednica 4: Podatki o lokaciji talnega profila iz okolice Dobravelj in splošnih talnih lastnostih opisanih na terenu	16
Preglednica 5: Podatki o lokaciji talnega profila iz okolice Križa na Krasu in splošnih talnih lastnostih opisanih na terenu	17
Preglednica 6: Vodno zadrževalne lastnosti tal merjene s standardnimi obročki, količina vode (vol %) ki jo tla zadržijo pri različnem matričnem potencialu	23
Preglednica 7: Vodno zadrževalne lastnosti merjene z modificiranimi obročki, količina vode (vol %) ki jo tla zadržijo pri različnem matričnem potencialu	23
Preglednica 8: Analitski podatki tal v profilu Razori pri Ljubljani	25
Preglednica 9: Analitski podatki tal v profilu Savlje v Ljubljani	26
Preglednica 10: Analitski podatki tal v profilu Baredi nad Izolo	28
Preglednica 11: Analitski podatki tal v profilu med Avberjem in Dobravljami na Krasu	29
Preglednica 12: Analitski podatki tal v profilu iz Križa na Krasu	30
Preglednica 13: Primerjava profilov glede na vodno zadrževalne lastnosti	32
Preglednica 14: Primerjava meritev z rezultati izbranih modelov za vodno zadrževalne lastnosti tal	34

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Slovenija in lokacije izkopanih talnih profilov (P1 – Razori pri Ljubljani, P2 – Savlje v Ljubljani, P3 – Baredi nad Izolo, P4 – Kras med Avberjem in Dobravljami in P5 – okolica Križa na Krasu)	12
Slika 2: Lokacija in talni profil iz Razorov pri Ljubljani na peščeno prodnatem aluviju Gradaščice in Horjulščice (foto: T. Kralj)	13
Slika 3: Lokacija in profil na peščeno prodnatem nanosu Save v Savljah v Ljubljani (foto: T. Kralj)	14
Slika 4: Lokacija in talni profil iz Baredov nad Izolo, na vrhu flišnatega pobočja (foto: T. Kralj)	15
Slika 5: Lokacija in talni profil iz okolice Dobravelj v spodnjem delu pobočja večje vrtače, kjer poteka izkopavanje terra rosse za potrebe urejanja novih vinogradov (foto: T. Kralj)	16
Slika 6: Lokacija in talni profil iz Križa na Krasu (foto: T. Kralj)	17
Slika 7: Komora za določevanje vodno zadrževalnih lastnosti tal	19
Slika 8: Primer modificiranih obročkov (levo) in standardnih obročkov (desno)	22
Slika 9: Internetna aplikacija Saxtonovega modela (Pedosphere.com, 2009)	23
Slika 10: Vodno zadrževalne lastnosti talnih horizontov profila Razori pri Ljubljani, prikazana so povprečja treh ponovitev in standardna deviacija	26
Slika 11: Vodno zadrževalne lastnosti talnih horizontov profila Savlje v Ljubljani, prikazana so povprečja treh ponovitev in standardna deviacija	27
Slika 12: Vodno zadrževalne lastnosti talnih horizontov profila Baredi nad Izolo, prikazana so povprečja treh ponovitev in standardna deviacija	36
Slika 13: Vodno zadrževalne lastnosti talnih horizontov profila iz okolice Dobravelj na Krasu, prikazana so povprečja treh ponovitev in standardna deviacija	30
Slika 14: Vodno zadrževalne lastnosti talnih horizontov profila iz Križa na Krasu, prikazana so povprečja treh ponovitev in standardna deviacija	31

KAZALO PRILOG

Priloga A: Masni % vode v posameznih tleh po posameznih horizontih tal. Podani so rezultati treh meritev in povprečja; Profil Ø1, Razori pri Ljubljani

Priloga B: Masni % vode v posameznih tleh po posameznih horizontih tal. Podani so rezultati treh meritev in povprečja; Profil Ø2, Savlje v Ljubljani

Priloga C: Masni % vode v posameznih tleh po posameznih horizontih tal. Podani so rezultati treh meritev in povprečja; Profil Ø3, Baredi nad Izolo

Priloga D: Masni % vode v posameznih tleh po posameznih horizontih tal. Podani so rezultati treh meritev in povprečja; Profil Ø4, Kras med Avberjem in Dobravljami

Priloga E: Masni % vode v posameznih tleh po posameznih horizontih tal. Podani so rezultati treh meritev in povprečja; Profil Ø5, okolica Križa na Krasu

Priloga F: Korelacijska matrika za talne lastnosti in vodne karakteristike tal

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

Okrajšava	Pomen
AAS	Atomska absorpcijska spektrometrija
AES	Atomska emisijska spektrometrija
°C	Stopinj Celzija
pF	Logaritem višine vodnega stolpca v cm
pH	Stopnja kislosti/bazičnosti
PK	Poljska kapaciteta tal za vodo
RDV	Rastlinam dostopna voda
TV	Točka venenja
ρ_b	Volumska gostota tal
D_{hz}	Debelina posameznega horizonta
$PK(i)_{hz}$	Izmerjena PK horizonta v %
$RDV(i)_{hz}$	Izračunana RDV v %
WRB	World reference base

1 UVOD

Voda v tleh se nahaja v talnih porah. Nanjo delujejo različne sile, zaradi česar potuje po talnem profilu in se veže na talne delce. Moč vezave vode na talne delce vpliva na količino in hitrost odtoka vode (gravitacijska voda) in na količino rastlinam dostopne vode, kar s skupnim izrazom lahko imenujemo vodno zadrževalne lastnosti tal. Sposobnost tal za zadrževanje vode je pomembna lastnost, ki določa primernost tal za gojenje rastlin in migracijo snovi (hranila, fitofarmacevtska sredstva) v profilu. Odvisna je od fizikalnih in kemijskih lastnosti tal (tekstura tal, vsebnost organske snovi). Skupaj z globino tal ter strukturo in deležem skeleta je ključni podatek pri ugotavljanju ranljivosti tal za sušo in napovedovanju migracije vseh polutantov v tleh.

1.1 POVOD ZA IZDELAVO DIPLOMSKEGA DELA

V Sloveniji še nimamo ovrednotenih desorpcijskih lastnosti tal po posameznih talnih sistematskih enotah. Dosedanje meritve so bile omejene na posamezne projekte in so zajemale prostorsko omejen izbor talnih tipov. Velikokrat so bile tudi namesto meritev uporabljene z modeli ocenjene vrednosti.

1.2 NAMEN NALOGE

Ugotavljali bomo sposobnost tal za zadrževanje vode na izbranih talnih tipih v Sloveniji. Naloga zajema izbor tal, izkop profilov, pedološki opis, vzorčenje tal po horizontih, pripravo vzorcev za analizo ter meritve vsebnosti vode v tleh pri različnih tlakih: (0; 0,1; 0,33; 0,66; 1; 2; 5; 10; 15 bar), v tlačni posodi s polprepustno keramično ploščo. Na osnovi pridobljenih podatkov bomo izrisali desorpcijske krivulje za posamezne talne profile in ugotavljali povezave med talnimi lastnostmi in vodnimi karakteristikami tal.

Rezultati diplomske naloge bodo pripomogli k poznavanju vodno zadrževalnih karakteristik izbranih talnih tipov za vodo, omogočili bodo primerjavo med izmerjenimi in z modeli ocenjenimi vrednostmi ter uporabo v različnih okoljskih študijah (ugotavljanje ranljivosti tal za sušo, ugotavljanje usode onesnažil v tleh).

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Za opravljeno raziskavo smo postavili naslednje delovne hipoteze:

1. Izbrani talni tipi (profili, horizonti) se razlikujejo po vodno zadrževalnih karakteristikah za vodo ter skupni poljski kapaciteti tal za vodo in količini rastlinam dostopne vode.
2. Obstajajo statistično značilne povezave med talnimi lastnostmi in vodnimi karakteristikami, ki so osnova regresijskim modelom, s katerimi lahko napovedujemo poljsko kapaciteto (PK) in točko venenja (TV) na osnovi talnih lastnosti. Izdelali smo tudi statistično povezavo za PK in TV.
3. Z obstoječimi modeli, ki so na voljo, lahko dovolj dobro napovemo PK in TV za slovenska tla.

2 PREGLED OBJAV

2.1 TLA

V vsakem ekosistemu, kjer imamo prisotna tla, pa naj bo to vrt, park, kmetija ali gozd, imajo le ta najmanj pet pomembnih vlog. Tla z svojo sestavo nudijo oporo rastlinam ter zadržujejo vodo in hranilne snovi, ki jih rastline potrebujejo za svojo rast in razvoj. Prav tako je od vrste tal odvisno, kakšna vegetacija bo na njih uspevala ter posledično kakšno število in tipi živali bodo na njej prisotni. Kot drugo so lastnosti tal glavni dejavnik, ki vpliva na usodo vode v hidrološkem sistemu, vpliva na izgubo vode, njeno onesnaženost in njeno očiščenje. Tretjič, tla delujejo kot naravna čistilna naprava, znotraj njih je asimilirana velika količina mrtvih ostankov rastlin, živali pa tudi človeka, in tako, so njihovi osnovni elementi znova na voljo naslednjim generacijam življenja. Četrto, so tla živjenski prostor za milijarde živih organizmov od malih sesalcev in kuščarjev pa do drobnih insektov ter mikroskopskih celic nepredstavljivega števila in raznolikosti. In kot zadnje so tla zelo pomembna v človekovih ekosistemi ne samo kot kraj za pridelovanje hrane ampak tudi kot gradbeni material (opeke, pečen zemeljski material) in kot temelj za tako rekoč vsako cesto, letališče in hišo, ki jih zgradimo (Brady, 2002).

2.1.1 Tla kot trifazni sistem

Tla so trifazni sistem sestavljen iz trdne (matriks tal) tekoče (talna raztopina) in plinaste faze (talna atmosfera) (Hillel, 1998). Trdno fazo sestavljajo mineralne snovi, ki nastajajo s preperevanjem kamnin ter odmrla organska snov in živi organizmi. Mineralne snovi in odmrla organska snov so razporejeni tako, da tvorijo porozno maso, to je sistem por različnih dimenzij, ki so med seboj bolj ali manj povezane. Trdna faza tal predstavlja približno 50 % od skupne mase zemlje, ostalih 50 % pa predstavljajo pore (Ćirić, 1986). V porah se nahajata talna raztopina in zrak, katerih delež variira glede na talne lastnosti, strukturo tal in vremenske razmere, več ko je vode manj je zraka in obratno (Pintar, 2003; Hillel, 1998). Na ta način tla nudijo oporo rastlinskim koreninam ter zadržujejo vodo in mineralne snovi v njih, ki so hrana rastlinam in drugim talnim organizmom. V nadaljevanju bomo opisali tiste lastnosti, ki so ključne za zadrževanje vode v tleh.

2.1.1.1 Tekstura tal

Velikost mineralnih delcev v tleh je na prvi pogled nepomembna stvar, a znanje o vsebnosti različnih delcev v tleh (tekstura tal) je kritično za razumevanje obnašanja tal in njihovo obdelavo. Ko ocenjujemo tla na samem mestu, je tekstura različnih talnih horizontov pogosto prva in najpomembnejša stvar za določevanje, saj s tem pridobimo mnoge pomembne informacije. Prav tako je tekstura tal kmetijskih zemljišč stvar, ki se ne spreminja dosti in je zato sprejeta kot osnovna lastnost tal (Brady, 2002). Vsebnost vode v tleh se poveča z večjo vsebnostjo finih talnih delcev ($< 0,06$ mm) in organske snovi v tleh (Heiskanen in Mäkitalo, 2002). Tekstura tal v največji meri pogojuje vodno zračni režim tal, njegove fizično mehanske karakteristike in adsorptivno sposobnost. Iz tega sledi, da so od teksture odvisne osnove za razvoj korenin, stik rastlin z vodo in kisikom in zmožnost za shranjevanje hranil. Kar pomeni, da tekstura usmerja vse elemente rodovitnosti zemljišča in od tu njen velik pomen (Ćirić, 1986). Metoda karakterizacije velikosti delcev v zemlji poteka tako, da ločimo cel spekter teh delcev v tri uporabno ločljive range imenovane teksturne frakcije; pesek, melj, glina. Postopek ločevanja teh delcev in meritev njihovih proporcij se imenuje mehanska analiza tal, za katero so razvite standardne tehnike (Hillel, 1998).

2.1.1.1.1 Pesek

Frakcija peska v tleh so tisti delci, ki so manjši od 2 mm in večji od 0,05 mm. Lahko so različnih oblik, ostrorobi ali pa zaobljeni, odvisno od intenzivnosti procesov, katerim so bili podvrženi v času nastajanja tal. Največji delci peska so lahko delci kamnine, ki vsebujejo po nekaj mineralov, večina delcev peska pa je sestavljenih iz enega minerala, ponavadi kremena (SiO_2), lahko pa so to tudi delci ortoklaza, sljude in občasno težkih mineralov, kot so cirkon, tormalin ali amfibol, čeprav so zadnji večinoma redki (Mack in Leistikow, 1996). Pesek med prsti daje hrapav občutek in delci so v glavnem vidni prostemu očesu. Ker so delci peska relativno veliki, so prav tako veliki prostori med njimi, kar pomeni, da se voda in zrak med njimi prosto izmenjujeta. Delci peska imajo relativno majhno specifično površino zato lahko zadržijo le malo vode in tla, kjer dominira pesek, so tako podvržena suši. Delci peska so nekohezivni, v skupku se ne držijo skupaj, zato so taka tla tudi bolj podvržena eroziji (Brady, 2002).

2.1.1.1.2 Melj

Frakcija melja so delci manjši od 0,05 mm in večji od 0,002 mm. Posamezni delci melja prostemu očesu niso vidni in tudi ne dajejo hrapavega občutka med prsti. Minerološko in fizično so delci melja podobni delcem peska, ker pa so manjši in imajo večjo specifično površino in so pogosto obloženi z delci močno adhezivne gline lahko, do določene stopnje, predstavljajo nekatere fizično-kemične značilnosti gline (Hillel, 1998). Čeprav je melj sestavljen iz delcev podobnih pesku, daje občutek gladkosti podobno kot moka. Pore med delci melja so veliko manjše kot pri pesku in veliko več jih je, zato melj zadrži več vode. Vlažen melj sam po sebi ne daje veliko lepljivosti in plastičnosti. Zaradi slabe lepljivosti in plastičnosti so tla z veliko vsebnostjo melja pogosto podvržena eroziji (Brady, 2002).

2.1.1.1.3 Glina

Delci manjši od 0,002 mm so opredeljeni kot glina in imajo zelo veliko specifično površino (tako majhni, da delujejo kot koloidi, koloidna frakcija) (Brady, 2002). Delci gline so po obliki ploščati (listasti) ali iglasti in po večini pripadajo skupini mineralov pod imenom alumosilikati. To so sekundarni minerali, formirani v tleh v času njihove evolucije iz primarnih mineralov. V nekaterih primerih pa frakcija gline lahko vključuje večje koncentracije finih delcev, ki ne pripadajo alumosilikatom ampak železovim oksidom ali kalcijevim karbonatom. Zaradi njene velike specifične površine in njene fizikalno kemične aktivnosti je glina frakcija z največjim vplivom na lastnosti tal. Pore med delci gline so zelo majhne in zapletene, kar daje frakciji gline veliko sposobnost za zadrževanje vode in hranilnih snovi, je pa gibanje vode in zraka v njej zelo počasno. Delci gline adsorbirajo vodo, kar povzroči nabrekanje tal zaradi navlažitve, ko pa se taka tla osušijo, se skrčijo in otrdijo (Hillel, 1998).

2.1.1.2 Organska snov

Organska snov ima številne pomembne funkcije v tleh. Sodeluje v procesih nastajanja tal in od njenih lastnosti so odvisne številne fizikalne in kemijske lastnosti tal. Organska snov neposredno sodeluje v prehrani rastlin in ima zaradi tega velik pomen za rodovitnost tal (Ćirić, 1986).

Organska snov v tleh je sestavljena iz širokega spektra organskih snovi vključno z živimi organizmi (biomasa), ostankov organizmov, ki so nekdaj živeli v tleh, in organskih snovi narejenih od zdajšnjih ali prejšnjih metabolnih procesov talnih organizmov. Ostanki rastlin, živali in mikroorganizmov so konstantno predelani v tleh in iz njih nastajajo nove snovi s strani drugih organizmov. Čez čas se organska snov izgublja iz tal kot ogljikov dioksid nastal z mikrobiološko respiracijo. Na drugi strani se v tla vrača organska snov preko fotosinteze in nastajajoče biomase (Brady, 2002). Kot koloidna materija velike adsorptivne sposobnosti, organska snov veže 5 – 10 krat več vode kot mineralni koloidi in tako izboljšuje sposobnost tal za zadrževanje vode še posebej v peščenih tleh (Ćirić, 1986). Dodatno je organska snov poglaviti vir rastlinskih hranil in primarni vir dušika ter povečuje zračnost glinenih tal.

2.1.1.3 Skeletnost

Skelet so mineralni delci (delci kamnine) v tleh, ki so večji od 2 mm. Ima majhno specifično površino, zato v tleh deluje fizikalno, povečuje zračnost tal, le apnenec nekoliko vpliva tudi na kemijske lastnosti tal s svojim raztapljanjem (Zupan in sod., 1998). Po velikosti skelet ločimo na več kategorij: zelo majhen skelet (2 – 6 mm), majhen skelet (6 mm – 2 cm), srednje velik skelet (2 – 6 cm), velik skelet (6 – 20 cm), zelo velik skelet (20 – 60 cm) in skale (> 60 cm) (Zupan in sod., 1998). Večji skelet v tleh lahko otežuje ali celo onemogoča obdelovanje tal. Na količino skeleta v tleh v največji meri vpliva vrsta kamnine, na kateri so tla nastala (matična podlaga) oziroma način preperevanja. Kamnine, ki preperevajo predvsem kemično (npr. apnenec), dajejo manj skeleta v tleh, kamnine, ki preperevajo predvsem fizikalno (npr. peščenjak), dajejo več skeleta. Vpliva pa tudi globina tal in obdelava tal. Z oranjem plitvih tal na različnih aluvijih lahko povečujemo količino skeleta v talnem profilu.

2.1.1.4 Globina tal

Globina tal je razdalja med površino tal in matično podlago. Odvisna je od vrste matične podlage (kamnine) in načina preperevanja, kopičenja organske snovi, ki je odvisno od nadmorske višine, klime in vegetacije.

2.2 VODA V TLEH

2.2.1 Globalni cikel vode

Voda v tleh je najpomembnejša povezava v hidrološkem ciklu, ki kontrolira izmenjavo z atmosfero nad zemljo in z vodo pod zemljo. Voda ima poglobljen vpliv na večino fizikalnih, kemičnih in bioloških procesov, do katerih prihaja v tleh. Biološka pridelava na tleh je najbolj vplivana s strani vsebnosti vode v tleh (Clarke Topp in Ferre, 2002). Sončna energija poganja krog vode s površine zemlje v atmosfero in spet nazaj, kar imenujemo hidrološki cikel. Približno ena tretjina sončne energije, ki doseže zemljo, je absorbirana s strani vode na ali blizu površine zemlje, kar stimulira evaporacijo, spremembo tekoče vode v vodno paro. Vodna para se dvigne v atmosfero in tvori oblake, ki se lahko premikajo iz ene regije planeta v drugo. V povprečno 10 dneh razlike v pritisku in temperaturi v atmosferi povzročijo, da se vodna para kondenzira v tekoče kaplje ali trdne delce, ki se vrnejo na zemljo kot dež ali sneg. Približno 500000 km³ vode evaporira s površine zemlje in rastlin vsako leto in od tega je 110000 km³ pade kot dež ali sneg na kontinentih (Brady, 2002). Nekaj te vode, ki pade na površino tal odteče s površine, nekaj pa se je infiltrira v tla in odcedi v podzemno vodo. Tako površinski odtok kot tudi podzemni tok vstopita v potoke in reke, ki se iztekajo v morja in oceane. Volumen na ta način vrnjene vode je okrog 40000 km³, kar je enako količini vode, ki je vsakoletno v obliki oblakov premeščena iznad oceanov nad kontinente (Brady, 2002).

2.2.2 Energijski potencial vode v tleh

Premiki vode v tleh, njen dvig in translokacija v rastlinah in njene izgube v atmosfero so vsi med seboj energijsko povezani procesi. Prisotne so različne oblike energije, vključno s kinetično in potencialno energijo. Kinetična energija je vsekakor pomembna v zaporednem, turbulentnem toku vode v rekah, premikanje vode v tleh pa je tako počasno, da je kinetična energija tu zanemarljiva. Potencialna energija je najbolj pomembna pri določevanju potenciala in premikanja vode v tleh. Vsaka energija se nagiba k temu, da se premika ali spreminja od stanja z večjo energijo k stanju z manjšo energijo (Brady, 2002). V termodinamiki energetske stanje vode v tleh izražamo s prosto energijo na enoto mase vode v tleh. Pogosto je ta energija, ki je podana z J/kg, poimenovana tudi kot vodni potencial tal. Zasledimo tudi enote za pritisk: Pa, metri vodnega stolpca in pF vrednost, ki se predvsem uporablja v kmetijstvu (Wijk, 1963). Vrednost pF je logaritem višine vodnega stolpca izraženega v cm. Za vegetacijo je zelo pomemben matrični potencial vode v tleh. Ta je močno odvisen od strukture, teksture, stopnje humoznosti tal, konzistence in vsebnosti grobega skeleta. Vsi ti elementi vplivajo na tvorbo talnih por, katerih velikost in oblika odločilno vplivata na kapaciteto tal za vodo. Kapilarne sile so v korelaciji s površinsko napetostjo vode in odvisne od premera talnih por. Čim manjše so talne pore, tem večja je kapilarna sila, s katero je voda vezana na trdne delce (Ruprecht, 1999). Atrakcija vode k ionom in drugim zmesem rezultira kot osmotska sila, le ta je nagnjena k zmanjševanju energijske stopnje vode v tleh. Tretja večja sila, ki vpliva na vodo v tleh je gravitacijska sila, ki vodo vedno vleče navzdol (Brady, 2002).

2.2.2.1 Gravitacijski potencial

Sila teže deluje na vodo v tleh enako, kot na katero koli drugo telo, privlači k središču zemlje. Gravitacijski potencial lahko izrazimo matematično $\Psi_g = g \cdot h$, kjer je g pospešek glede na gravitacijo in h višina talne vode nad standardnim nivojem vode (Ćirić, 1986). Gravitacija igra pomembno vlogo pri odstranjevanju odvečne vode iz zgornjih horizontov in napolnitvi podzemne vode izpod talnega profila (Brady, 2002), a ne vpliva na količino vode, ki jo tla lahko zadržijo.

2.2.2.2 Matrični potencial

Povezava med vsebnostjo talne vode in matričnim potencialom je temeljni del ugotavljanja vodnih lastnosti tal (Dane in Hopmans, 2002). Matrični potencial obravnava energijske odnose v polju privlačnih sil v trdni fazi tal. Matriks pomeni potopljeno maso, v našem primeru to pomeni trdno fazo tal, potopljeno v vodo. Če standardni nivo predstavlja nivo podzemne vode, se voda od tega nivoja vzpenja zahvaljujoč silam meniska in adsorptivnim silam, pri čemer se energija sprošča (Čirić, 1986).

Vezava vode na površino trdnih delcev povečuje matrični potencial, ki je vedno negativen, ker ima voda, ki jo talni matriks privlači, manjšo energijsko stopnjo kot čista voda (ti negativni pritiski so včasih imenovani privlak ali tenzija). Matrični potencial je prisoten v nenasičenih tleh nad vodno mejo. Matrični potencial je pomenben v vseh nenasičenih tleh, zaradi vedno prisotnih interakcij med vodo in trdno fazo tal. Premiki vode v tleh, njena dostopnost rastlinam in rešitve za veliko inženirskih problemov so pogojene v veliki meri ravno z matričnim potencialom. Matrični potencial je vsota adhezije in kapilarnosti, vpliva tako na talno vlago kot tudi na gibanje vode v tleh. Razlike med dvema matričnima potencialoma v dveh conah spodbujata premike vode iz vlažnih območij (velika energijska stopnja) k suhim področjem (majhna energijska stopnja) ali od velikih por k malim poram. Čeprav je to premikanje počasno, je velikega pomena še posebno kot zaloga rastlinam dostopne vode (Brady, 2002).

2.2.2.3 Osmotski potencial

Osmotski potencial Ψ_o nastane s prisotnostjo različnih snovi v talni raztopini. Njihova prisotnost zmanjšuje potencialno energijo vode, primarno zaradi zmanjšane prostosti gibanja vodnih molekul, ki se nahajajo okrog vsakega iona ali molekule snovi. Kot vedno se bo voda gibala tja, kjer bodo njene energijske vrednosti manjše, v tem primeru k območjem z večjo koncentracijo snovi. Kakorkoli že, tekoča voda se bo odzvala na razlike v osmotskem potencialu samo v primeru, če bo prisotna polprepustna membrana med cono velikega in majhnega osmotskega potenciala, prepuščajoč samo vodo, ne pa snovi. Če takšna membrana ne obstaja, se snov, raje kot voda, premakne tako, da se koncentracije izenačijo. Ker območja tal med seboj niso ločena s polprepustno membrano, ima osmotski potencial majhen učinek na gibanje vode v tleh. Velik učinek pa ima na srkanje vode korenin, katerih celice so ločene od talne raztopine s polprepustnimi celičnimi membranami (Brady, 2002).

2.2.3 Vsebnost vode in moč vezave v tleh

Po konceptu, ki je že dolgo vsesplošno priznan, je dostopnost vode za rastline predvsem odvisna od vodno fizikalnih lastnosti tal. S tega stališča so definirana nekatera karaktristična stanja vlažnosti tal, ki se razlikujejo glede na dostopnost rastlinskim koreninam. Prelomne točke teh karakterističnih stanj predstavljajo značilnosti posameznih tal - hidrološke konstante (Ćirić, 1986). Energija, s katero se zadržuje voda v tleh, se postopno zmanjšuje s povečanjem količine vode v tleh. Kot enota se uporablja 1000 cm vodnega stolpca, ki je približno enak pritisku 10^5 Pa (1 bar). Za poenostavitev izražanja pa se lahko kot enoto uporablja pF vrednost (p = potention; F = free energy). Na ta način se definirajo oblike vode v tleh za vnaprej določene mejne vrednosti pritiska. Tako na primer voda do vrednosti pF = 1,8 zelo hitro migrira v podtalje. Od vrednosti pF = 2,5 so gravitacijski pritiski izenačeni s silo vezanja na talne delce. Točko trajnega venenja označuje pF vrednost 4,2. Vodo, ki je vezana z večjo silo imenujemo higroskopska voda (Resulović, 1971; Finnern in sod., 1994). Zelo pomembna v kmetijski pridelavi je vrednost, ki leži nekje med vrednostima pF = 1,8 in pF = 2,5, in jo imenujemo poljska kapaciteta tal za vodo (količina vode, ki jo tla zadržijo). Razliko med stanjema pri pF = 4,2 in pF = 2,5 imenujemo rastlini dostopna voda (voda, ki jo rastline lahko srkajo) (Ruprecht, 1999). Izmerjene vrednosti je možno podajati tabelarično ali zaradi boljše predstavitve razlik med različnimi tlemi v grafični obliki, z volumskim % vode. V ta namen se izdelajo pF krivulje. Za izdelavo vodno zadrževalnih pF krivulj se običajno izvedejo meritve pri 0,1; 0,33; 0,66; 1; 2; 10 in 15 barih (Ruprecht, 1999).

2.2.4 Meritve vode v tleh

V agronomskih, hidroloških in ekoloških raziskavah narašča potreba po ugotavljanju količine vode v tleh. Poznamo direktne (neposredne) in indirektne (posredne) metode za ugotavljanje vode v tleh (Gardner, 1986). Razlikujejo se po zanesljivosti, po tem, kako hitro so rezultati meritev uporabniku na voljo, ali lahko meritve ponovimo, po območju meritev in glede na ceno metode (Zupanc in Pintar, 2001).

Neposredne metode; temeljijo na oblikah odstranitve oz. ločitve vode iz tal (Clarke Topp in Ferre, 2002), pri čemer neposredno izmerimo delež odstranjene vode. Ločitev največkrat dosežemo s segrevanjem vzorca pri 105°C vsaj 24 ur (Brady, 2002; Hillel, 1998; Zupanc in Pintar, 2001), ali 48 ur (Ruprecht, 1999) oziroma do konstantne mase. Na ta način dosežemo, da izhlapi vsa voda razen higroskopsko vezane, ki za poljedelstvo nima bistvenega pomena (Zupanc in Pintar, 2001). Ker gre za ugotavljanje na osnovi razlike mase, imenujemo to metodo tudi gravimetrična metoda.

Posredne metode merijo določeno fizikalno ali kemično lastnost tal, ki je v korelaciji s talno vodo. Te lastnosti vključujejo določitev dielektrične konstante tal, električne prevodnosti tal, toplotne kapacitete, magnetne dovzetnosti, itd. Posredne metode ne vplivajo na strukturo tal (je ne spreminjajo), do manjših sprememb pride v vzorcu le v okolici namestitve sonde ali elektrode. Ker omenjene fizikalne parametre v veliki meri obvladuje voda, predstavljajo po kalibraciji dobro merilo za vsebnost vode v tleh. Natančnost in točnost metod je v prvi vrsti odvisna od moči povezovalnega razmerja med merjeno količino in vsebnostjo vode (Clarke Topp in Ferre, 2002).

Vsebnost vode v tleh izražamo z maso vode v tleh (Ruprecht, 1999). Podajamo jo lahko na dva načina: 1. kot razmerje med maso vode in maso trdnega dela tal (masni delež), ali pa kot razmerje med volumnom vode in skupnim volumnom neporušenega vzorca tal (volumski delež). Volumski delež vode lahko ugotavljamo iz neporušenih vzorcev ali s preračunavanjem preko gostote tal (ρ_b). (Ruprecht, 1999). Najpogostejša metoda za določanje gostote tal je določanje s Kopeckijevimi cilindri.

Na količino vode v tleh vpliva tudi gostota trdne faze tal (ρ_t) in poroznost (P). Gostota trdne faze tal je povprečna gostota vseh organskih in mineralnih delcev tal podana v g/cm^3 in izmerjena v suhem stanju (105°C) (Resulovič, 1971). Celokupna poroznost je definirana kot volumen vseh praznin na volumsko enoto neporušenih tal. Uporablja se tudi izraz volumen por v tleh. Volumen por je zelo spremenljiv predvsem v talnih horizontih, ki se vsakoletno obdelujejo. V talnem profilu se, običajno z globino, poroznost zmanjšuje, razen v iluvialnih tleh zaradi posebnih pedogenetskih procesov (Ruprecht, 1999).

2.2.5 Modeliranje vodno zadrževalnih lastnosti tal

Veliko raziskovalcev se je ukvarjalo z iskanjem čim bolj preprostih, a še vedno dovolj natančnih modelov za določanje desorpcijskih lastnosti tal.

Model Saxton: Saxton in sodelavci so leta 1987 izdelali model desorpcijske krivulje, ki jo določamo na osnovi podatkov o deležu peska in gline v tleh. Del desorpcijske krivulje, to je med točko venenja pF 4,2 in nasičenimi tlemi pF 0, so določili z nelinearno regresijsko zvezo na osnovi masnega deleža peska in gline v talnem vzorcu. Izdelali so tudi svoj teksturni trikotnik za modeliranje hidravličnih lastnosti tal.

Model Campbell: Campbell je enako kot Saxton uporabil matematično formulacijo nelinearne regresijske zveze za desorpcijsko krivuljo, pri čemer je v modeliranje vključil poleg mas. % peska in % gline še % melja. Za osnovo parametrov modeliranja je uporabil predpostavko, da so talni delci po velikosti porazdeljeni log-normalno. Tako lahko vsako kombinacijo peska, melja in gline iz teksturnega trikotnika prikažemo z geometrijsko srednjo vrednostjo in geometrijsko standardno deviacijo. Pomemben pa je premer talnega delca.

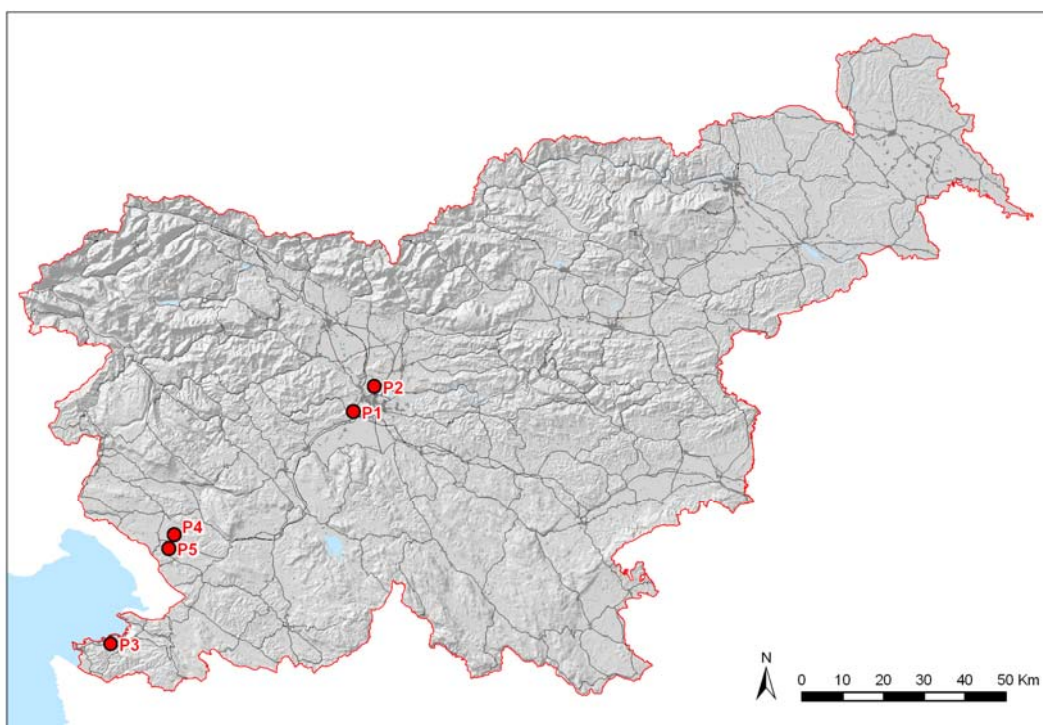
Model na osnovi van Genuchtenovih parametrov: Genuchten (1980) je izdelal na osnovi meritev parametrizirano analitično obliko desorpcijske krivulje (volumska vodna vsebnost in rezidualna volumska vsebnost). Modelu je dodal dodaten parameter, ki vključuje poleg teksture tudi strukturo tal.

Modeliranje desorpcijskih lastnosti tal na osnovi tabelarnih vrednosti po Finnernu: Finnernov model ima tabelarične vrednosti desorpcijskih lastnosti tal, ki vključujejo teksturo (30 teksturnih kombinacij) in konzistenco tal. Poleg osnovnih parametrov kot so: kapaciteta tal za zrak, rastlinam dostopna voda in poljska kapaciteta tal za vodo vsebuje še dodatne tabelarične vrednosti za korekcije dobljenih desorpcijskih vrednosti glede na vsebnost humusa in vsebnost grobega skeleta (Ruprecht, 1999).

3 MATERIALI IN METODE

3.1 IZBOR VZORČNIH LOKACIJ IN IZKOP TALNIH PROFILOV

Izbrali smo pet različnih vrst tal, ki se med seboj razlikujejo v matični podlagi, globini in drugih lastnostih: obrečna tla na finih aluvijalnih nanosih, obrečna tla na produ, evtrična rjava tla na flišu, rdeče rjava tla (terra rossa) in rjava pokarbonatna tla. Njihovo razporejenost kaže slika 1.



Slika 1: Slovenija in lokacije izkopanih talnih profilov (P1 – Razori pri Ljubljani, P2 – Savlje v Ljubljani, P3 – Baredi nad Izolo, P4 – Kras med Avberjem in Dobravljami in P5 – okolica Križa na Krasu)

Na izbranih lokacijah smo izkopali talne profile (Slike 2 – 6) do matične podlage (izjema profil št. 4, kjer so bila tla zelo globoka in smo izkopali do 90 cm), prepoznali talne horizonte, jih označili, opisali po standardnem pedološkem postopku in poimenovali po world reference base (WRB) slovenski klasifikaciji (Kralj, 2008). Iz vsakega horizonta smo vzeli porušen vzorec tal za fizikalno kemijske analize ter neporušen vzorec za ugotavljanje volumske gostote tal s kopecky cilindri.

3.1.1 Razori pri Ljubljani

Talni profil na peščeno prodnatem aluviju prikazuje slika 2, v preglednici 1 pa so prikazani podatki o splošnih talnih lastnostih tega profila.



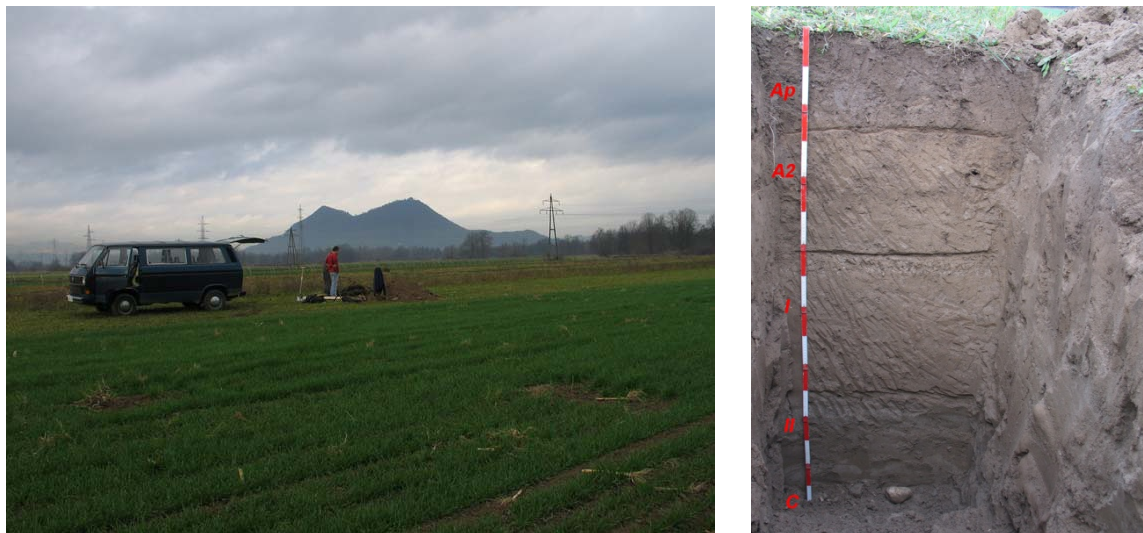
Slika 2: Lokacija in talni profil iz Razorov pri Ljubljani na peščeno prodnatem aluviju Gradaščice in Horjulščice (foto: T. Kralj)

Preglednica 1: Podatki o lokaciji talnega profila Razori pri Ljubljani in splošnih talnih lastnostih opisanih na terenu

Podatki o profilu	
Datum opisa	5.12.2006
Opisovalci	J. Rupreht, V. Šijanec, T. Kralj
Lokacija	Ob Gradaščici, Razori pri Ljubljani
Koordinate D48 (y, x)	457163, 100599
Nadmorska višina (m)	300
Naklon (°)	0
Ekspozicija	Ni
Makro relief	Kotlina
Mikro relief	Dolina
Oblika pobočja v vertikalni in horizontalni smeri	Ni
Oblika površine na mikrolokaciji	Ravna
Raba tal	Njiva
Matična podlaga	Peščen aluvij Gradaščice
Prepuštnost tal za vodo	Zelo dobra
Dostopnost vode za glavne rastlinske vrste	Zadostna
Nasičenost tal z vodo	Nasičena nekaj dni v letu
Površinski vodni tokovi	Voda zastaja
Poplave	Ni
Podzemna voda	Ni opaziti
Površinska skalovitost in kamnitost	Ni
Erozija	Ni
Potencialni viri onesnaženja	Intenzivna vrtnarska raba

3.1.2 Savlje v Ljubljani

Drugi talni profil nam prikazuje slika 3, preglednica 2 pa prikazuje talne lastnosti drugega profila.



Slika 3: Lokacija in profil na peščeno prodnatem nanosu Save v Savljah v Ljubljani (foto: T. Kralj)

Preglednica 2: Podatki o lokaciji talnega profila Savlje v Ljubljani in splošnih talnih lastnostih opisanih na terenu

Podatki o profilu	
Datum opisa	7. 12. 2006
Opisovalci	J. Rupreht, V. Šijanec, T. Kralj
Lokacija	Severno od Savelj, med Savljami in Savo
Koordinate D48 (y, x)	462334, 106683
Nadmorska višina (m)	294
Naklon (°)	0
Ekspozicija	Ni
Makro relief	Kotlina
Mikro relief	Ravnina
Oblika pobočja v vertikalni in horizontalni smeri	Ni
Oblika površine na mikrolokaciji	Ravna
Raba tal	Njiva
Matična podlaga	Peščen aluvialni nanos reke Save
Prepustnost tal za vodo	Dobra
Dostopnost vode za glavne rastlinske vrste	Zadostna
Nasičenost tal z vodo	Nekaj dni v letu
Površinski vodni tokovi	Zastaja
Poplave	Ni
Podzemna voda	Zelo globoko, ni opaziti
Površinska skalovitost in kamnitost	Ni
Erozija	Ni
Potencialni viri onesnaženja	Intenzivna poljedeljska raba

3.1.3 Baredi nad Izolo

Tretji talni profil nam prikazuje slika 4, v preglednic številka 3 pa so prikazane talne lastnosti profila 3.



Slika 4: Lokacija in talni profil iz Baredov nad Izolo, na vrhu flišnatega pobočja (foto: T. Kralj)

Preglednica 3: Podatki o lokaciji talnega profila Baredi nad Izolo in splošnih talnih lastnostih opisanih na terenu

Podatki o profilu	
Datum opisa	14. 04. 2007
Opisovalci	J. Rupreht, V. Šijanec, T. Kralj
Lokacija	Baredi nad Izolo
Koordinate D48 (y, x)	397714, 043467
Nadmorska višina (m)	252
Naklon (°)	0
Ekspozicija	Ni
Makro relief	Gričevje
Mikro relief	Vrh hriba, na robu
Oblika pobočja v vertikalni in horizontalni smeri	Ni
Oblika površine na mikrolokaciji	Ravna
Vpliv človeka	Izravnavanje površine, rob poti
Raba tal	Rob sadovnjaka, ki se ne kosi
Vegetacija (vrste in pokritost površine %)	Trave in zeli
Matična podlaga	Fliš
Prepustnost tal za vodo	Srednje dobro prepustna
Dostopnost vode za glavne rastlinske vrste	Nezadostna
Nasičenost tal z vodo	Nekaj dni v letu
Površinski vodni tokovi	Počasi odteka
Poplave	Ni
Podzemna voda	Ni
Površinska skalovitost in kamnitost	Ni
Erozija	Ni
Potencialni viri onesnaženja	Intenzivna kmetijska (sadjarska) raba

3.1.4 Kras med Avberjem in Dobravljami

Talni profil številka 4 nam prikazuje slika 5, v preglednici 4 pa so prikazani podatki o splošnih talnih lastnostih tega profila.



Slika 5: Lokacija in talni profil iz okolice Dobravelj v spodnjem delu pobočja večje vrtače, kjer poteka izkopavanje terra rosse za potrebe urejanja novih vinogradov (foto: T. Kralj)

Preglednica 4: Podatki o lokaciji talnega profila iz okolice Dobravelj in splošnih talnih lastnostih opisanih na terenu

Podatki o profilu	
Datum opisa	12. 6. 2007
Opisovalci	J. Rupreht, V. Šijanec, T. Kralj
Lokacija	Med Avberjem in Dobravljami na Krasu
Koordinate D48 (y, x)	413169, 70204
Nadmorska višina (m)	317
Naklon (°)	35
Ekspozicija	Jug
Makro relief	Plato
Mikro relief	Spodnji rob pobočja večje vrtače
Oblika pobočja v vertikalni in horizontalni smeri	Naravnost konkavna
Oblika površine na mikrolokaciji	Enakomerna
Raba tal	Ekstenzivni travnik, delno že v zaraščanju
Vpliv človeka	Izkopavanje zemljine za potrebe urejanja vinogradov
Matična podlaga	Apnenec
Prepustnost tal za vodo	Srednje dobro prepustna
Dostopnost vode za glavne rastlinske vrste	Nezadostna
Nasičenost tal z vodo	Redko nasičena, nekaj dni v letu
Površinski vodni tokovi	Zmerno deroč odtok
Poplave	Ni
Podzemna voda	Ni
Površinska skalovitost in kamnitost	Ni
Erozija	Ni
Potencialni viri onesnaženja	Promet

3.1.5 Okolica Križa na Krasu

Peti talni profil iz okolice Križa na Krasu nam prikazuje slika 6, v preglednici 5 pa imamo podane podatke o splošnih talnih lastnostih tega profila.



Slika 6: Lokacija in talni profil iz Križa na Krasu (foto: T. Kralj)

Preglednica 5: Podatki o lokaciji talnega profila iz okolice Križa na Krasu in splošnih talnih lastnostih opisanih na terenu

Podatki o profilu	
Datum opisa	12. 6. 2007
Opisovalci	J. Rupreht, V. Šijanec, T. Kralj
Lokacija	Na vzhodni strani naselja Križ na Krasu
Koordinate D48 (y, x)	411878, 66729
Nadmorska višina (m)	317
Naklon (°)	2
Ekspozicija	JZ
Makro relief	Plato
Mikro relief	Ravnina
Oblika pobočja v vertikalni in horizontalni smeri	Konveksno konveksno
Oblika površine na mikrolokaciji	Valovita
Raba tal	1 kosni travnik
Vpliv človeka	Agromeliorirano v preteklosti
Matična podlaga	Apnenec
Prepustnost tal za vodo	Prekomerno odcedna tla
Dostopnost vode za glavne rastlinske vrste	Nezadostna
Nasičenost tal z vodo	Redko nasičena
Površinski vodni tokovi	Počasi odteka
Poplave	Ni
Podzemna voda	Ni
Površinska skalovitost in kamnitost	Ni, v preteklosti odstranjeno
Erozija	Ni
Potencialni viri onesnaženja	Bližina naselja, promet

3.2 ANALITSKE METODE

3.2.1 Osnovne fizikalno kemijske analize tal

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 nekoliko modificirani metodi standarda (ISO 11277, 1998). Odstranjevali smo organsko snov, karbonatov nismo odstranjevali.
- Volumsko gostoto smo določali po standardu (ISO 11272, 1993).
- Kislost tal smo določali po standardu (ISO 10390, 1994).
- Vsebnost karbonatov smo določali po standu (ISO 10693, 1994).
- Določanje organskega in celokupnega ogljika smo določali po standardu (ISO 10694, 1995). Uporabljena je posredna metoda.
- Celokupni dušik smo določali po standardu (ISO 13878, 1998).
- K in Na smo določali z atomsko emesijsko spektrometrijo (AES), ostale katione pa smo določali z atomsko absorpcijsko spektrometrijo (AAS). Izmenljivo kislost smo določali kot vsoto izmenljivih kislih kationov.

3.2.2 Določevanje vodno zadrževalnih lastnosti tal

Vodno zadrževalne lastnosti tal smo določevali z uporabo visokotlačne komore, s katero lahko iz vzorcev iztiskamo vodo pri izbranih tlakih od 0,05 do 15 barov. Sestavni deli komore so zračni kompresor, filter za čiščenje zraka, regulator tlaka, merilec tlaka, keramična plošča, plastični obročki, visokotlačna komora in izhodna cev za vodo (slika 7). Postopek, ki smo se ga držali pri izvedbi naloge in je v uporabi v laboratoriju Centra za pedologijo in varstvo okolja, odstopa od standarda ISO 11274, 1998 v naslednjih podrobnostih: vsebnost vode določamo v porušenih (nasutih) talnih vzorcih, ki so predhodno pripravljene po standardnem postopku (ISO/DIS 11464), uporabljamo deionizirano vodo, dolžino časa v visokotlačni komori določamo na osnovi opazovanja izteka vode na iztočni cevi in ne s tehtanjem do konstantne mase.

Postopek meritve: Zatehtamo približno 20 g porušenega vzorca tal in ga vsujemo na keramično ploščo znotraj posameznega obročka (v treh ponovitvah). Vzorce nato omočimo tako, da počasi dodajamo deionizirano vodo na keramično ploščo, dokler se na površini vzorcev ne prikaže tanek film vode (24-48 ur). Keramično ploščo nato vstavimo v visokotlačno komoro in jo dobro zapremo. Nato nastavimo izbrani tlak (0.1 bar, 0.33 bar, 0.66 bar, 1 bar, 2 bar, 5 bar, 10 bar, 15 bar) in pustimo dokler izteka voda iz odtočnih cevk (vse meritve smo izvajali v treh ponovitvah). Nato vzorce vzamemo iz posode, stehtamo, posušimo na 105°C in ponovno stehtamo. Razlika v masi je količina vode v vzorcu.

Količino vode pri matričnem potencialu 0 (točka nasičenosti), smo določevali tako, da smo vzorce po navlaževanju takoj stehtali in jih prenesli v peč (brez odcejanja). Da bi preprečili izgubo vzorca iz obročkov in prenašanje le teh, smo pod obročke namestili filter papir. Kjer nismo imeli merjenega podatka za gostoto tal smo za gostoto tal vzeli podatek od horizonta, ki se je nahajal pred ali za horizontom brez podatka za gostoto tal.



Slika 7: Komora za določevanje vodno zadrževalnih lastnosti tal

3.2.3 Formula za preračunavanje masnih odstotkov tal v volumske odstotke tal

Volumski odstotek vode smo izračunali s pomočjo formule 1, ki upošteva masne odstotke vode v tleh in gostoto tal.

$$W = w \times \left(\frac{\rho_b}{\rho_{vode}} \right) \quad \dots(1)$$

ρ_b = volumska gostota tal [cm^3/cm^3]

w = masni odstotek vode [%]

W = volumski odstotek vode [%]

$\rho_{vode} = 1 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$

3.2.4 Izračun skupne kapacitete tal za vodo

Izračunali smo poljsko kapaciteto in rastlinam dostopno vodo posameznega profila do globine 1 m (na m^3 tal). Na ta način smo želeli pridobiti podatek za primerjavo preiskovanih tal ter oceniti potencialno zalogo vode v tleh. Tudi v primeru, da je globina profila presegala 1 m, smo upoštevali samo podatke do izbrane globine. V nasprotnem primeru, če so bila tla plitvejša, smo za razliko do globine 100 cm vzeli, da je kapaciteta tal za vodo nič. Pri profilu 5 (okolica Križa na Krasu), kjer smo ugotovili veliko variabilnost v globini tal, smo vzeli povprečno globino tal, ki smo jo določili na osnovi sondiranja.

3.2.5 Formula za izračun skupne kapacitete tal za vodo in skupne količine rastlinam dostopne vode v talnem profilu do globine enega metra.

Da smo PK in RDV posameznega horizonta smo izračunali po formuli 2 in 4, skupno PK in RDV do globine enega metra pa smo izračunali po formuli 3 in 5.

$$PK_{hz} = a \times b \times D_{hz} \times \frac{PK(i)_{hz}}{100} \quad \dots(2)$$

$$PK_s = \sum_1^n PK_{hz} \quad \dots(3)$$

$$RDV_{hz} = a \times b \times D_{hz} \times \frac{RDV(i)_{hz}}{100} \quad \dots(4)$$

$$RDV_s = \sum_1^n RDV_{hz} \quad \dots(5)$$

a = 100 cm

b = 100 cm

PK_{hz} = količina vode ki jo tla zadržijo, v debelini posameznega talnega horizonta

RDV_{hz} = količina vode ki jo tla zadržijo, v debelini posameznega talnega horizonta

D_{hz} = Debelina posameznega horizonta [cm]

PK(i)_{hz} = Izmerjena PK horizonta [%]

RDV(i)_{hz} = Izračunana RDV [%]

PK_s = skupna PK tal

RDV_s = skupna RDV tal

n = število horizontov

Rezultat dobimo v cm³ in ga preračunamo v m³.

3.3 TEST MODIFICIRANIH OBROČKOV

Zaradi režav pri prenašanju vzorcev, smo želeli preveriti možnost uporabe modificiranih obročkov z vstavljenjo mrežico na spodnji strani obročkov (slika 8). Modificirane obročke smo naredili tako, da smo vzeli dve plastični cevi (eno s premerom 5 cm in drugo s premerom 4,7cm) in jih razrezali na enako široke obroče. Nato smo na vsak ožji obroč namestili tri sloje mreže (zelo drobne) in jo pričvrstili, tako da smo ožji obroč vstavili v širši obroč in jih na vrhu premazali z silikonsko maso. Razlika med modificiranimi obročki in standardnimi je prikazana na sliki 8.



Slika 8: Primer modificiranih obročkov (levo) in standardnih obročkov (desno)

Modificirane obročke smo nato primerjali s standardnimi obročki. V poskus smo vključili tri vzorce, ki smo jim določevali vodno zadrževalne lastnosti tal pri tlakih 0.1 bar, 0.33 bar, 0.66 bar, 1 bar, 2 bar, 5 bar, 10 bar, 15 bar v standardnih in modificiranih obročkih. Vsako meritev smo izvedli v treh ponovitvah.

3.4 STATISTIČNE METODE

Za statistično analizo smo uporabili program Statgraphics plus 5,1. Za primerjavo standardnih in modificiranih obročkov smo uporabili analizo variance za slučajne bloke s ponovitvami pri 5 % tveganju. Poiskali smo povezave med izbranimi talnimi lastnostmi in poljsko kapaciteto in točko venenja ter z metodo multiple regresije izračunali model, s katerim bi lahko na osnovi poznanih talnih lastnosti izračunali poljsko kapaciteto tal ter točko venenja.

3.5 TESTIRANJE OBSTOJEČIH MODELOV ZA NAPOVEDOVANJE DESORPCIJSKIH LASTNOSTI TAL

Izbrali smo model Saxton in Finnern, ki sta enostavna za uporabo in ne potrebujeata posebnih programskih orodij.

Za uporabo Saxtonovega modela smo uporabili internetno aplikacijo (Slika 9). Saxtonov model upošteva podatke o teksturi tal (vsebnost peska in vsebnost gline) ter nam prikaže rezultate o rastlinam dostopni vodi, točki venenja, poljski kapaciteti in volumski gostoti izbranih tal.

Soil Hydraulic Properties based on the U.S. Texture Triangle

Use this worktable to see the impact of soil texture on hydraulic properties.

Enter values for percent sand and percent clay and click on [Calculate] to obtain the soil hydraulic properties. Hydraulic properties values are only available for the **shaded area** as shown in the Canadian texture triangle. Therefore, hydraulic properties may not be available for all your input values.

Percent Sand	0	0	0
Percent Clay	0	0	0
	Calculate	Calculate	Calculate
Percent Silt			
Texture (US System)			
Bulk density (g/cm ³)			
Saturated hydraulic conductivity (cm/hr)			
Saturation (cm ³ water/cm ³ soil)			
Field capacity (cm ³ water/cm ³ soil)			
Wilting point (cm ³ water/cm ³ soil)			
Plant Available water (cm ³ water/cm ³ soil)			
(inches water/foot soil)			

[See Texture Triangle]

Slika 9: Internetna aplikacija Saxtonovega modela (Pedosphere.com, 2009)

Finnernov model ima tabelarične vrednosti za vodno zadrževalne lastnosti tal, ki vključujejo teksturo (30 teksturnih kombinacij) in konzistenco tal. Poleg osnovnih parametrov kot so: kapaciteta tal za zrak, rastlinam dostopna voda in poljska kapaciteta tal za vodo, vsebuje še dodatne tabelarične vrednosti za korekcije dobljenih vodno zadrževalnih rezultatov glede na vsebnost humusa in vsebnost grobega skeleta (Ruprecht, 1999).

4 REZULTATI

4.1 TESTIRANJE UPORABE MODIFICIRANIH OBROČKOV PRI MERITVAH VODNO ZADRŽEVALNIH LASTNOSTI V VISOKOTLAČNI KOMORI

Volumske odstotke vode, za tri izbrane vzorce, merjene pri osmih različnih tlakih, v treh ponovitvah s standardnimi in modificiranimi obročki kažeta preglednici 6 in 7.

Preglednica 6: Vodno zadrževalne lastnosti tal merjene s standardnimi obročki, količina vode (vol %) ki jo tla zadržijo pri različnem matričnem potencialu

	OZN. VZOR. (PON.)	vol. % vode							
		0,0 bar	0,1 bar	0,33 bar	1,0 bar	2,0 bar	5,0 bar	10,0 bar	15,0 bar
547/07/1/1 Ap	1	16,79	31,68	27,16	20,14	16,56	12,33	9,57	9,49
	2	16,56	31,5	27,13	20,15	16,63	12,21	9,56	9,46
	3	16,83	31,82	26,92	20,22	16,58	12,23	9,51	9,32
pov vol. % vode		16,73	31,66	27,07	20,17	16,59	12,26	9,55	9,42
548/07/1/1 A2	1	4,3	23,65	12,66	8,21	4,79	3,18	2,5	2,43
	2	4,29	24,62	11,93	8,22	4,65	3,21	2,44	2,51
	3	4,23	24,91	12,41	8,33	4,64	3,18	2,51	2,5
pov vol. % vode		4,28	24,39	12,34	8,25	4,69	3,19	2,49	2,48
549/07/1/1 A3	1	15,41	31,17	25,81	19,74	15,79	12,24	9,66	9,85
	2	15,63	31,26	25,36	19,99	15,81	12,11	9,73	9,84
	3	15,66	31,23	25,95	19,47	15,89	11,85	9,66	9,68

Preglednica 7: Vodno zadrževalne lastnosti merjene z modificiranimi obročki, količina vode (vol %) ki jo tla zadržijo pri različnem matričnem potencialu

	OZN. VZOR. (PON.)	vol. % vode							
		0,0 bar	0,1 bar	0,33 bar	1,0 bar	2,0 bar	5,0 bar	10,0 bar	15,0 bar
547/07/1/1 Ap	1	60,64	37,12	31,41	26,04	20,23	16,67	14,36	12,01
	2	56,32	34,83	29,22	24,01	19,31	16,18	13,90	11,48
	3	58,70	36,02	30,53	26,41	21,38	18,26	15,74	13,38
pov vol. % vode		58,55	35,99	30,39	25,49	20,31	17,04	14,67	12,29
548/07/1/1 A2	1	51,06	29,18	26,24	22,23	11,65	7,12	4,92	2,93
	2	52,65	26,82	25,91	24,31	15,56	8,04	6,05	4,26
	3	52,31	28,47	18,33	16,78	8,85	8,00	6,21	4,35
pov vol. % vode		52,01	28,16	23,49	21,11	12,02	7,72	5,73	3,85
549/07/1/1 A3	1	51,50	33,65	28,11	22,85	17,76	15,14	13,64	11,72
	2	54,80	34,47	28,86	22,76	17,55	14,81	12,84	10,86
	3	53,90	34,39	28,57	24,06	19,60	16,98	14,75	12,73
pov vol. % vode		53,40	34,17	28,51	23,22	18,30	15,64	13,74	11,77

Kot kažejo rezultati v preglednici 6 in 7, dajejo modificirani obročki sistematično večje rezultate kot standardni obročki. Razlika je povsod statistično značilna ($p < 0,05$) pri 95 % stopnji zaupanja.

4.2 PEDOLOŠKE LASTNOSTI IN SPOSOBNOST IZBRANIH TAL ZA ZADRŽEVANJE VODE

4.2.1 Lastnosti posameznih profilov

V nadaljevanju opisujemo pedološke lastnosti in vodno zadrževalne lastnosti za vsak profil. Vodno zadrževalne lastnosti so prikazane s krivuljami, medtem ko so posamezne meritve vode v tleh (ponovitve in povprečja) za vse vzorce so zbrane v prilogah A, B, C, D, E.

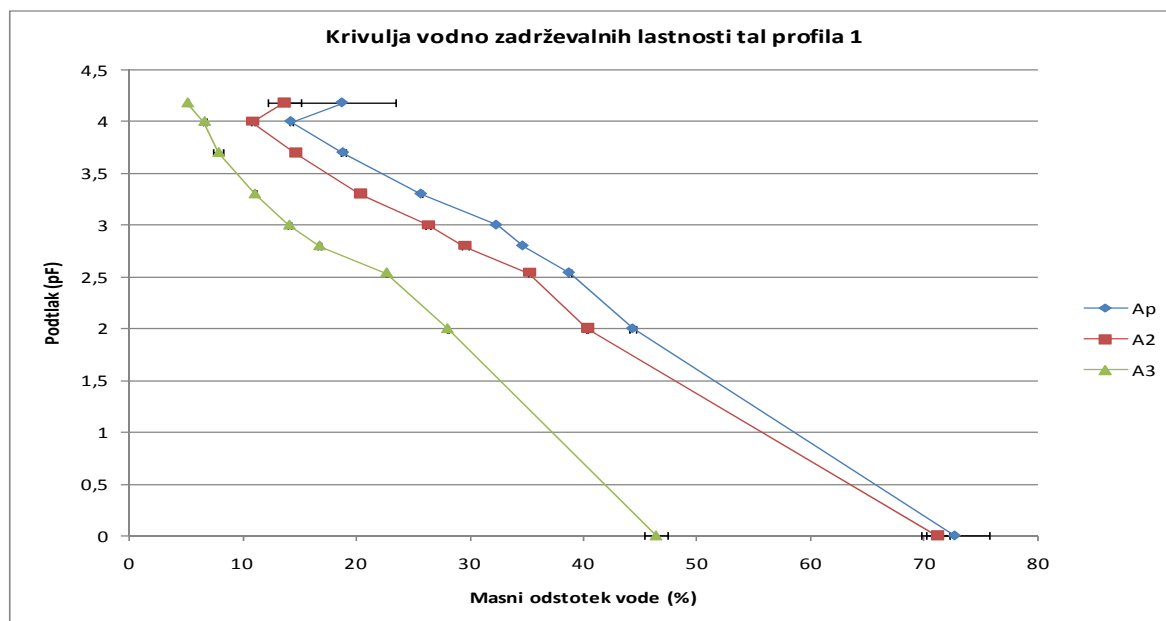
4.2.1.1 Profil 1: Razori pri Ljubljani

Izkop talnega profila je pokazal, da je matična podlaga fini aluvijalni nanos Gradašnice in Horjulšice. Tla so globoka (preko 70 cm), neoglejena in neskeletna. Kemijske analize (preglednica 8) so potrdile, da so tla evtrična, pH vrednost je od 7,1 do 7,3. Določili smo tri horizonte: Ap (0-27 cm), A2 (28-52) cm in Bv (53-71 cm). Organska snov in vsebnost glin z globino upadata. V zgornjem obdelovalnem sloju je 4 % organske snovi in 16 % glin, v spodnjem mineralnem pa 0,5 % organske snovi in 9,2 % glin.

Preglednica 8: Analitski podatki tal v profilu Razori pri Ljubljani

Razori pri Ljubljani (Ø1)													
Št. hor.	Ozn. hor.	Globina (cm)	CaCO ₃ (%)	P ₂ O ₅ (mg/100g tal)	K ₂ O (mg/100g tal)	OS (%)	C org. (%)	C/N	N skup. (%)	Pesek (%)	Melj (%)	Glina (%)	Tekst. raz.
H1	Ap	0-27	/	15,9	12,4	4	2,3	9,6	0,24	21,4	62,5	16,1	MI
H2	A2	28-52	/	1,4	4,2	2	1,2	8,6	0,14	30,1	57,1	12,8	MI
H3	A3	53-71	/	0,2	2,8	0,5	0,3	5	0,06	57,2	33,6	9,2	PI
H4	C	72-85+	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Št. hor.	Ozn. Hor.	Globina (cm)	Ca	Mg	K	Na	H	S	T	V (%)	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	ρ _b (kg/m ³)
(mmolc/100 g tal)													
H1	Ap	0-27	11,42	4,16	0,3	0,08	2,35	16	18,4	87	/	7,1	1,3
H2	A2	28-52	9,42	3,43	0,09	0,08	1,85	13	14,9	87,2	/	7,2	1,32
H3	A3	53-71	6,13	2,62	0,05	0,06	0,6	8,9	9,5	93,7	/	7,3	1,52
H4	C	72-85+	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

Največjo količino vode smo pri vseh tlakih izmerili za zgornji horizont. Poljska kapaciteta v zgornjem horizontu je bila 57,64 vol. %, točka venenja 24,43 vol. % in rastlinam dostopna voda 33,21 vol. %. V spodnjem horizontu tal je bila poljska kapaciteta 42,64 vol. %, točka venenja 7,85 vol. % in rastlinam dostopna voda 34,79 vol. %. Skupna poljska kapaciteta tal (do globine enega metra) je 0,369 m³/m³ oziroma 369 mm, rastlinam dostopne vode pa je 0,244 m³/m³ oziroma 244 mm.



Slika 10: Vodno zadrževalne lastnosti talnih horizontov profila Razori pri Ljubljani, prikazana so povprečja treh ponovitev in standardna deviacija

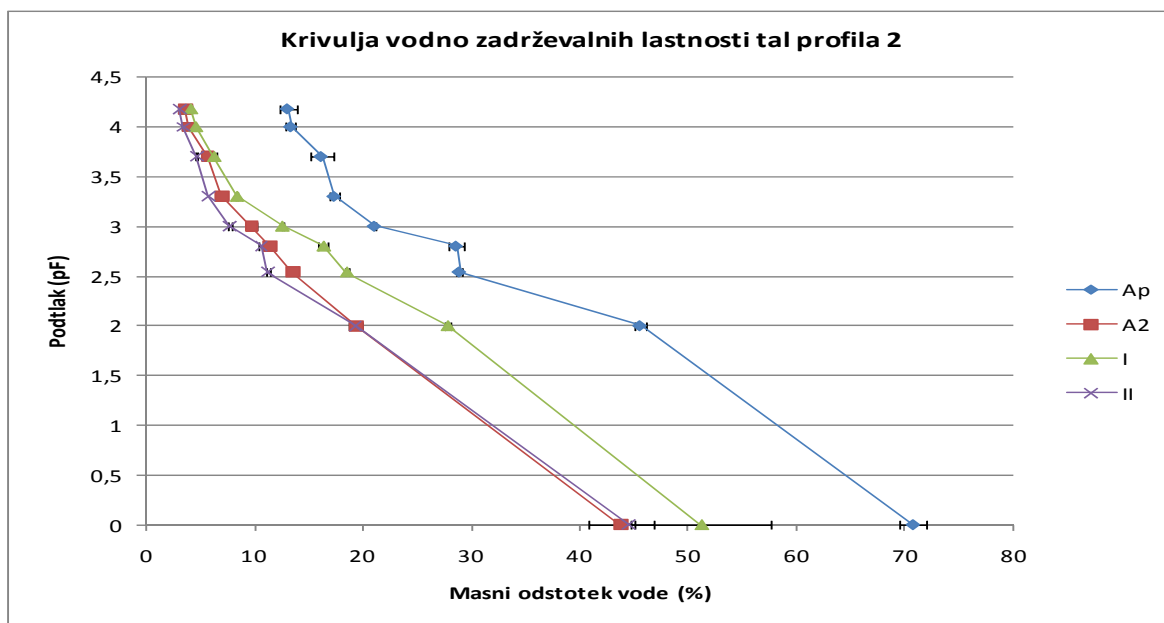
4.2.1.2 Profil 2: Savlje v Ljubljani

Izkop talnega profila je pokazal, da je matična podlaga peščeno prodnat nanos Save. Tla so globoka (preko 1 m), neoglejena in neskeletna. Kemijske analize (preglednica 9) so potrdile, da so tla evtrična, pH vrednost je od 7,0 do 7,6. Določili smo štiri horizonte: Ap (0-27 cm), A2 (28-62 cm), I (63-110 cm) in II (111-150 cm). Organska snov z globino upada, vsebnost glin pa se v tretjem horizontu poveča (glede na drugi horizont) nato pa se zopet zmanjša. V zgornjem obdelovalnem sloju je 5,2 % organske snovi in 9,1 % glin, v spodnjem mineralnem sloju pa 0,2 % organske snovi in 4,5 % glin.

Preglednica 9: Analitski podatki tal v profilu Savlje v Ljubljani

Savlje v Ljubljani (Ø2)													
Št. hor.	Ozn. hor.	Globina (cm)	CaCO ₃ (%)	P ₂ O ₅	K ₂ O	OS (%)	C org. (%)	C/N	N skup. (%)	Pesek (%)	Melj (%)	Glina (%)	Tek. raz.
				(mg/100g tal)									
H1	Ap	0-27	/	2,2	8,1	5,2	3	9,7	0,31	44,4	46,5	9,1	I
H2	A2	28-62	/	1,1	3,5	0,8	0,5	8,3	0,06	68,6	24,6	6,8	PI
H3	I	63-110	/	0,1	3	0,6	0,3	6	0,05	50,3	41,8	7,9	PI-I
H4	II	111-150	/	0,1	2,5	0,2	0,1	3,3	0,03	76,1	19,4	4,5	IP-PI
Št. Hor	Ozn. Hor.	Globina (cm)	Ca	Mg	K	Na	H	S	T	V (%)	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	ρ _b (kg/m ³)
				(mmolc/100 g tal)									
H1	Ap	0-27	19,33	2,06	0,18	0,1	1,85	21,7	23,6	91,9	/	7	1,2
H2	A2	28-62	17,52	0,69	0,07	0,08	/	18,4	/	/	/	7,3	1,32
H3	I	63-110	19,5	0,9	0,05	0,07	/	20,5	/	/	/	7,5	1,48
H4	II	111-150	18,19	0,69	0,05	0,07	/	19	/	/	/	7,6	1,34

Največjo količino vode smo pri vseh tlakih izmerili za zgornji horizont. Poljska kapaciteta v zgornjem horizontu je bila 54,85 vol. %, točka venenja 15,74 vol. % in rastlinam dostopna voda 39,11 vol. %. V tretjem horizontu tal je bila poljska kapaciteta 40,95 vol. %, točka venenja 6,06 vol. % in rastlinam dostopna voda 34,88 vol. %. Skupna poljska kapaciteta tal (do globine 1 m) je $0,393 \text{ m}^3/\text{m}^3$ oziroma 393 mm, rastlinam dostopne vode pa je $0,311 \text{ m}^3/\text{m}^3$ oziroma 311 mm.



Slika 11: Vodno zadrževalne lastnosti talnih horizontov profila Savlje v Ljubljani, prikazana so povprečja treh ponovitev in standardna deviacija

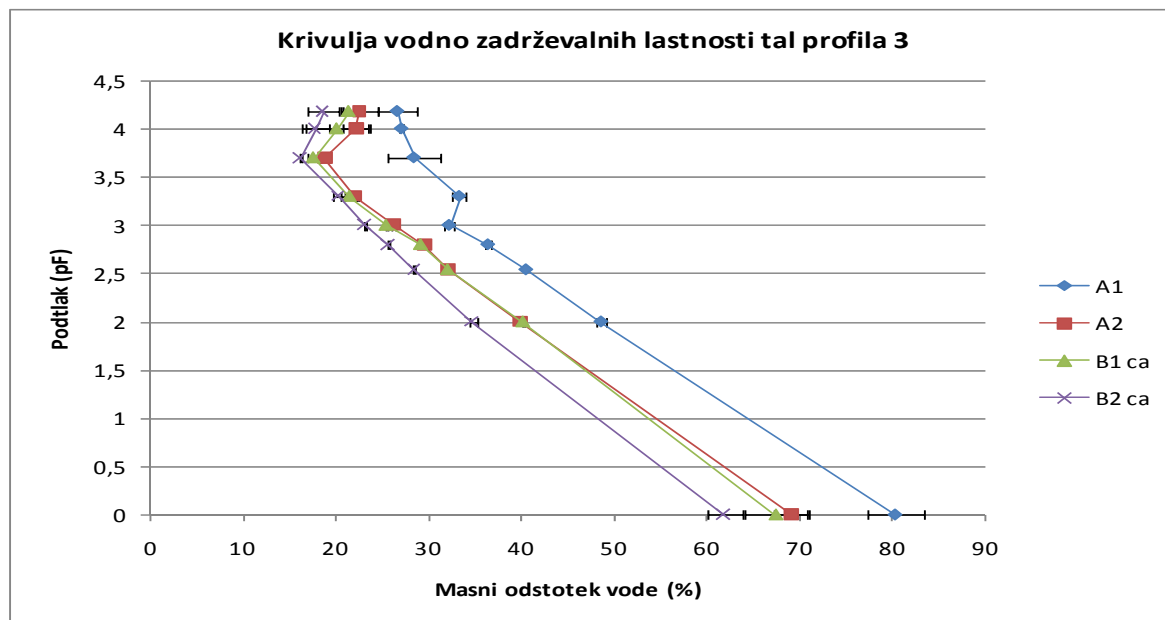
4.2.1.3 Profil 3: Baredi nad Izolo

Izkop talnega profila je pokazal, da je matična podlaga fliš. Tla so globoka (preko 1 m), karbonatna in malo skeletna (izjema horizont Ab, ki je neskeleten). Kemijska analiza (preglednica 10) je pokazala, da so tla evtrična (delež bazičnih kationov > 90 %), pH vrednost je od 7,1 do 7,6. Določili smo štiri horizonte: A1 (0-7 cm), A2 (8-25 cm), B1_{Ca} (26-64) in B2_{Ca} (65-101). Organska snov z globino upada, vsebnost gline pa je najmanjša v zgornjem horizontu, v vseh ostalih horizontih je večja, največ je v tretjem horizontu. V zgornjem obdelovalnem sloju je 6,7 % organske snovi in 17,5 % gline, v spodnjem mineralnem sloju pa je 0,7 % organske snovi in 25,5 % gline.

Preglednica 10: Analitski podatki tal v profilu Baredi nad Izolo

Baredi nad Izolo (Ø3)													
Št. hor.	Ozn. hor.	Globina (cm)	CaCO ₃ (%)	P ₂ O ₅ (mg/100g tal)	K ₂ O (mg/100g tal)	OS (%)	C org. (%)	C/N	N skup. (%)	Pesek (%)	Melj (%)	Glina (%)	Tek. Raz.
H1	A1	0-7	/	1,7	24,2	6,7	3,9	13,4	0,29	25,5	49,9	17,5	MI
H2	A2	8-25	/	0,4	14,7	3,6	2,1	14	0,15	17,5	55	27,5	MI-MGI
H3	B1 Ca	26-64	/	0,8	12	1,3	0,8	8,9	0,09	22,1	50,1	27,8	MI
H4	B2 Ca	65-101	/	0,4	7,2	0,7	0,4	8	0,05	15,7	58,8	25,5	GI
Št. hor.	Ozn. Hor.	Globina (cm)	Ca	Mg	K	Na	H	S	T	V (%)	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	ρ _b (kg/m ³)
(mmolc/100 g tal)													
H1	A1	0-7	31,71	1,05	0,58	0,14	2,5	33,5	36	93,1	/	7,1	/
H2	A2	8-25	32,29	0,59	0,35	0,14	1,6	33,4	35	95,4	/	7,3	1,42
H3	B1 _{Ca}	26-64	32,5	0,5	0,27	0,13	1,4	33,4	34,8	96	/	7,3	1,51
H4	B2 _{Ca}	65-101	31,73	0,48	0,34	0,15	1,25	32,7	34	96,2	/	7,5	1,6

Za ugotavljanje vodnih karakteristik za zgornji horizont nismo imeli dovolj vzorca, zato manjkajo podatki tako za poljsko kapaciteto kot rastlinam dostopno vode. Če pa primerjamo drugi horizont s spodnjim vidimo, da je v drugem horizontu poljska kapaciteta 56,8 vol. %, točka venenja 32,05 vol. % in rastlinam dostopna voda 24,76 vol. %. V spodnjem horizontu tal je poljska kapaciteta 55,77 vol. %, točka venenja 29,95 vol. % in rastlinam dostopna voda 25,82 vol. %. Skupna poljska kapaciteta tal (do globine 1 m) je približno 0,539 m³/m³ oziroma 539 mm, rastlinam dostopne vode pa je približno 0,248 m³/m³ oziroma 248 mm.



Slika 12: Vodno zadrževalne lastnosti talnih horizontov profila Baredi nad Izolo, prikazana so povprečja treh ponovitev in standardna deviacija

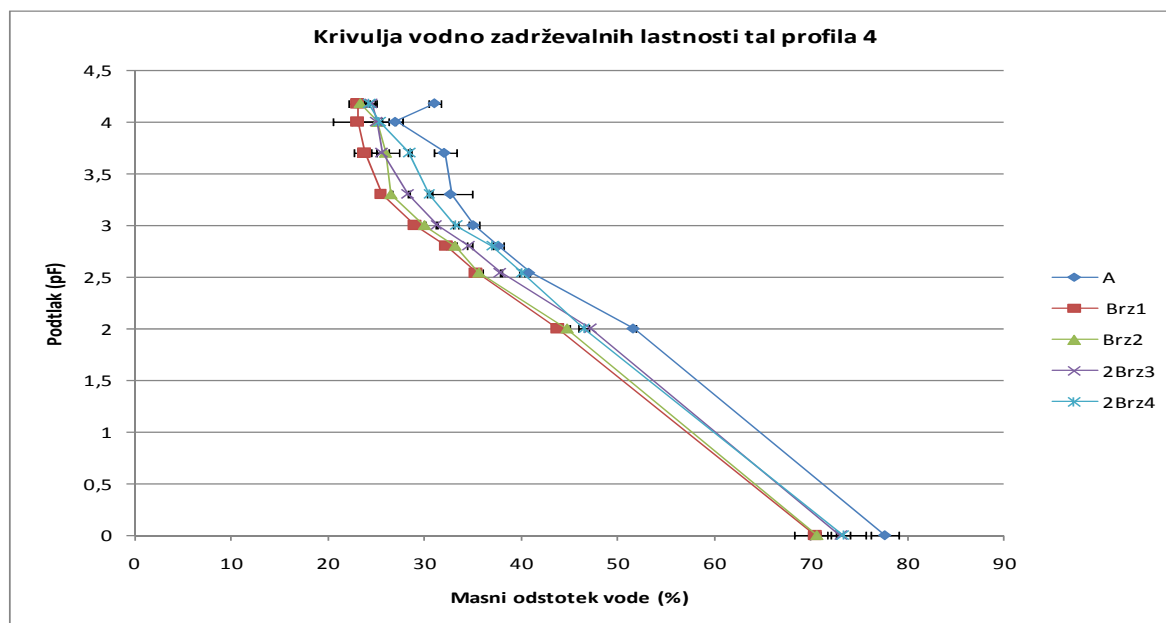
4.2.1.4 Profil 4: iz Krasa med Avberjem in Dobravljami

Izkop talnega profila je pokazal, da je matična podlaga apnenec. Tla so globoka (preko 1 m), ilovnata ter neskeletna v prvem in drugem horizontu, v ostalih horizontih pa skeletna. Kemijska analiza (preglednica 11) je pokazala, da so tla evtrična, pH vrednost je od 7,0 do 7,4. Določili smo 5 horizontov: A (0-10 cm), Brz1 (11-23 cm), Brz2 (24-56 cm), 2Brz3 (57-85 cm) in 2Brz4 (86-90 cm). Organska snov z globino upada, vsebnost gline pa z globino narašča. V zgornjem horizontu je 7,5 % organske snovi in 30,5 % gline, v spodnjem horizontu pa je 1,7 % organske snovi in 56,5 % gline.

Preglednica 11: Analitski podatki tal v profilu med Avberjem in Dobravljami na Krasu

Kras, med Avberjem in Dobravljami (Ø4)													
Št. hor.	Ozn. hor.	Globina (cm)	CaCO ₃ (%)	P ₂ O ₅ (mg/100g tal)	K ₂ O	OS (%)	C org. (%)	C/N	N skup. (%)	Pesek (%)	Melj (%)	Glina (%)	Tekst. raz.
H1	A	0-10	/	0,8	15,2	7,5	4,3	13	0,33	16,4	53,1	30,5	MGI
H2	Brz1	11-23	/	0,2	10,6	3	1,7	12,1	0,14	8,5	54,1	37,4	MGI
H3	Brz2	24-56	/	0,4	11	2,9	1,7	12,1	0,14	8,8	51,4	39,8	MGI-MG
H4	2Brz3	57-85	/	0,2	12,7	2,7	1,6	11,4	0,14	7	49,9	43,1	MG
H5	2Brz4	86-90+	/	0,2	15,2	1,7	1	9,1	0,11	5,8	37,7	56,5	MG-G
Št. hor.	Ozn. Hor.	Globina (cm)	Ca	Mg	K	Na	H	S	T	V (%)	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	ρ _b (kg/m ³)
(mmolc/100 g tal)													
H1	A	0-10	34,59	0,69	0,36	0,17	3,4	35,8	39,2	91,3	/	7,4	1,27
H2	Brz1	11-23	26,57	0,49	0,25	0,15	4,85	27,5	32,4	84,9	/	7,2	1,54
H3	Brz2	24-56	21,71	0,24	0,22	0,12	5,65	22,3	28	79,6	/	7	1,55
H4	2Brz3	57-85	32,98	0,19	0,32	0,14	6,15	33,6	39,8	84,4	/	7	1,54
H5	2Brz4	86-90+	26,41	0,19	0,35	0,16	6	27,1	33,1	81,9	/	7	/

Največjo količino vode smo pri vseh podtlakih izmerili za zgornji horizont. Poljska kapaciteta je v zgornjem horizontu 65,36 vol. %, točka venenja 39,32 vol. % in rastlinam dostopna voda 26,04 vol. %. Za spodnji horizont nismo mogli vzeti vzorcev tal zato nimamo podatkov za poljsko kapaciteto, točko venenja in rastlinam dostopno vodo. Če pa primerjamo s četrtem horizontom je poljska kapaciteta 72,62 vol. %, točka venenja 37,5 vol. % in rastlinam dostopna voda 35,12 vol. %. Skupna poljska kapaciteta (do globine 1 m) pa je približno 0,592 m³/m³ oziroma 592 mm, rastlinam dostopne vode pa približno 0,278 m³/m³ oziroma 278 mm.



Slika 13: Vodno zadrževalne lastnosti talnih horizontov profila iz okolice Dobravelj na Krasu, prikazana so povprečja treh ponovitev in standardna deviacija

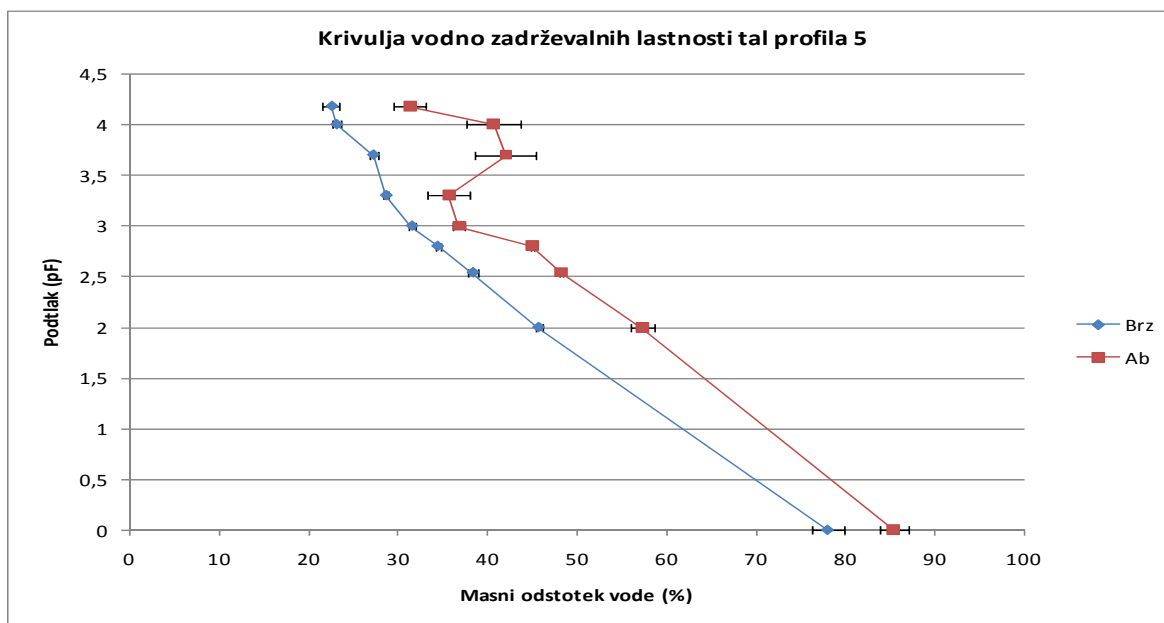
4.2.1.5 Profil 5: okolica Križa na Krasu

Izkop talnega profila je pokazal, da je matična podlaga apnenec. Tla so plitva, pokarbonatna ter v zgornjem horizontu neskeletna v spodnjem horizontu pa močno skeletna. Kemijska analiza (preglednica 12) je pokazala, da so tla evtrična, pH vrednot je od 6,4 do 6,8. Določili smo tri horizonte A (0-2 cm), ki ga nismo vzorčili, Brz (3-9 oz. 12) in Ab (10 (13)-17(32)). Organska snov z globino naraste, vsebnost gline pa upade. V drugem horizontu je 3,3 % organske snovi in 46,4 % gline, v spodnjem horizontu pa je 10,9 % organske snovi in 29,9 % gline.

Preglednica 12: Analitski podatki tal v profilu iz Križa na Krasu

Okolice Križa na Krasu (Ø5)													
Št. hor.	Ozn. hor.	Globina (cm)	CaCO ₃ (%)	P ₂ O ₅ (mg/100g tal)	K ₂ O (mg/100g tal)	OS (%)	C org. (%)	C/N	N skup. (%)	Pesek (%)	Melj (%)	Glina (%)	Tekst. raz.
H1	A	0-2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
H2	Brz	3-9(12)	/	0,2	17,8	3,3	1,9	10,6	0,18	12,5	41,1	46,4	MG
H3	Ab	10(13)-17(32)	/	0,5	16,4	10,9	6,3	11,1	0,57	11,7	58,4	29,9	MGI
Št. hor.	Ozn. Hor.	Globina (cm)	Ca	Mg	K	Na	H	S	T	V (%)	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	ρ _b (kg/m ³)
(mmolc/100 g tal)													
H1	A	0-2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
H2	Brz	3-9(12)	22,5	1,03	0,37	0,15	7,95	24,1	32,1	75,1	/	6,4	/
H3	Ab	10(13)-17(32)	31,98	0,6	0,34	0,14	7,75	33,1	40,9	80,9	/	6,8	1,25

Največjo količino vode smo pri vseh podtlakih izmerili za spodnji horizont. Ker smo pri tem profilu vzeli povprečno globino zemlje (17,5 cm, določeno z sondiranjem), imamo podatke samo za spodnji horizont, poljska kapaciteta je tako 71,8 vol. %, točka venenja 39,16 vol. % in rastlinam dostopna voda 32,64 vol. %. Skupna poljska kapaciteta (do globine 1 m) pa je $0,126 \text{ m}^3/\text{m}^3$ oziroma 126 mm, rastlinam dostopna voda pa je $0,057 \text{ m}^3/\text{m}^3$ oziroma 57 mm.



Slika 14: Vodno zadrževalne lastnosti talnih horizontov profila iz Križa na Krasu, prikazana so povprečja treh ponovitev in standardna deviacija

4.3 PRIMERJAVA VODNO ZADRŽEVALNIH LASTNOSTI MED PROFILI

Poljska kapaciteta horizontov je bila od $0,126 \text{ m}^3/\text{m}^3$ do $0,592 \text{ m}^3/\text{m}^3$, rastlinam dostopna voda pa od $0,057 \text{ m}^3/\text{m}^3$ do $0,311 \text{ m}^3/\text{m}^3$. Največje količine vode smo izmerili v horizontih z veliko vsebnostjo humusa in v horizontih z veliko vsebnostjo gline in melja, na količino zadržane vode pa vpliva tudi debelina horizonta. Na skupno poljsko kapaciteto in dostopno vodo največ vpliva skupna globina profila. Skupna poljska kapaciteta tal do globine 1 m je največja na lokaciji Kras med Avberjem in Dobravljami $0,592 \text{ m}^3/\text{m}^3$ oz. 592 mm. Skupna količina rastlinam dostopne vode je največja na lokaciji Savlje v Ljubljani $0,311 \text{ m}^3/\text{m}^3$ oz. 311 mm.

Razlike vodno zadrževalnih lastnosti med posameznimi profili in njihovimi horizonti so prikazani v preglednici 13.

Preglednica 13: Primerjava profilov glede na vodno zadrževalne lastnosti

Profil	Horizont	Globina hz. (cm)	Pesek mas. %	Melj mas. %	Glina mas. %	Org. snov %	PK	RDV	PK po hz. (m^3)	RDV po hz. (m^3)	PK skupaj(*) (m^3/m^3) oziroma (mm)	RDV(*) skupaj (m^3/m^3) oziroma (mm)
Ø1	Ap	27	21,4	62,5	16,1	4	57,64	33,21	0,156	0,090	0,369 369	0,244 244
	A2	25	30,1	57,1	12,8	2	53,08	35,11	0,133	0,088		
	A3	19	57,2	33,6	9,2	0,5	42,64	34,79	0,081	0,066		
Ø2	Ap	27	44,4	46,5	9,1	5,2	54,85	39,11	0,148	0,106	0,393 393	0,311 311
	A2	35	68,6	24,6	6,8	0,8	25,55	20,79	0,089	0,073		
	I	38	50,3	41,8	7,9	0,6	40,95	34,88	0,156	0,133		
	II		76,1	19,4	4,5	0,2	25,91	21,79				
Ø3	A1	7	25,5	49,9	24,6	6,7					0,539 539	0,248 248
	A2	18	17,5	55	27,5	3,6	56,8	24,76	0,102	0,045		
	B1 ca	39	21,4	54,8	23,8	3,1	60,43	28,23	0,236	0,110		
	B2 ca	36	22,1	50,1	27,8	1,3	55,77	25,82	0,201	0,093		
	B (c)		15,7	58,8	25,5	0,7						
Ø4	A	10	16,4	53,1	30,5	7,5	65,36	26,04	0,065	0,026	0,592 592	0,278 278
	BRz1	13	8,5	54,1	37,4	3	67,25	31,84	0,087	0,041		
	BRz2	33	8,8	51,4	39,8	2,9	69,18	33,19	0,228	0,110		
	2Brz3	29	7	49,9	43,1	2,7	72,62	34,88	0,211	0,101		
	2Brz4	5	5,8	37,7	56,5	1,7						
Ø5	Brz		12,5	41,1	46,4	3,3					0,126	0,057
	Ab	17,5	11,7	58,4	29,9	10,9	71,8	32,64	0,153	0,057	126	57

(*) Skupna RDV in skupna PK je izračunana do globine enega metra

4.4 POVEZAVA MED TALNIMI LASTNOSTMI IN VODNO ZADRŽEVALNIMI KARAKTERISTIKAMI TAL

Želeli smo ugotoviti, katere lastnosti najbolj vplivajo na vsebnost vode v tleh in njeno dostopnost rastlinam. Kot kaže priloga F, obstaja pozitivna povezava med vsebnostjo gline in PK ter TV ter organske snovi in PK ter TV. Med vsebnostjo peska in PK ter TV je povezava negativna. Pri glini je razpršenost večja, kar verjetno pomeni sistematični vpliv drugega parametra (verjetno organske snovi), pri organski snovi, pa oblika ni linearna, zaradi česar smo preverili tudi logaritemsko transformacijo podatkov za organsko snov.

Vsebnost gline je v povezavi s poljsko kapaciteto tal ter točko venenja pozitivno linearna (z večjo vsebnostjo gline v tleh je poljska kapaciteta tal za vodo višja in do točke venenja tla pridejo kasneje) enako je v primeru organske snovi v tleh. Med vsebnostjo peska v tleh in poljsko kapaciteto tal ter točko venenja pa je povezava negativno linearna (z večjo vsebnostjo peska v tleh je poljska kapaciteta tal za vodo nižja in do točke venenja tla pridejo prej).

Da bi dobili modele, po katerih bi lahko izračunali točko venenja in poljsko kapaciteto v različnih tleh, za katere bi imeli podatke o vsebnosti gline, peska in organske snovi smo v programu statgraphics-plus, naredili multiplo regresijo z predhodno selekcijo, pri kateri je bila odvisna spremenljivka poljska kapaciteta tal ali točka venenja, neodvisne spremenljivke pa so vsebnost gline, peska in organske snovi v tleh. Tako smo dobili model za izračun točke venenja in poljsko kapaciteto tal za vodo. Z modelom 1 je pojasnjene 90,9 variabilnosti, z modelom 2 pa 91,3 % variabilnosti.

$$PK \text{ (masni \%)} = 39,8025 - 0,17796 \times P + 6,689 \log x(O.S.) \quad \dots(6)$$

$$TV \text{ (masni \%)} = 6,72778 + 0,289494 \times G + 5,55396 \times \log(O.S.) \quad \dots(7)$$

P = vsebnost peska (%)

G = vsebnost gline (%)

O.S. = organska snov (%)

4.5 PRIMERJAVA MODELOV

Želeli smo preveriti, kateri obstoječi modeli dajejo najboljšo oceno za poljsko kapaciteto, rastlinam dostopno vodo in točko venenja glede na izmerjeno vrednost v naši nalogi. Kot kažejo rezultati (preglednica 14), prihaja med našimi meritvami ter modelom Saxtona in modelom Finnerna do precej velikih razlik.

Za PK smo ugotovili, da daje Saxtonov model sistematično manjše vrednosti od izmerjenih in sicer so razlike od 29,55 % do 56,24 %. Finnernov model je dal večinoma manjše vrednosti od izmerjenih in sicer so bile razlike od 4,37 % do 35,51 %. V dveh primerih so bile ocene po Finnernu nekoliko večje od izmerjenih vrednosti.

Za TV smo ugotovili, da daje Saxtonov model v večini primerov manjše rezultate od izmerjenih in sicer so razlike od 33,7 % do 59,63 %, v štirih primerih pa so ocene po Saxtonu večje od izmerjenih. Primerjavo med izmerjeno TV in TV po Finnernu ne moremo narediti saj nam Finnernov model ne poda tega podatka.

Preglednica 14: Primerjava meritev z rezultati izbranih modelov za vodno zadrževalne lastnosti tal

Profil	G	M	P	Organska snov	Meritve				Saxton			Finnern		
					poroznost	TV	RDV	PK	TV	RDV	PK	poroznost	RDV	PK
Ø1	16,1	62,5	21,4	4	11,32	24,43	33,21	57,64	11,0	18,0	29,0	9,5	27	43
	12,8	57,1	30,1	2	11,95	17,97	35,11	53,08	10,0	17,0	27,0	8,5	26,5	41
	9,2	33,6	57,2	0,5	19,75	7,85	34,79	42,64	9,0	12,0	21,0	11	18,5	27,5
Ø2	9,1	46,5	44,4	5,2	7,67	15,74	39,11	54,85	9,0	15,0	24,0	10,5	30,5	45,5
	6,8	24,6	68,6	0,8	11,95	4,76	20,79	25,55	7,0	11,0	18,0	11,5	23	32
	7,9	41,8	50,3	0,6	17,99	6,06	34,88	40,95	8,0	14,0	22,0	8,5	28	39
	4,5	19,4	76,1	0,2	12,96	4,12	21,79	25,91	6,0	10,0	16,0	16,5	19	26
Ø3	24,6	49,9	25,5	6,7										
	27,5	55	17,5	3,6	15,91	32,05	24,76	56,80	15,0	17,0	32,0	7,5	18,5	39
	23,8	54,8	21,4	3,1	19,05	32,21	28,23	60,43	13,0	17,0	30,0	7,5	18,5	39
	27,8	50,1	22,1	1,3	22,77	29,95	25,82	55,77	15,0	16,0	31,0	4	11,5	36
	25,5	58,8	15,7	0,7										
Ø4	30,5	53,1	16,4	7,5	10,05	39,32	26,04	65,36	17,0	17,0	34,0	8,5	26,5	62,5
	37,4	54,1	8,5	3	20,28	35,41	31,84	67,25	21,0	17,0	38,0	5	14	41
	39,8	51,4	8,8	2,9	20,59	36,00	33,19	69,18	22,0	17,0	39,0	5	14	41
	43,1	49,9	7	2,7	20,35	37,75	34,88	72,62	25,0	17,0	41,0	3,5	13,5	47,5
	56,5	37,7	5,8	1,7										
Ø5	46,4	41,1	12,5	3,3										
	29,9	58,4	11,7	10,9	9,48	39,16	32,64	71,80	16,0	18,0	34,0	10,5	31	67

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

5.1.1 Testiranje modificiranih obročkov

Postopek za določevanje vodno zadrževalnih lastnosti tal otežuje prenašanje vzorcev iz visokotlačnih komor do tehtnice in peči, pri čemer lahko izgubljamo vzorce tal iz obročkov. Delo smo želeli poenostaviti z obročki, ki bi imeli na dnu membrano, ki bi omogočala lažje prestavljanje vzorca in zaporedno aplikacijo tlaka v visokotlačni komori, z vmesnim tehtanjem in le končnim sušenjem pri 105°C. Modificirani obročki se niso izkazali za zanesljive, saj meritve odstopajo od standardnih obročev. Razlike nastajajo predvsem zaradi mrežic, ki smo jih dodali mrežnim obročkom, saj vplivajo na stik (ki je indirekten) vzorca tal s keramično ploščo, v nasprotju z standardnimi obročki, kjer je stik direkten. Tako se je izkazalo, da ob enakem tlaku iz tal v modificiranih obročkih iztisnemo manj vode kot iz tal v standardnih obročkih. Razlike so statistično značilne pri vseh tlakih ($p < 0,05$) pri 95 % stopnji zaupanja.

Metoda, ki jo uporabljajo v laboratoriju CPVO, odstopa od standarda ISO v podrobnostih, ki so obrazložene v poglavju materiali in metode. Predvsem, uporaba porušenih vzorcev, ki imajo lahko porušen kapilarni sistem, bi lahko vplivala na rezultate meritev pri nižjih tlakih (0,05 do 0,33 bar), zaradi česar predlagamo uporabo togih obročkov, s katerimi lahko izrežemo neporušen talni vzorec, pri čemer le ti ne smejo biti višji od priporočene višine (1 do 2 cm).

5.1.2 Kapaciteta tal za vodo in vodno zadrževalne lastnosti izbranih tal za vodo

Poznavanje desorpcijskih lastnosti tal, na katerih bomo gojili kulturne rastline, je velikega pomena za pridelavo le teh. Koliko vode tla zadržijo in koliko te vode je dostopne rastlinam nam močno pripomore pri načrtovanju kmetijskih površin (kaj bomo sadili, kje bomo sadili, ali je potrebno namakanje ali osuševanje ipd.). Na vodno zadrževalne lastnosti tal imata vpliv predvsem tekstura tal in organska snov v tleh. Različna tla imajo različno teksturo tal, tla vsebujejo različne količine organske snovi, razlikujejo se po globini in po sestavi horizontov, kar tudi vpliva na vsebnost vode v tleh in njeno dostopnost. Vodno zadrževalne krivulje nam prikažejo obnašanje vode v različnih teksturah tal.

Kot smo ugotovili, imajo največjo poljsko kapaciteto tla katerega profil smo izkopali na Krasu med Avberjem in Dobravljami. Ta tla imajo dokaj veliko vsebnost gline in veliko vsebnost organske snovi, zato lahko zadržijo veliko vode vendar pa vseeno ta tla nimajo največjo količino dostopne vode, ker glina vodo močno veže, tudi preko sesalne moči korenin. Največjo količino dostopne vode imajo tla, ki smo jih izkopali v Savlje v Ljubljani, ki imajo bolj ugodno razmerje melja in gline. Najmanjšo sposobnost za zadrževanje vode imajo tla izkopana v okolici Križa na Krasu. Ta tla sicer vsebujejo dovolj gline in tudi vsebnost organske snovi je velika, vendar pa so ta tla zelo plitva, kar je glavni razlog za manjšo količino vode v tleh.

5.1.3 Uporaba modelov za računanje

Na osnovi naših rezultatov (19 vzorcev) smo z metodo linearne regresije postavili modela, ki dovolj dobro napovesta poljsko kapaciteto in točko venenja v povezavi s teksturo in vsebnostjo organske snovi ($R^2 > 90\%$). Vendar bi radi poudarili, da 19 vzorcev ni dovolj za postavitev dobrih modelov ter da bi za široko uporabo takih modelov priporočili dodatne meritve s širokim razponom vrednosti za vse pomembne talne lastnosti.

Od obstoječih modelov, ki že obstajajo, smo testirali Saxtonovega in Finnernovega. Saxtonov je enostavnejši za uporabo, na voljo je tudi internetna aplikacija, vendar ni dovolj natančen, saj upošteva samo teksturo tal, medtem ko organske snovi, ki se je na naših podatkih izkazala za zelo pomembno lastnost, ne upošteva. Finnernov model je zaradi uporabe številnih tabel za grupiranje tekstur in ocenjevanje drugih talnih lastnosti (konsistence, gostote) veliko bolj zapleten, daje pa nekoliko boljše ocene za naše vzorce. Verjetno zaradi vključevanja podatka o organski snovi. Ugotovili smo, da so postavljeni preširoki razponi za grupiranje tal glede na količino organske snovi, kar je verjetni razlog za slabše ujemanje z našimi meritvami.

Tudi po Ruprehtu (1999), dajejo rezultati po modelu Finnern bolj primerljive rezultate z meritvami, kot ugotovitve po modelu Saxton.

5.2 SKLEPI

Raziskavo lahko strnemo v naslednje sklepe:

Modificirani obročki dajejo statistično značilno različne rezultate od standardnih obročkov, zato jih ne moremo uporabljati za ugotavljanje vodno zadrževalnih lastnosti tal za vodo.

Talni vzorci iz horizontov izbranih talnih profilov se razlikujejo po vodno zadrževalnih karakteristikah. Največjo sposobnost za zadrževanje vode imajo zgornji horizonti: PK za te je bila od 0,065 do 0,156 m³/m³. Največ RDV pa je v globjih horizontih, količine segajo od 0,026 do 0,133 m³/m³.

Skupna PK do globine 100 cm je bila za izbrane profile od 0,126 do 0,592 m³/m³. Največjo vrednost smo ugotovili za četrti profil (Kras med Avberjem in Dobravljami), najmanjšo pa za peti profil (Okolica Križa na Krasu). Skupna RDV do globine 100 cm je bila za izbrane profile od 0,057 do 0,311 m³/m³. Največjo vrednost smo ugotovili za drugi profil (Savlje v Ljubljani), najmanjšo pa za peti profil (Okolica Križa na Krasu).

Ugotovili smo statistično značilne linearne povezave med talnimi lastnostmi in vodnimi karakteristikami (PK in TV) tal za naslednje lastnosti: pesek, glina in organska snov. Z metodo linearne regresije smo dobili model, ki pojasnjuje 90,9 % variabilnosti pri TV in model, ki pojasnjuje 91,3 % variabilnosti pri PK.

Od obstoječih modelov (izbrali smo Saxtonov, Finnernov) za ugotavljanje vodnih karakteristik na osnovi talnih lastnosti, se je za naše podatke nekoliko bolj izkazal Finnernov model, ki poleg teksture tal vključuje tudi vsebnost organske snovi.

6 POVZETEK

V diplomski nalogi smo ugotavljali sposobnost tal za zadrževanje vode za različne talne tipe. Naloga zajema izbor tal, izkop talnih profilov, pedološki opis tal, vzorčenje tal ter njihovo analizo. Na osnovi pridobljenih podatkov smo talne profile nato med seboj primerjali in ugotavljali povezave med talnimi in vodnimi lastnostmi.

Izbrali smo pet različnih vrst tal, ki se med seboj razlikujejo v večih lastnostih: Obrečna tla na finih aluvijalnih nanosih (Razori pri Ljubljani), obrečna tla na produ (Savlje v Ljubljani), evtrična rjava tla na flišu (Baredi nad Izolo), rdeče rjava tla (terra rossa) (Kras med Avberjem in Dobravljami) in rjava pokarbonatna tla (okolica Križa na Krasu). Izkopali smo talne profile, v vsakem profilu smo nato ugotovili njegove horizonte, ter iz vsakega horizonta (če je bilo možno) vzeli vzorce tal za fizikalno kemijsko analizo in določitev volumske gostote tal.

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). Desorpcijske lastnosti tal za vodo smo določevali z uporabo visokotlačne komore, z njo smo ugotovili vsebnost vode v vsakem horizontu posameznega profila pri različnih tlakih (0 bar, 0,1 bar, 0,33 bar, 0,66 bar, 1 bar, 2 bar, 5 bar, 10 bar in 15 bar). Nato smo za primerjavo med profili izračunali za vsak profil skupno poljsko kapaciteto in rastlinam dostopno vodo, do enega metra globine.

Ker je pridobivanje podatkov o vodno zadrževalnih lastnostih tal z visokotlačno komoro precej dogotrajen postopek, smo najprej naredili še test z uporabo lastnih modificiranih obročkov. Modificirani obročki se niso izkazali za zanesljive in tako z njimi ne bi mogli pospešiti dela z visokotlačno komoro, zato smo delo nadaljevali s standardnimi obročki.

Rezultati so pokazali, da se talni vzorci razlikujejo po vodno zadrževalnih lastnostih. Največjo sposobnost za zadrževanje vode imajo horizonti z veliko vsebnostjo gline. Poljska kapaciteta je bila od 0,065 do 0,156 m³/m³. Največ rastlinam dostopne vode pa je v horizontih z večjo vsebnostjo melja in peska (globji horizonti), količine segajo od 0,026 do 0,133 m³/m³.

Skupna poljska kapaciteta do globine 100 cm je bila za izbrane profile od 0,126 do 0,592 m³/m³. Največjo vrednost smo ugotovili za četrti profil (Kras med Avberjem in Dobravljami), najmanjšo pa za peti profil (Okolica Križa na Krasu). Skupna rastlinam dostopna voda do globine 100 cm je bila za izbrane profile od 0,057 do 0,311 m³/m³. Največjo vrednost smo ugotovili za drugi profil (Savlje v Ljubljani), najmanjšo pa za peti profil (Okolica Križa na Krasu).

Z metodo multiple regresije smo izračunali modela za izračun poljske kapacitete in točke venenja, na osnovi poznanih talnih lastnosti. Model za poljsko kapaciteto ($PK \text{ (masni \%)} = 39,8025 - 0,17796 \times P + 6,689 \times \log(\text{organska snov})$) pojasni 90,9 % variabilnosti. Model za točko venenja ($TV \text{ (masni \%)} = 6,72778 + 0,289494 \times G + 5,55396 \times \log(\text{organska snov})$) pojasnjuje 91,3 % variabilnosti.

Naše meritve smo tudi primerjali z rezultati, ki jih dobimo z modelom za ugotavljanje vodno zadrževalnih lastnosti tal po Saxtonu (uporaba internetne aplikacije) in z modelom po Finnernu z uporabo tabelaričnih vrednosti. Pri obeh so bila odstopanja velika od 1,78 % pa do 82,8 %. Nekoliko bolj se našim meritvam približa Finnernov model, ki poleg teksture vključuje tudi organsko snov.

Kot končne ugotovitve lahko rečemo, da modificirani obročki niso uporabni za te vrste raziskav. Razlike v talnih horizontih v desorpcijskih lastnosti so pričakovane, saj se horizonti med seboj razlikujejo tako po teksturi, vsebnosti organske snovi kot tudi po debelini. Glede na skupno poljsko kapaciteto izmed naših tipov tal imajo največjo zalogo za vodo rdeče rjava tla (terra rossa) globine 90 cm (Kras med Avberjem in Dobravljami), rastlinam dostopne vode pa je največ pri obrečnih tleh na produ globine 150 cm (Savlje v Ljubljani).

7 VIRI

- Brady N. C., Weil R. R. 2002. The nature and properties of soils. Stephen H (Ed.). Pearson education, Upper Saddle River, New Jersey: 960 str.
- Clarke Topp G., Ferre P. A. 2002. The soil solution phase. V: Methods of soil analysis. Part 4. – Physical methods. Dane J. H., Topp G. C. 2002. (Eds.). Wisconsin, Madison, Soil Science Society of America, inc.: (Eds.): 417 – 447
- Ćirić M. 1986. Pedologija. 2.izdanje. Sarajevo, SOUR »Svjetlost«, OOUR Zavod za udžbenike i nastavna sredstva: 312 str.
- Dane J. H., Hopmans J. W. 2002. Water Retention and Storage. V: Methods of Soil Analysis. Part 4. – Physical Methods. Dane J. H., Topp G. C. 2002. (Eds.). Wisconsin, Madison, Soil Science Society of America, inc.: 671 - 673
- Finnern H., Grottenthaler W., Kuhn D., Palchen W., Schraps W., Sponagel H. 1994. Bodenkundliche Kartieranleitung. Hanover: 392 str.
- Gardner W. H. 1986. Water content. V: Methods of Soil Analysis. Part 1. - Physical and Minerlogical Methods. Klute A. (ed). Wisconsin, Madison, Soil Science Society of America, inc.: 425 – 433
- Genuchten M. 1980. A closed form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. Soil Science Sociaty of America Journal, 44, 5: 892 – 898
- Heiskanen J., Mäkitalo K. 2002. Soil water-retention characheristics of Scots pine and Norway spruce forest sites in Finnish Lapland. Forest Ecology and Management, 162, 137–152
- Hillel D. 1998. Environmental Soil Physics. San Diego, Academic Press: 771 str.
- ISO 10390. Soil Quality – Determination of pH. 1994: 5 str.
- ISO 10693. Soil Quality – Determination of carbonate content – Volumetric method. 1994: 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 11274. Soil Quality – Determination of the water-retention characteristic – Laboratory methods. 1998: 11 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.
- ISO 13878. Soil Quality – Determination of total nitrogen content by dry combustion (»elemental analysis«). 1998: 5 str.
- Kralj T. 2008. Primerjava sistemov za razvrščanje tal na izbranih tleh v Sloveniji. Doktorska disertacija. Ljubljana. Univerza v Ljubljani. Biotehniška fakulteta. Oddelek za agronomijo: 151 str.
- Mack W. N., Leistikow E. A. 1996. Sands of the world. Scientific American, 275: 44 – 49
- Pedosphere.com, 2009. http://www.pedosphere.com/resources/texture/worktable_us.cfm (6. 10. 2009)
- Pintar M. 2003. Osnove namakanja: s poudarkom na vrtninah in sadnih vrstah v severovzhodni Sloveniji. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano: 49 str.
- Resulović H. 1971. Metode istraživanja fizičkih svojstva zemljišta, Priručnik za ispitivanje zemljišta. Beograd, Jugoslovensko društvo za proučevanje zemljišta: 207 str.
- Ruprecht J. 1999. Pedološka karta Slovenije kot osnova za modeliranje desorpcijskih značilnosti tal. Specialistično delo. Ljubljana. Univerza v Ljubljani. Biotehniška fakulteta. Oddelek za agronomijo: 114 str.
- Wijk W. R. 1963. Physics of Plant Enviroment. Amsterdam, North-Holland publishing company: 382 str.
- Zupan M., Grčman H., Kočevár H. 1998. Navodila za vaje iz pedologije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo: 62 str.
- Zupanc V., Pintar M. 2001. Melioracije in urejanje kmetijskih zemljišč (gradivo za vaje). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo: 66 str.

ZAHVALA

Za zaključek bi se rad zahvalil v prvi vrsti mentorici doc. dr. Heleni Grčman za vodenje in pomoč pri nastajanju diplomskega dela.

Hvala tudi somentorju prof. dr. Francu Lobniku in članici komisije prof. dr. Marini Pintar za podroben pregled diplomske naloge in koristne popravke.

Prav tako se zahvaljujem specialistu Janezu Ruprehtu, dr. Tomažu Kralju in očetu Viliju za pomoč pri terenskem delu. Zahvala tudi vsem na Centru za pedologijo in varstvo okolja za laboratorijsko delo.

Prav tako se zahvaljujem družini za vsa dolga leta podpore mojemu študiju.

In seveda se zahvaljujem tudi sošolcem Ani, Nataši, Mojci, Primožu, Maji in vsem ostalim za pomoč pri študiju in drugih podvigih, ne tako zelo povezanih s študijem.

PRILOGA A

Masni % vode v posameznih tleh po posameznih horizontih tal. Podani so rezultati treh meritev in povprečja; Profil Ø1, Razori pri Ljubljani

	OZN. VZOR. (PON.)	količina vode (masni %) vezana pri matričnem potencialu								
		pF=0,00 (0,0 bar)	pF=2,00 (0,1 bar)	pF=2,54 (0,33 bar)	pF=2,80 (0,66 bar)	pF=3,0 (1,0 bar)	pF=3,3 (2,0 bar)	pF=3,7 (5,0 bar)	pF=4,0 (10,0 bar)	pF=4,18 (15,0 bar)
547/07/1/1 Ap	1	75,00	44,43	38,64	34,67	32,32	25,71	18,84	14,45	15,71
	2	69,23	44,01	38,69	34,63	32,34	25,74	19,13	14,18	16,38
	3	73,79	44,56	38,89	34,69	32,35	25,71	18,61	14,17	24,22
Pov. masni % vode		72,67	44,33	38,74	34,66	32,34	25,72	18,86	14,27	18,77
548/07/1/1 A2	1	70,36	40,43	35,13	29,83	26,36	20,51	14,91	10,77	14,42
	2	70,78	40,29	35,30	29,44	26,56	20,23	14,52	10,87	14,64
	3	72,21	40,24	35,38	29,36	26,10	20,34	14,58	10,99	12,04
Pov. masni % vode		71,12	40,32	35,27	29,55	26,34	20,36	14,67	10,88	13,70
549/07/1/1 A3	1	45,28	28,05	22,75	16,61	14,13	11,03	7,72	6,79	5,09
	2	47,33	27,93	22,58	16,83	13,93	10,96	7,58	6,60	5,16
	3	46,42	28,00	22,62	16,80	14,24	11,20	8,35	6,54	5,21
Pov. masni % vode		46,34	27,99	22,65	16,75	14,10	11,06	7,89	6,64	5,15

PRILOGA B

Masni % vode v posameznih tleh po posameznih horizontih tal. Podani so rezultati treh meritev in povprečja; Profil Ø2, Savlje v Ljubljani

	OZN. VZOR. (PON.)	količina vode (masni %) vezana pri matričnem potencialu								
		pF=0,00 (0,0 bar)	pF=2,00 (0,1 bar)	pF=2,54 (0,33 bar)	pF=2,80 (0,66 bar)	pF=3,0 (1,0 bar)	pF=3,3 (2,0 bar)	pF=3,7 (5,0 bar)	pF=4,0 (10,0 bar)	pF=4,18 (15,0 bar)
550/07/1/1 Ap	1	69,71	44,90	28,97	28,79	21,18	17,54	15,42	13,13	13,65
	2	70,16	45,79	28,65	27,80	21,12	17,66	15,73	13,91	13,45
	3	72,16	45,87	29,09	29,23	20,96	16,95	17,41	13,16	12,14
Pov. masni % vode		70,68	45,52	28,90	28,61	21,09	17,38	16,19	13,40	13,08
551/07/1/1 A2	1	46,17	19,24	13,76	11,82	9,24	7,03	5,71	3,99	3,62
	2	40,48	18,98	13,41	11,31	9,85	6,93	5,87	4,11	3,63
	3	44,73	19,84	13,42	11,25	10,05	6,94	5,46	4,03	3,57
Pov. masni % vode		43,79	19,35	13,53	11,46	9,71	6,97	5,68	4,04	3,61
552/07/1/1 1	1	44,39	27,99	18,42	16,05	12,58	8,35	6,07	4,57	4,14
	2	57,25	27,85	18,34	16,21	12,42	8,30	6,18	4,50	4,08
	3	51,86	27,50	18,72	16,78	12,58	8,45	6,51	4,63	4,12
Pov. masni % vode		51,17	27,78	18,49	16,35	12,53	8,37	6,26	4,57	4,11
553/07/1/1 2	1	44,29	19,86	11,37	10,59	7,64	5,79	4,60	3,38	3,02
	2	44,52	19,46	11,09	10,87	7,64	5,80	4,66	3,45	3,01
	3	45,05	18,59	11,37	10,43	7,89	5,78	4,84	3,40	3,17
Pov. masni % vode		44,62	19,30	11,28	10,63	7,72	5,79	4,70	3,41	3,07

PRILOGA C**Masni % vode v posameznih tleh po posameznih horizontih tal. Podani so rezultati treh meritev in povprečja; Profil Ø3, Baredi nad Izolo**

	OZN. VZOR. (PON.)	količina vode (masni %) vezana pri matričnem potencialu								
		pF=0,00 (0,0 bar)	pF=2,00 (0,1 bar)	pF=2,54 (0,33 bar)	pF=2,80 (0,66 bar)	pF=3,0 (1,0 bar)	pF=3,3 (2,0 bar)	pF=3,7 (5,0 bar)	pF=4,0 (10,0 bar)	pF=4,18 (15,0 bar)
554/07/1/1 A1	1	81,79	49,07	40,59	36,10	32,47	33,06	25,72	26,97	28,79
	2	82,20	48,78	40,41	36,61	32,60	34,19	28,34	26,97	26,43
	3	76,72	47,94	40,55	36,56	31,65	32,73	31,27	27,37	24,74
Pov. masni % vode		80,24	48,60	40,51	36,42	32,24	33,33	28,44	27,10	26,65
555/07/1/1 A2	1	69,93	39,95	32,02	29,67	26,27	22,26	19,44	20,68	20,76
	2	70,55	39,94	32,46	29,53	26,56	22,10	18,61	22,27	24,67
	3	66,91	39,97	32,07	29,45	26,14	22,15	18,56	23,68	22,36
Pov. masni % vode		69,13	39,95	32,18	29,55	26,32	22,17	18,87	22,21	22,60
556/07/1/1 B1 cv	1	63,74	40,07	32,04	29,10	25,61	20,95	17,58	18,61	21,31
	2	70,56	40,10	32,00	29,24	25,39	21,02	17,10	17,84	20,79
	3	67,82	40,32	32,20	29,20	25,40	22,65	18,25	24,01	22,17
Pov. masni % vode		67,37	40,17	32,08	29,18	25,47	21,54	17,64	20,15	21,42
557/07/1/1 B2 cv	1	63,77	34,40	28,42	25,73	23,29	20,02	16,28	17,40	19,76
	2	60,03	34,74	28,62	25,60	23,26	20,04	16,12	19,37	19,44
	3	61,79	35,22	28,46	25,79	23,04	20,97	16,16	16,58	16,82
Pov. masni % vode		61,86	34,78	28,50	25,71	23,20	20,34	16,19	17,78	18,67
558/07/1/1 B (c)	1	53,93	33,80	27,57	24,87	22,97	20,07	15,27	12,91	15,99
	2	64,07	33,28	27,97	24,89	22,94	20,06	14,93	15,48	14,37
	3	55,58	33,52	27,71	24,76	22,95	20,09	15,10	13,69	13,23
Pov. masni % vode		57,86	33,53	27,75	24,84	22,95	20,07	15,10	14,03	14,53

PRILOGA D

Masni % vode v posameznih tleh po posameznih horizontih tal. Podani so rezultati treh meritev in povprečja; Profil Ø4, Kras med Avberjem in Dobravljami

	OZN. VZOR. (PON.)	količina vode (masni %) vezana pri matričnem potencialu								
		pF=0,00 (0,0 bar)	pF=2,00 (0,1 bar)	pF=2,54 (0,33 bar)	pF=2,80 (0,66 bar)	pF=3,0 (1,0 bar)	pF=3,3 (2,0 bar)	pF=3,7 (5,0 bar)	pF=4,0 (10,0 bar)	pF=4,18 (15,0 bar)
559/07/1/1 A1	1	76,00	51,80	40,83	37,94	35,35	30,44	32,31	27,84	30,52
	2	78,14	51,51	40,89	38,00	35,44	33,06	30,78	26,84	30,83
	3	78,79	51,52	40,73	37,02	34,39	34,65	33,09	26,33	31,84
Pov. masni % vode		77,64	51,61	40,81	37,65	35,06	32,72	32,06	27,00	31,06
560/07/1/1 B1 Rz	1	72,92	43,52	35,07	32,26	28,93	25,23	23,83	21,67	23,41
	2	69,17	43,88	35,51	32,38	29,13	25,42	22,62	21,55	22,48
	3	69,09	43,82	35,46	32,15	28,75	25,75	24,97	26,00	23,19
Pov. masni % vode		70,39	43,74	35,35	32,26	28,94	25,47	23,81	23,07	23,03
561/07/1/1 B2 Rz	1	70,37	44,57	35,97	33,14	30,02	26,48	25,10	24,17	22,73
	2	71,74	44,74	35,27	33,33	29,86	26,37	25,03	27,32	22,58
	3	69,90	44,97	35,56	32,89	29,98	26,54	27,57	23,70	24,54
Pov. masni % vode		70,67	44,76	35,60	33,12	29,95	26,47	25,90	25,06	23,28
562/07/1/1 B pog	1	73,81	47,24	37,74	34,39	31,40	28,44	25,41	24,08	23,99
	2	73,44	47,18	37,78	34,72	31,18	28,31	26,35	23,17	24,43
	3	71,85	47,12	37,97	34,81	31,26	28,25	25,25	27,97	25,13
Pov. masni % vode		73,03	47,18	37,83	34,64	31,28	28,33	25,67	25,07	24,51
563/07/1/1 Bt	1	75,54	46,09	40,29	37,24	33,45	30,20	28,62	25,24	24,76
	2	73,49	46,28	39,94	36,98	32,92	30,56	28,49	25,13	23,67
	3	70,78	47,14	39,82	36,92	33,36	30,68	28,28	25,67	24,32
Pov. masni % vode		73,27	46,50	40,02	37,05	33,24	30,48	28,46	25,35	24,25

PRILOGA E

Masni % vode v posameznih tleh po posameznih horizontih tal. Podani so rezultati treh meritev in povprečja; Profil Ø5, okolica Križa na Krasu

	OZN. VZOR. (PON.)	količina vode (masni %) vezana pri matričnem potencialu								
		pF=0,00 (0,0 bar)	pF=2,00 (0,1 bar)	pF=2,54 (0,33 bar)	pF=2,80 (0,66 bar)	pF=3,0 (1,0 bar)	pF=3,3 (2,0 bar)	pF=3,7 (5,0 bar)	pF=4,0 (10,0 bar)	pF=4,18 (15,0 bar)
564/07/1/1 B1	1	79,65	45,29	38,64	34,55	32,04	28,64	27,70	23,42	22,56
	2	76,11	45,95	37,71	34,13	31,35	28,41	27,32	22,65	21,68
	3	78,58	46,01	38,90	34,68	31,37	29,01	26,75	23,36	23,57
Pov. masni % vode		78,11	45,75	38,41	34,45	31,59	28,69	27,26	23,14	22,60
565/07/1/1 Ag (c)	1	85,99	58,19	48,45	45,20	36,43	34,67	43,12	44,13	29,37
	2	83,68	55,85	48,03	44,96	37,52	33,90	38,31	39,78	32,73
	3	86,77	57,95	48,34	44,98	36,47	38,41	44,79	38,21	31,84
Pov. masni % vode		85,48	57,33	48,27	45,04	36,81	35,66	42,07	40,71	31,31

PRILOGA F

Korelacijska matrika za talne lastnosti in vodne karakteristike tal

