

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Primož KERŠIČ

**VPLIV ORGANSKE SNOVI NA VODNO ZADRŽEVALNE
LASTNOSTI TAL**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**EFFECT OF ORGANIC MATTER IN WATER RETENTION
PROPERTIES IN THE SOIL**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2012

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija kmetijstvo – agronomija. Opravljeno je bilo na Katedri za agrometeorologijo, urejanje kmetijskega prostora ter ekonomiko in razvoj podeželja in na Katedri za pedologijo in varstvo okolja Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, kjer so bile opravljene vse fizikalno – kemijske analize. Talni profil je bil izkopan na laboratorijskem polju Biotehniške fakultete.

Študijska komisija oddelka za agronomijo je za mentorico diplomskega dela imenovala izr. prof. dr. Marino Pintar in za somentorico izr. prof. dr. Heleno Grčman.

Komisija za oceno in zagovor:

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

Članica: izr. prof. dr. Marina PINTAR
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

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

Član: izr. prof. dr. Franc LOBNIK

Datum zagovora:

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

Primož KERŠIČ

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Dn
DK UDK 631.417:631.879.4:631.432 (043.2)
KG tla/organska snov/vodno zadrževalne lastnosti/organska gnojila/poljska kapaciteta/točka venenja
KK AGRIS P30/P33
AV KERŠIČ, Primož
SA PINTAR, Marina (mentor)/GRČMAN, Helena (somentor)
KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
LI 2012
IN VPLIV ORGANSKE SNOVI NA VODNO ZADRŽEVALNE LASTNOSTI TAL
TD Diplomsko delo (Univerzitetni študij)
OP X, 31, [2] str, 6 pregl., 13 sl., 1 pril., 33 vir.
IJ sl
JI sl/en
AI Pomen organske snovi v tleh je, da izboljšuje biološke, fizikalne in kemijske lastnosti tal. Namen diplomske naloge je bil ugotoviti, če in kako organska snov vpliva na vodno zadrževalne lastnosti tal. Izbrali smo tla z laboratorijskega polja Biotehniške fakultete v Ljubljani, ki so vsebovala < 1 % organske snovi in imela meljasto glinasto teksturo. Uporabili smo tri različna organska gnojila oz. substrate (kompost, hlevski gnoj in šoto) kot dodatek organske snovi k tlom. Izbrana tla so služila kot kontrola, substrate pa smo dodajali v odmerkih 2 % in 5 % glede na maso tal v vzorcu. Meritve smo opravljali v porušeni vzorci tal z napravo HYPROP, ki je namenjena laboratorijskemu delu in deluje po metodi izhlapevanja WIND/SCHINDLER za določevanje nenasičene hidravlične prevodnosti in vodno zadrževalnih lastnosti vzorcev tal. Pri rezultatih meritev zadrževanja vode v vzorcih z dodanim hlevskim gnojem in šoto v primerjavi z izvornimi tlemi ni bilo večjih sprememb. Ob dodatku tako 2 % kot 5 % substrata se poljska kapaciteta (PK) in točka venenja (TV) nista bistveno spremenili. Majhne spremembe so pokazale pri dodatkih 2 % hlevske gnoja, 5 % hlevskega gnoja in 5 % šote, kjer so ob podobni PK in nekoliko povečani TV ti vzorci zadržali manj ratlinam dostopne vode (RDV) kot izvorna tla. Le pri dodatku 2 % šote smo ob nespremenjeni PK uspeli zmanjšati TV in s tem dosegli večjo količino RDV kot izvorna tla. Večji učinek smo dosegli pri dodatku komposta. Večji kot je bil odmerek, večja je bila PK in TV. Posledično so tla z dodatkom komposta zadržala najmanjšo količino RDV glede na ostala substrata in izvorna tla.

KEY WORDS DOKUMENTATION

DN Dn
DC UDC 631.417:631.879.4:631.432 (043.2)
CX pedology/soil/organicmatter/soil properties/organic fertilizers/compost/manure/peat/soil retention properties/field capacity/wilting point
CC AGRIS P30/P33
AU KERŠIČ, Primož
AA PINTAR, Marina (supervisor)/GRČMAN, Helena (co-supervisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy
PY 2012
TI EFFECT OF ORGANIC MATTER IN WATER RETENTION PROPERTIES IN THE SOIL
TD Graduation Thesis (University studies)
NO X, 31, [2] p., 6 tab., 13 fig., 1 ann., 33 ref.
LA sl
AL sl/en
AB The importance of organic matter in the soil is to improve the biological, physical and chemical properties of the soil. The purpose of this work was to determine if and how organic matter affects the water retention properties of the soil. We chose the soil from the laboratory field of the Biotechnical Faculty in Ljubljana, which contained < 1% organic matter and had a silty clay texture. We used three different organic fertilizers or. substrates (compost, manure and peat), in addition to organic matter to the soil. Selected soil served as a control, substrates were added in doses of 2% and 5% by weight of soil in the sample. The measurements were performed in collapsed soil samples from HYPROP device, which is intended for laboratory work and act according to the method of evaporation WIND / SCHINDLER for the determination of unsaturated hydraulic conductivity and water retention properties of soil samples. Results of water retention in samples with added manure and peat in comparison with the original soil there were no major changes. With the addition of 2% and 5% of the substrate field capacity (FC) and wilting point (WP) did not change significantly. Small changes are shown in additives of 2 % manure, 5 % manure and 5 % peat. Where the similar FC and slightly increased WP these samples retained less amount of plant available water (PAW) as the soil. Only the addition of 2 % peat are having the same FC managed to reduce WP and this led to a larger amount of PAW as the soil. Greater effect was achieved with the addition of compost. Higher than the dose of compost the FC and WP was increased. Consequently, the soil by adding compost retained minimum amount of PAW compared to the other substrate and soil.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOKUMENTATION	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 NALOGE	1
1.2 NAMEN NALOGE	1
1.3 DELOVNA HIPOTEZA	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 VODA IN TLA	3
2.2 VEZAVA VODE V TLEH	3
2.3 VODNI POTENCIAL TAL	4
2.3.1 Matrični potencial	5
2.3.2 Vodne konstante tal	5
2.3.3 Desorpcijska krivulja	6
2.4 MERJENJE VODE V TLEH	7
2.5 LASTNOSTI TAL	8
2.5.1 Tekstura tal	8
2.5.2 Struktura tal	10
2.5.3 Poroznost	10
2.5.4 Organska snov v tleh	11
2.5.5 Gostota tal in pedotransfer funkcije	11
3 MATERIALI IN METODE	13
3.1 IZBOR TALNEGA VZORCA	13
3.2 SUBSTRATI	13
3.3 ANALITSKE METODE	14
3.3.1 Določitev teksture tal	14
3.3.2 Določitev suhe snovi	14
3.3.3 Določitev organske snovi v tleh	14
3.3.4 Določitev organske snovi v substratih (kompost, šota, hlevski gnoj)	15
3.4 MERITVE VODNO ZADRŽEVALNIH LASTNOSTI TAL Z NAPRAVO HYPROP	15
3.4.1 Priprava vzorcev	16
3.4.2 Potek merjenja	18
3.5 OBDELAVA PODATKOV	18
4 REZULTATI IN RAZPRAVA	19
4.1 MERITVE ZADRŽEVANJA VODE V VZORCIH TAL	19
4.2 PRIMERJAVA ZADRŽEVANJA VODE MED VZORCI TAL	22
4.3 RAZPRAVA	24
5 SKLEPI	27

6	POVZETEK	28
7	VIRI	29
	ZAHVALA	
	PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Teksturni razredi ameriške teksturne klasifikacije (Grčman in Zupan, 2008)	10
Preglednica 2: Delitev kmetijskih tal glede na skupno vsebnost organske snovi v tleh	11
Preglednica 3: Določanje gostote (g/cm^3) izbranih tal	13
Preglednica 4: Vsebnost organske snovi v substratih (%), določena s sežigom	15
Preglednica 5: Mase (g) mešanice tal in substratov glede na masni % za HYPROP cilinder	18
Preglednica 6: Povprečne vrednosti zadržane vode (vol. %) v stanju poljske kapacitete (PK) in točke venenja (TV) ter količina rastlinam dostopne vode (RDV)	23

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Vodne konstante v tleh (Pintar, 2006)	6
Slika 2: Desorpcijska krivulja za različne tipe tal (Stritar, 1991)	7
Slika 3: Teksturni trikotnik ameriške teksturne klasifikacije (cit. po Grčman in Zupan, 2008)	9
Slika 4: Enote senzorjev s cilindri (6 vzorčnih enot), prenosni računalnik z merilno lestvico in tehtnica	16
Slika 5: Vlaženje vzorcev. Na spodnji strani cilindra je nameščena gaza in pod gazo podstavek z luknjami. Tako pripravljeni cilindri so nameščeni v večjo posodo (višina cca. 7 cm) z vodo, ki sega do 1 cm pod robom cilindra	17
Slika 6: Zadrževanje vode (vol %) v vzorcih tal brez dodatka organske snovi	19
Slika 7: Zadrževanje vode (vol. %) v vzorcih tal z 2 % vsebnostjo komposta. Enega vzorca zaradi napake nismo upoštevali, zato sta na sliki samo dve krivulji	19
Slika 8: Zadrževanje vode (vol. %) v vzorcih tal z 2 % vsebnostjo hlevskega gnoja	20
Slika 9: Zadrževanje vode (vol. %) v vzorcih tal z 2 % vsebnostjo šote	20
Slika 10: Zadrževanje vode (vol. %) v vzorcih tal s 5 % vsebnostjo komposta	21
Slika 11: Zadrževanje vode (vol. %) v vzorcih tal s 5 % vsebnostjo hlevskega gnoja	21
Slika 12: Zadrževanje vode (vol. %) v vzorcih tal s 5 % vsebnostjo šote	22
Slika 13: Količina zadržane vode, podana v oklepaju v vzorcih tal med poljsko kapaciteti (PK) in točko venenja (TV)	23

KAZALO PRILOG

Priloga A: Primerjava količine zadržane vode v tleh v točki nasičenja (TN), poljski kapaciteti (PK) in točki venenja (TV) ter čas sušenja vzorcev.

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

Okrajšave	Pomen
°C	stopinje Celzija
C _{org}	celokupen organski ogljik
pF	logaritem višine vodnega stolpca v cm
PK	poljska kapaciteta tal za vodo
PTF	pedotransfer funkcija
RDV	rastlinam dostopna voda
TV	točka vnenja
ρ _{vol}	gostota tal (volumska gostota tal)

1 UVOD

Voda, talni delci in organska snov v medsebojnih odnosih predstavljajo sistem oz. okolje, v katerem rastejo in se razvijajo rastline. Za dobro pridelovanje kmetijskih rastlin morajo tla vsebovati dovolj organske snovi, prav tako pa morajo uspešno zadrževati vodo. Vodno zadrževalne lastnosti tal imenujemo tudi vodno retenzijske lastnosti ali desorpcijske lastnosti tal. So najpomembnejše lastnosti tal za napovedovanje vode v tleh oziroma določevanje rastlinam dostopne vode. Z redno uporabo organskih gnojil, ki so hkrati tudi skladišče hranil, se povečuje delež por, ki so pomembne pri preskrbi tal z vodo in zrakom. Obstajajo različne vrste organskih gnojil, ki se med seboj razlikujejo po sestavi in vsebnosti organske snovi. Organska komponenta v gnojilu izboljšuje rodovitnost tal in zračnost tal ter s tem povečuje njihovo sposobnost za zadrževanje vode. Dodatek organske snovi peščenim tlom omogoči boljšo vodno kapaciteto, peščeni delci pa skupaj z organsko snovjo ustvarjajo grudičasti zlog. V glinastih ali bolj zbitih tleh, ki že v osnovi zadržijo več vode kot peščena, pa z organskim gnojilom povečujemo medtalne prostore, skozi katere odteče del odvečne vode. Na ta način koreninam omogočimo dostop do kisika ter življenjski prostor za normalno rast in razvoj rastlin.

1.1 POVOD ZA IZDELAVO NALOGE

V današnjem času se vedno bolj spopadamo z okoljskimi spremembami. Zaradi negativnih sprememb, kot so izguba rodovitnosti tal in zbitost tal, imajo tla zmanjšano sposobnost za zadrževanje vode in hranil, kar v največji meri občutijo rastline. Ena od možnosti izboljšanja takšnih tal je dodajanje organske snovi v tla. Večja je vsebnost humusa, boljša je sposobnost tal za zadrževanje vode v tleh. Meritve vodno zadrževalnih lastnosti tal nam dajo pomembne informacije, koliko vode zadržijo tla pri določeni konstanti tal in koliko vode je rastlinam dostopne.

1.2 NAMEN NALOGE

Pri vodno zadrževalnih lastnostih tal je pomembno, da je integral med poljsko kapaciteto in točko venenja čim večji, kar pomeni, da je rastlinam na voljo več vode. Namen naloge je ugotoviti, kako se voda zadržuje v tleh z dodatkom različne vrste in količine organske snovi ter če in kako organska snov izboljša vodno zadrževalne lastnosti tal.

1.3 DELOVNA HIPOTEZA

Za opravljeno raziskovalno delo smo postavili naslednje delovne hipoteze:

1. Organska snov vpliva na vodno zadrževalne lastnosti tal.
2. Različna vrsta organske snovi različno vpliva na vodno zadrževalne lastnosti tal.
3. Tla z večjo vsebnostjo organske snovi zadržijo več rastlinam dostopne vode.

2 PREGLED OBJAV

2.1 VODA IN TLA

Voda je vir življenja in najpogostejša snov na Zemlji. Vsi živi organizmi potrebujejo vodo za rast in razvoj, saj je ena izmed osnovnih gradnikov žive in nežive narave. Zastopana je v treh različnih oblikah (tekoča, plinasta, trdna). Kroženje vode v naravi oz. hidrološki cikel predstavlja kroženje in shranjevanje vode med biosfero, atmosfero, pedosfero, litosfero in hidrosfero.

Tla so ljudem postala tako samoumeven del prostora, da pozabljamo, kako pomembna so. Poleg tega, da tla dajejo rastlinam hrano in oporo, so vir surovin, naravni filter za podzemne vode in omogočajo kroženje snovi oz. elementov. Delujejo kot trifazni sistem, sestavljen iz trdne, tekoče in plinaste faze. Trdno fazo sestavljajo mineralne snovi, odmrla organska snov ter živi organizmi. Tekočo fazo predstavlja voda z raztopljenimi snovmi, plinasto fazo pa plini oz. zrak.

Vir vode v tleh so padavine, v manjšem obsegu vodni hlapi ali podzemna voda (podtalna voda). Del vode se iz tal odcedi v podtalje, del pa tla zadrže z notranjimi silami (Stritar, 1991). Nahaja se v sistemu talnih por in je poleg temperature osnovni pogoj za kemične, fizikalne in biološke procese v tleh. Poleg tega vpliva tudi na mnoge lastnosti tal, kot so: zračnost, toplotno stanje, mikrobiološko aktivnost ipd. Voda ima veliko nalog, med njimi deluje kot topilo in kot nosilec raztopljenih snovi (Ćirič, 1986).

2.2 VEZAVA VODE V TLEH

Ko voda prispe v tla, podleže nekaterim zakonitostim v pogledu premikanja in zadrževanja. Z ozirom na premikanje se lahko voda v tleh deli na vezano in svobodno. Ko količina vodnih molekul v talnem zraku doseže nasičenje (maksimalna higroskopičnost), se začne vezava vode na talne delce v obliki kapljevine oziroma tekočine (Pintar, 2006).

Vodo v tleh razlikujemo glede na to, kako močno je vezana na talne delce (Klobučar in sod., 1982).

- Vodni hlapi v porah, v katerih ni tekoče vode, ampak zrak. Pogosto se gibljejo od kraja z večjo proti kraju z manjšim parnim tlakom oziroma iz toplejših območij v hladnejše.
- Konstitucijska je kemično vezana v spojinah, npr. $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ in je negibna.
- Filmska voda je tanka plast vode nad higroskopsko vodo. Od nje se razlikuje po tem, da se giblje v obliki kapljične vode, a zelo počasi.
- Kapilarna voda se zaradi površinske napetosti nabira kot prevleka okoli talnih delcev, se zadržuje med njimi in se nabira v kapilarah.

- Gravitacijska voda je v nekapilarnih porah in se zaradi težnosti stalno premika iz višjih v nižje plasti. Zato je v teh porah le začasno, med dežjem, pozneje pa se nabira v globljih plasteh.
- Podzemna voda se zbira v nižjih plasteh tal tik nad neprepustno podlago. Gladina podzemne vode predstavlja mejo med zasičeno in nenasičeno cono v poroznem prostoru.

2.3 VODNI POTENCIAL TAL

Poleg vsebnosti vode v tleh je vodni potencial tal najpomembnejša karakteristika tal. Vodni potencial je definiran kot razlika v potencialni energiji na enoto količine vode med vodo v tleh in referenčno vodo. Predstavlja mehansko delo, ki ga voda v tleh porabi za reverzibilen in izotermalen premik enote količine vode iz točke v tleh na referenčno točko. Gradient celotnega potenciala talne vode določi velikost gonilne sile, ki vpliva na vodo. Od vodnega potenciala je odvisna gibljivost vode v tleh in njena dostopnost za rastline (Stephens, 1995).

Vodni potencial tal je vsota matričnega, ozmotskega in potenciala pritiska. Skupni vodni potencial pa je vsota vodnega in gravitacijskega potenciala (Gardiner in Miller, 2008; Brady in Weil, 2008).

Gravitacijski potencial odraža vpliv delovanja gravitacijskih sil na vodo v tleh. Gravitacijska voda se v tleh giblje prosto in se lahko začasno zadržuje v tleh odvisno od deleža makropor.

Potencial pritiska odraža vpliv pritiska zaradi plina in prekomerne količine vode na sposobnost talne vode, da opravi delo. Voda, ki je pod pritiskom, lahko teče dlje in se premika hitreje. Voda je lahko pod pritiskom zaradi pritiskov plina v tleh in zaradi prekomerne vode na površini ali dviga podzemne vode. Vrednosti potenciala pritiska so bodisi nič bodisi so pozitivne.

Ozmotski potencial (potencial raztopine) odraža vpliv raztopljenih snovi na sposobnost vode, da opravi delo. Voda, ki vsebuje raztopljene snovi (npr. soli), ima manjšo sposobnost za opravljanje dela kot čista voda. Na primer, težje gre skozi membrano in ne more zavreti pri standardni točki vrenja. Potrebno je delo (t.j. energija), da izločimo soli iz vode. Ozmotski potencial je vedno negativen.

Matrični potencial odraža vpliv površinske adsorpcije na sposobnost vode, da opravi delo. Voda, ki je vezana na površino talnih delcev ali zadržana v kapilarnih porah, je manj prosta za gibanje ali reagiranje kot voda v talni raztopini. Opraviti je potrebno delo, da se sprost. Kadar je matrični potencial dejavnik, so vrednosti vedno negativne. V nasičenih tleh z vodo, kjer je nekaj vode proste za gibanje, matrični potencial ni dejavnik, zato je njegova vrednost nič.

2.3.1 Matrični potencial

Za zadrževanje vode v tleh je med vodnimi potenciali najpomembnejši matrični potencial. Ta nam da informacijo o energiji, s katero se veže in drži voda v tleh. Povezava med vsebnostjo talne vode in matričnim potencialom je temeljni del ugotavljanja vodno zadrževalnih lastnosti tal (Dane in Hopkins, 2002).

Voda se v tleh na talne delce veže na dva načina. Adsorpcija molekul vode na površino talnih delcev preko Van der Walsovih sil, ki delujejo na kratke razdalje, z električnimi silami med dipolno molekulo vode in električno nabito površino koloidnih delcev. Drugi način pa je zadrževanje vode v tleh z menisknimi silami, ki se pojavijo na mestu kontakta dveh delcev. Manjši je delež vode v tleh, večja je moč vezave (Hillel, 1998).

Matričnemu potencialu pravimo tudi tenzija vode. Tenzija je izraz za negativni tlak, ker med talnimi delci in molekulami vode delujejo privlačne sile (na enoto površine talnih delcev). Odnos med vsebnostjo vode v tleh ter tenzijo talne vode je do določene mere odvisen od velikosti in geometrijske razporeditve por v trdi frakciji tal. Tenzija je izražena v enotah tlaka (Pa), v enotah višine vodnega stolpca (m) ali s pF vrednostmi. Pascal je enota za tlak, in sicer je 100 kPa 1 bar, kar je enako 1,017 m vodnega stolpca (Zupanc in Pintar, 2005). Enote pF (potential force) so definirane kot negativni logaritem centimetrov vodnega stolpca (VS). Pretvorba 100 kPa oz. 1 bar ustreza višini 10 m VS oz. 1000 cm VS. Če želimo pretvoriti 100 kPa ali 1 bar, potem pretvorimo najprej v cm VS, te logaritmiramo, torej $\log 1000 \text{ cm VS}$, kar je 3 pF (Zupanc in Pintar, 2007).

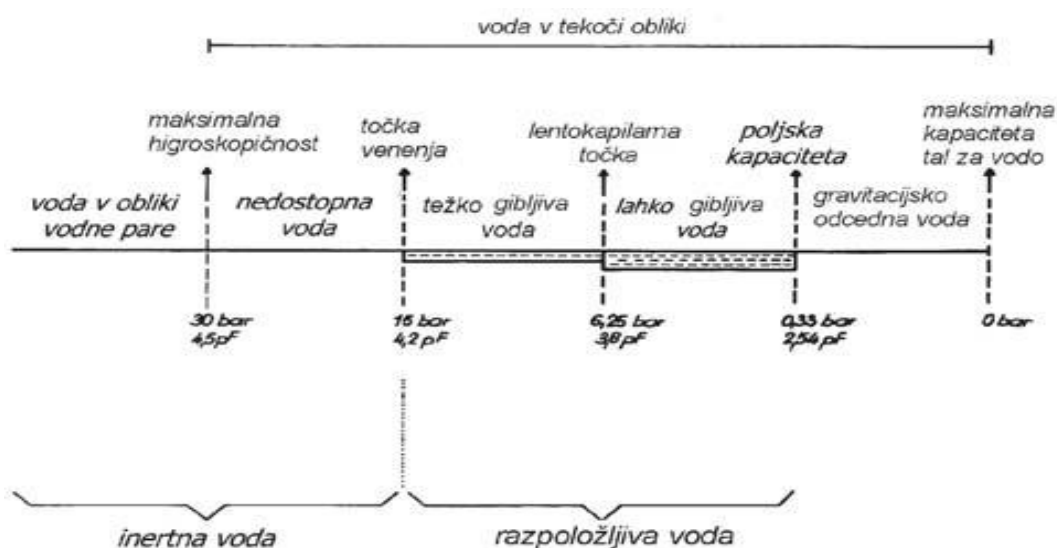
2.3.2 Vodne konstante tal

Vodna konstanta predstavlja vsebnost vode v tleh pod določenimi pogoji, po katerih se lahko določi količina vode. Pri preučevanju vodnih konstant je treba poznati vrsto vode in pojave, ki so povezani z njenim zadrževanjem in gibanjem v tleh. Vrednost vodnih konstant je odvisna od fizikalnih in kemijskih značilnosti tal kot tudi od uporabe agrotehničnih ukrepov (Tomić, 1988).

Težko je določiti meje med različnimi vrstami in oblikami vode v tleh. Da pa bi se te razlikovale, so bile uvedene v prakso vodne ali hidropedološke konstante tal. Te predstavljajo količino zadržane vode v tleh pod določenimi pogoji, ki se lahko točno določijo. Vrednosti vodnih konstant so spremenljive (čeprav nosijo ime konstanta, ki običajno pomeni nekaj čvrstega, trdnega, nespremenljivega), odvisno od prihoda in izhoda vode v tla. Med njimi ni ostrih mej, ker se medsebojno prekrivajo, saj konstanta z večjo kvantitativno vrednostjo vsebuje v sebi tudi ostale konstante z manjšo vrednostjo (Tomić, 1988).

Za reguliranje vodnega režima v tleh so pomembne sledeče konstante (slika 1):

- **Tla so nasičena z vodo** takrat, ko so vse talne pore napolnjene z vodo ($pF=0$).
- **Tla imajo poljsko kapaciteto tal**, ko iz njih odteče vsa gravitacijska voda in ostane le kapilarna in higroskopsko vezana voda. V povprečju imajo tla pri poljski kapaciteti matrični potencial vode okoli $0,33 \times 10^5$ Pa (= 0,33 bara oz. $pF=2,5$). Novejša literatura za poljsko kapaciteto označuje vodo v tleh, katere matrični potencial je večji od $pF=1,8$.
- **Efektivna poljska kapaciteta** (rastlini dostopna oz. fiziološko aktivna) označuje vodo v tleh, katere matrični potencial je med poljsko kapaciteto ($pF=2,5$) in točko venenja ($pF=4,2$).
- **Točka venenja**. Korenine črpajo vodo iz talnega matriksa do stopnje, ko postanejo sile, ki povezujejo vodo s trdno fazo, večje kot je energijska sposobnost korenin, da črpajo vodo. To točko imenujemo točka venenja. Med poljsko kapaciteto in točko venenja je območje dostopne vode rastlinskim koreninam in takšno vodo imenujemo rastlinam dostopna voda. Matrični potencial vode je v točki venenja okoli 15×10^5 Pa (=15 barov oz. $pF=4,2$) (Suhadolc in sod., 2008).

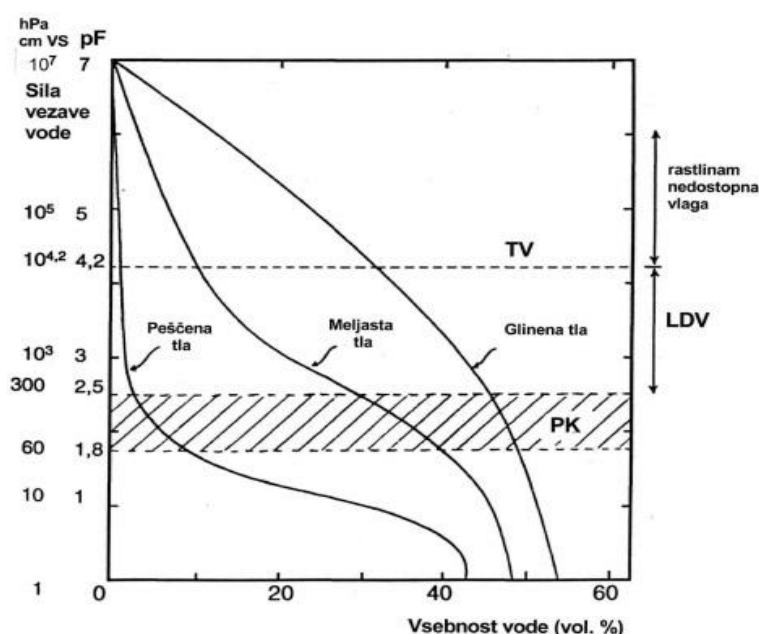


Slika 1: Vodne konstante v tleh (Pintar, 2006)

2.3.3 Desorpcijska krivulja

Krivulja tenzije vode predstavlja povezavo med količino vode v tleh in silo, s katero je voda vezana na talne delce. Sila, s katero je voda vezana v tleh, je izražena s pF vrednostjo. Prikazuje tudi dostopnost vode rastlinam. Pri določanju pF vrednosti simuliramo razmere desorpcije, tako pF krivulja prikaže desorpcijske lastnosti tal. Krivulja je grafični prikaz pF vrednosti v odvisnosti od ustrezne vsebnosti vodnega talnega vzorca. Silo, s katero je voda vezana v zemlji, izraženo v pF , nanesimo na y os, ustrezni masni ali volumski odstotek vode pa na x os (Zupanc in sod., 2009). Desorpcijske krivulje so specifične za posamezna

tla (Slika 2). Oblika desorpcijske krivulje je v veliki meri odvisna od teksture tal. Glinasta tla, npr. pri enaki tenziji vode, zadržijo večjo količino vode v tleh kot peščena. Klasična metoda za izdelavo desorpcijske krivulje je Richardova tlačna posoda, kjer vzorce tal izpostavimo znanim pritiskom (0,01, 0,1, 0,33, 0,5, 1, 3, 5, in 15 bar oz. 10, 100, 330, 500, 1000, 3000, 5000 in 15000 hPa) in ko se pri določenem pritisku vzpostavi ravnovesje, lahko določimo količino vode, ki se je zadržala v tleh. Sodobna metoda za izdelavo desorpcijske krivulje s sistemom HYPROP nam omogoči sprotno spremljanje vezave vode v tleh skozi proces naravnega sušenja od točke nasičenja (0 bar) do točke venenja (15 bar).



Slika 2: Desorpcijska krivulja za različne tipe tal (Stritar, 1991)

2.4 MERJENJE VODE V TLEH

Merjenje spremenljive količine vode v tleh oz. merjenje energijskega stanja vode v tleh so pomembni faktorji pri agronomskih, ekoloških in hidroloških raziskavah. Za merjenje vode v tleh poznamo neposredne in posredne metode. Te se med seboj razlikujejo po zanesljivosti meritev, kako hitro so rezultati meritev uporabniku razpoložljivi, ponovljivosti meritev, območjem meritev ter ceno opreme, potrebno za posamezno metodo (Zupanc in sod., 2009).

Neposredne metode temeljijo na oblikah odstranitve oziroma ločitve vode iz tal, pri čemer neposredno izmerimo količino oz. delež odstranjene vode. V tem primeru je gravimetrična metoda najbolj zanesljiva meritev in se uporablja kot kalibrni standard za vse ostale metode. Pri natančnih odvzemih vzorcev izmerimo dejansko vsebnost vode v tleh, ki nas zanima. Metoda temelji na ločitvi vode, ki pri izparevanju izhlapi, pri čemer nam ostane le

suha frakcija. Vzorec v naravi vzamemo in stehtamo, nato ga damo za 24 ur v sušilnico na 105°C. Na ta način dosežemo, da izhlapi vsa voda razen higroskopsko vezane, ki pa za rastlinsko pridelavo nima bistvenega pomena. Po sušenju vzorec ponovno stehtamo. Razlika v masi nam poda vsebnost vode, ki jo lahko izrazimo v masnem ali volumskem deležu (Zupanc in sod., 2009).

Pri posrednih metodah za določanje vode v tleh uporabljamo različne naprave, ki nam omogočajo hitrejše in bolj natančne podatke vsebnosti vode v tleh. S tenziometrom si lahko pomagamo za sprotno ugotavljanje vode v tleh. Izmerimo lahko količino vode v tleh preko sile, s katero je voda vezana v tleh. Tenziometer torej ne izmeri, koliko vode je v tleh ali substratu, pač pa omogoča in situ meritve matričnega potenciala oziroma t.i. tenzijo vode v tleh (Hillel, 1998).

Tipičen tenziometer sestavlja porozna keramična kapica, ki je povezana z merilcem podtlaka preko največkrat toge cevke, napolnjene z vodo. Keramična kapica z zelo finimi porami prepušča vodo in služi kot vmesnik med vodo v tleh ter vodo v tenziometru. Meniskus, ki je posledica površinske napetosti vode, pa do določene meje preprečuje vstop zraka. Porozna keramična kapica je v tesnem stiku s tlemi na globini oz. mestu, kjer želimo meriti tenzijo, s katero je voda vezana v okoliških tleh. Za merjenje podtlaka, ki se ustvari v ohišju tenziometra, se lahko uporablja manometer ali elektronski prevodnik pritiska (Zupanc in Pintar, 2007). S tenziometrom lahko teoretično merimo podtlake do 100 kPa oz. 1 bar, to pomeni, da je lahko opraviti meritve potenciala samo na vlažnem delu vodno retenzijske krivulje (pF 0 do pF 3). Rastlinam dostopna voda je v tleh med poljsko kapaciteto (pF 2,5) in točko venenja (pF 4,2), kar pomeni, da tenziometri delujejo samo v delu območja rastlinam dostopne vode.

Meritve s tenziometrom v praksi potekajo do 85 kPa (2,72 pF). Ko pride do vstopa zraka skozi pore keramične kapice, je vsebnost vode v tleh na mejni točki. Posledica vdora zraka je znatno zmanjšanje podtlaka v cevki (ohišju) tenziometra in takrat meritve niso več skladne z dejanskim stanjem matričnega potenciala v tleh. V grobo zrnatih tleh se to lahko zgodi že prej, ko so tla še vlažna. Kontrolirana porazdelitev por na keramični kapici omogoča, da lahko ostane nasičena, dokler matrični potencial okoli nje ne doseže 100 kPa (1000 cm VS) (Zupanc in Pintar, 2007).

2.5 LASTNOSTI TAL

2.5.1 Tekstura tal

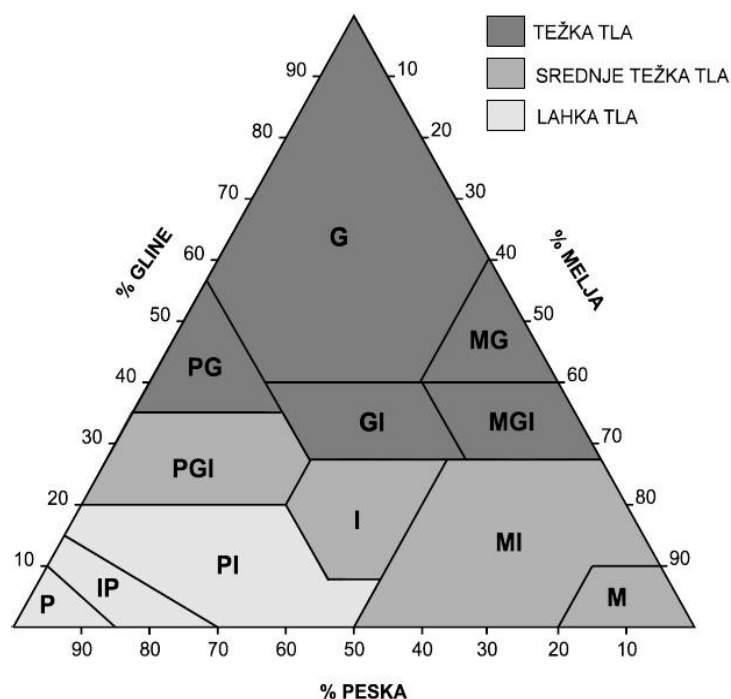
Velikost talnih delcev ključno definira njihove fizikalne, kemijske in biološke lastnosti. Med majhnimi talnimi delci nastajajo majhne pore, medtem ko med velikimi talnimi delci

nastajajo srednje in velike pore, kar vpliva na zračnost, prepustnost tal za vodo, kapaciteto tal za zadrževanje vode in na prostor, primeren za naseljevanje in življenje organizmov. Mineralni delci so različnih velikosti, ki se delijo v sledeče velikostne frakcije: pesek, melj in glino. Tekstura tal je tako razmerje med količino peska, melja in gline v drobnem delu tal (< 2 mm) (Suhadolc in sod., 2008). Na osnovi deleža posamezne frakcije določimo teksturni razred (Preglednica 1) s pomočjo teksturnega trikotnika (slika 3).

Pesek ima majhno specifično površino (fini pesek $0,1 \text{ m}^2/\text{g}$ tal). V tleh sodeluje pri fizikalnih procesih, tako da povečuje zračnost in prepustnost za vodo. Zaradi tega ima majhno kationsko izmenjalno kapaciteto in sposobnost za zadrževanje vode je prav tako majhna. V splošnem so peščena tla suha, topla in siromašna s hranili.

Melj ima nekoliko večjo specifično površino ($1 \text{ m}^2/\text{g}$ tal) kot pesek, zaradi tega ima v manjši meri že vpliv na kemijske lastnosti, tako da je že možen kapilarni dvig, vendar še vedno prevladuje vpliv na fizikalne lastnosti tal. Tla z vsebnostjo velikega deleža melja (pseudogleji, lesivirana tla) so slabše kakovosti. Frakcijo melja lahko tvorijo mikro peščeni delci, med katerimi prevladuje kremen.

Glina ima zaradi velike specifične površine ($10\text{-}10.000 \text{ m}^2/\text{g}$ tal) veliko kationsko izmenjalno kapaciteto in prav tako veliko sposobnost za zadrževanja vode in tudi drugih snovi v tleh. Izredno majhni delci gline se lahko med seboj tesno prilegajo in tako tvorijo zelo številne pore, ki so zelo majhne. Gibanje vode in zraka je v glinastih tleh upočasnjeno, so hladna in slabo prezračena, možen pa je kapilarni dvig vode (Suhadolc in sod., 2008).



Slika 3: Teksturni trikotnik ameriške teksturne klasifikacije (cit. po Grčman in Zupan, 2008)

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

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

2.5.2 Struktura tal

Struktura tal je prostorska ureditev med talnimi delci, agregati in praznim prostorom. Nastanek dobro struktuiranih tal omogočajo mikroagregati, ki nastajajo s povezovanjem delcev glinenih mineralov med seboj s pomočjo humusa, ki služi kot vezivo. Mikroagregati se zlepljajo s polisaharidnimi snovmi skupaj z delci peska in melja, ki se združujejo v makroagregate. Pod vplivi vlaženja, izsuševanja, zmrzovanja in taljenja v tleh se iz mikro- in makro-agregatov oblikujejo strukturni agregati, ki so lahko različnih oblik: sferični, poliedrični, prizmatični ali lističasti. Dobro obstojni strukturni agregati omogočajo ugodno strukturo tal, ki je pomemben dejavnik za izboljšanje rodovitnosti tal (Leštan, 2001). Najpomembnejša značilnost strukturno dobrih tal je, da lahko vpijajo vodo in jo zadržujejo ter tako pomembno vplivajo na vodno zadrževalne lastnosti tal.

2.5.3 Poroznost

Trdni delci tal oz. strukturni agregati se različno prilegajo med seboj in posledično tvorijo prazne prostorčke, ki jih imenujemo talne pore. So različnih oblik in velikosti, zato jih delimo na makro- (večje), mezo- (srednje) in mikro- (manjše) pore. V talnih porah se nahaja voda ali zrak ali pa oba hkrati. Za rastline je najbolj ugoden položaj, ko so makropore zapolnjene z zrakom in mikropore z vodo. Voda in zrak v tleh sta v ravnotežju, oz. sta med seboj odvisna. Razmerje vode in zraka v tleh je odvisno od velikosti in oblike por, njihove medsebojne povezanosti ter količine vode, ki je na voljo (padavine, bližina podtalnice). Vodno zračni režim v tleh v veliki meri pogojuje rodovitnost tal. Velikost in oblika por zelo vplivata tudi na sposobnost tal za zadrževanje vode. Poroznost nam pove, kakšen je volumen por glede na skupni volumen tal, odvisna je od teksture, strukture in deleža organske snovi (Suhadolc in sod., 2005).

2.5.4 Organska snov v tleh

Organsko snov v tleh delimo na živo organsko snov, kamor štejemo žive organizme, in neživo organsko snov, ki jo predstavljajo različno razgrajeni rastlinski in živalski ostanki, ter stabilizirane kompleksne organske spojine (humus) (Suhadolc in sod., 2008). Približno 70 do 90 % organskih ostankov se letno razkroji (mineralizira) do osnovnih rastlinskih hranil (nitrati, fosfat, sulfat, ogljikov dioksid, voda, itd.), ostalih 10 do 30 % organskih ostankov v tleh pa ne razpade do osnovnih hranil, ampak se iz njih po delnem razkroju sintetizira humus (Leskošek, 1993). Organska snov ima vlogo v pedogenetskih procesih, vpliva na fiziološke, kemične in biološke lastnosti tal. Prispeva k nastanku in obstoju strukturnih agregatov, izboljšuje zračnost in poroznost, kar posledično povečuje talne kapacitete rastlinam dostopne vode zaradi povečanja deleža por, ki zadržujejo vodo z manjšo silo. Prav tako se izboljša infiltracijska sposobnost za vodo, ki omogoča, da se večji delež vode infiltrira v tla in posledično zadrži v tleh.

Količino organskega ogljika (C_{org}) v tleh se pogosto uporablja kot kazalec organske snovi v tleh. C_{org} se nahaja tako v organskem kot v mineralnem delu tal. Količina organske snovi v tleh je približno 1,724 krat večja od količine C_{org} v tleh (Urbančič in sod. 2007). Določevanje tal glede vsebnosti organske snovi v tleh prikazuje preglednica 2.

Preglednica 2: Delitev kmetijskih tal glede na skupno vsebnost organske snovi v tleh (Blume, 1992)

% organske snovi v kmetijskih tleh	Oznaka
< 1	zelo slabo humozna
1 - 2	slabo humozna
2 - 4	humozna
4 - 8	močno humozna
8 - 15	zelo močno humozna

Pedološke karte kažejo, da so tla v Sloveniji na splošno dobro preskrbljena z organsko snovjo. Vsebnost več kot 2 % organske snovi v tleh je na 86,2 % kmetijskih zemljišč in več kot 4 % organske snovi na 30,9 % zemljišč (ARSO, 2008), kar jih uvršča med humozna in močno humozna tla.

2.5.5 Gostota tal in pedotransfer funkcije

Gostota tal (ρ_{vol}) je definirana z razmerjem med maso trdne faze tal in volumnom tal (neporušeni vzorec). Gostoto tal določajo: tekstura, struktura in delež organske snovi. Odvisna je od razmerja med količino organske in mineralne snovi v tleh in od skupnega volumna por. Tla z velikim deležem organske snovi imajo velik porni volumen in majhno gostoto, npr. surovi humus ima gostoto $0,2 \text{ g/cm}^3$, medtem ko imajo povprečna poljska tla

gostoto $1,5 \text{ g/cm}^3$. V največji meri na gostoto tal vpliva gostota talnih delcev (peska, melja, gline, organske snovi) ter njihova razporeditev (Suhadolc in sod., 2008).

Pedotransfer funkcije (pedotransfer function – PTF) ali pretvorbene funkcije so napovedovalni algoritmi oz. numerični in statistični modeli. Iz lahko merljivih oz. cenejših in obstoječih fizikalnih in kemijskih podatkov tal lahko s pomočjo PTF sklepamo o kompleksnih lastnosti tal oz. zemljišč. S PTF lahko tako z lahko pridobljenimi podatki dobimo ocene težje dostopnih in bolj zapletenih meritev oz. lastnosti tal. Ocenimo lahko npr. stres zaradi suše tal na vegetacijo; izračun vodne bilance; kakovosti tal za različne namene; oceno vsebnosti organskega C v mineralnem delu tal. PTF, ki se razvijajo v drugih državah, so v veliki meri prilagojene njihovim lokalnim pedološko-geomorfološkim razmeram in podatkom in niso v celoti prenosljive v slovenski prostor (Vrščaj, 2009), zato obstaja veliko različnih avtorjev PTF.

3 MATERIALI IN METODE

Za raziskovalno delo smo potrebovali tla, ki so morala vsebovati manj kot 1 % organske snovi. Takšnim tlom smo dodajali različno organsko snov (kompost, hlevski gnoj in šoto), da bi dosegli vsebnost organske snovi, kot jih vsebujejo humozna in močno humozna tla v naravi. Meritve zadrževanja vode so potekale pri tleh brez dodatka organske snovi in pri tleh z dodatkom 2 % in 5 % organske snovi.

3.1 IZBOR TALNEGA VZORCA

Primerna tla smo našli na laboratorijskem polju na Biotehniški fakulteti v Ljubljani. Na izbrani lokaciji smo najprej vzeli vzorec tal na globini 30 cm in ga analizirali glede vsebnosti organske snovi. Ker so bila tla primerna (tla z manj kot 1 % org snovi), smo na tej lokaciji vzorčili še gostoto tal. Na globini 30 cm obdelovalne plasti tal smo v treh ponovitvah odvzeli neporušene vzorce tal s cilindri HYPROP volumna 250 cm³, sondo in kladivom. HYPROP cilindre je bilo potrebno pazljivo vzeti iz sonde, odrezati odvečna tla na straneh cilindra, nato pa tla sprazniti iz cilindrov v PVC vrečko ter dobro zapreti, da ne pride do izhlapevanja vode. V laboratoriju je potekalo določanje gostote tal (Preglednica 2), katere končni rezultat je bila izračunana povprečna gostota tal 1,52 g/cm³.

Preglednica 3: Določanje gostote (g/cm³) izbranih tal

Masa posode (g)	Masa posode + masa vzorca(g)	Vlažna tla (g)	Masa posode + suha tla (g)	Suha tla (g)	Gostota tal (g/cm ³)
419,15	890,41	471,26	793,42	374,27	1,50
448,93	916,43	467,50	825,92	376,99	1,51
453,27	932,46	479,19	838,42	385,15	1,54

3.2 SUBSTRATI

Izbrali smo tri različne substrate kot dodatek organske snovi k tlom.

1. Kompost kot gnojilo rastlinskega izvora.
2. Hlevski gnoj je živinsko gnojilo, sestavljeno iz iztrebkov živali, kot sta blato in seč, pomešana s steljo.
3. Šota, ki je naravni organski substrat, ki se pogosto uporablja v vrtnarski pridelavi. Skupne lastnosti substratov so, da se vsi dodajajo k zemlji, redko se uporabljajo samostojno, nase dobro vežejo vodo in vsebujejo hranilne snovi za rastline.

3.3 ANALITSKE METODE

Določitve organske snovi v tleh in substratih (kompost, šota, hlevski gnoj) in določitve teksture tal so bile opravljene v laboratoriju Katedre za pedologijo in varstvo okolja na Biotehniški fakulteti v Ljubljani.

3.3.1 Določitev teksture tal

Teksturo tal smo določili po modificirani metodi (ISO 11277, 1998); brez odstranjevanja organske snovi in karbonatov.

Postopek

V stekleničke smo zatehtali 10 g tal, jih prelili s 25 ml Na-pirofosfatom in pustili stati preko noči. Naslednji dan smo jih na stresalniku stresali 4 ure. Suspenzijo smo prenesli na sito premera 0,2 mm in izpirali z deionizirano vodo toliko časa, da so na situ ostali le še delci, večji od 0,2 mm, ki predstavljajo grobi pesek. Tega smo prenesli v predhodno stehtano izparilnico in posušili na ogreti peščeni kopeli (105⁰C) ter suhe prenesli v eksikator. Suspenzijo, ki je šla skozi sito, smo prelili v valje in jih napolnili z deionizirano vodo do oznake 1000 ml. Valj smo zamašili in stresali 3 minute. Po treh minutah smo postavili valj na mizo. Postopek usedanja se je pričel, zato valja nismo smeli več premikati. Prvič se je pipetiralo po 44 sekundah na globini 10 cm. Odpipetirano suspenzijo smo prelili v izparilnico, dali na peščeno kopel, da se je posušila, posušene izparilnice pa v eksikator. Valj smo zopet stresali 3 minute in ga postavili na mizo. Tokrat smo pipetirali po 4 minutah in 27 sekundah. Valje smo ponovno stresali in pipetirali po istem postopku, po 7 urah in 35 minutah. Naslednji dan smo stehtali izparilnice in izračunali deleže peska, melja in gline.

Analiza teksture tal je pokazala, da tla vsebujejo 55,5 % melja, 43,9 % gline in 0,6 % peska. Po teksturnem trikotniku se takšna tla uvrščajo med meljasto glino oz. težka tla.

3.3.2 Določitev suhe snovi

Vzorcem tal in substratov smo določili suho snov s sušenjem na 30°C za zračno suho snov in na 105°C za absolutno suho snov.

3.3.3 Določitev organske snovi v tleh

Določanje organskega in celokupnega ogljika smo določali po metodi Walkey – Blacku (SIST ISO 14235, 1999). Metoda temelji na spontani oksidaciji organske snovi v raztopini žveplove in kromove kisline.

Postopek

Za postopek smo uporabili 200 ml merilne bučke in v vsako zatehtali 1 g vzorca. Prilili smo 10 ml $K_2Cr_2O_7$ in 20 ml koncentrirane H_2SO_4 ter raztopino dobro premešali in jo pustili 20 minut, da je reakcija potekla. V bučko smo nato dolili deionizirano vodo do oznake 200 ml. Od celotne raztopine smo odpipetirali 20 ml, dodali 1 ml 85% H_3PO_4 , 0,2 g NaF ter 3 kapljice difenilamina (indikatorja). Suspenzijo smo narahlo premešali. Sledila je titracija suspenzije z raztopino 0,5 M fero-amonsulfatom. Barva suspenzije je bila na začetku rjava, med titracijo je prehajala v motno modro barvo, končno stanje pa je bil preskok v zeleno barvo. Pri titraciji smo uporabili tudi standardno oziroma slepo probo, ki smo jo pripravili na enak način kot ostale vzorce, le brez vzorca tal. Iz pridobljenih podatkov je sledil izračun deleža organske snovi.

3.3.4 Določitev organske snovi v substratih (kompost, šota, hlevski gnoj)

Organsko snov v substratih smo določili s sežigom absolutnih suhih vzorcev pri 1000°C. Pepel, ki je ostal od sežiga, smo stehali ter iz pridobljenih podatkov izračunali vsebnost organske snovi v substratih (preglednica 3).

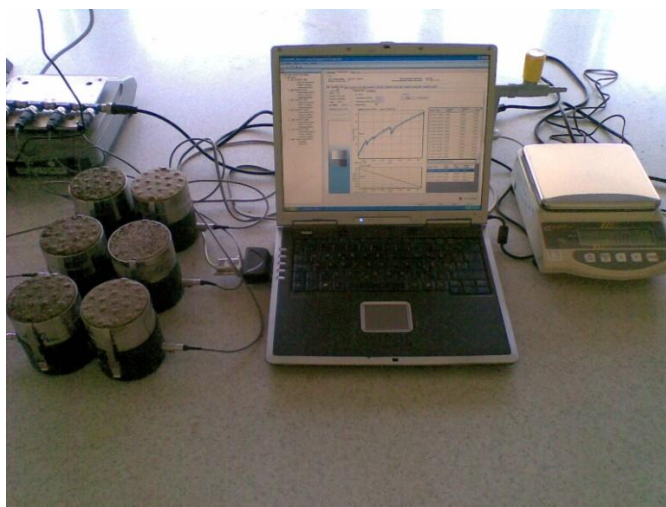
Preglednica 4: Vsebnost organske snovi v substratih (%), določena s sežigom

Substrat	Masa vlažnega vzorca (g)	Masa pepela (g)	% pepela	100 - % pepela	Povprečni % organske snovi v substratih
Kompost	6,57	3,79	57,69	42,31	43,93
Kompost	5,89	3,29	55,86	44,14	
Kompost	6,66	3,64	54,65	45,35	
Šota	2,08	0,14	6,73	93,27	93,31
Šota	2,06	0,14	6,80	93,20	
Šota	2,29	0,15	6,55	93,45	
Hlevski gnoj	2,95	0,14	4,75	95,25	95,30
Hlevski gnoj	2,67	0,12	4,49	95,51	
Hlevski gnoj	3,29	0,16	4,86	95,14	

3.4 MERITVE VODNO ZADRŽEVALNIH LASTNOSTI TAL Z NAPRAVO HYPROP

Sistem HYPROP je naprava, ki je namenjena laboratorijskemu delu, ki deluje po metodi izhlapevanja WIND/SCHINDLER za določevanje nenasičene hidravlične prevodnosti in vodno zadrževalnih karakteristik vzorcev tal (HYPROP..., 2010). Metoda izhlapevanja je enostavna metoda za določevanje zadrževalne krivulje tal. Nenasičeno prevodnost določimo z merjenjem tenzije vode v tleh z miniaturnimi tenziometri v dveh višinah

znotraj vzorca, ki sta nameščena v vzorec s spodnje strani. Prednost metode določevanja vode v tleh z napravo HYPROP v primerjavi z drugimi metodami je, da so vodno zadrževalne lastnosti določene v naravnem procesu sušenja tal. Izjemne lastnosti naprave HYPROP so enostavno rokovanje in modularne postavitve. Za zagon potrebujemo HYPROP zaganjalnik in merilno lestvico. Obstoječo laboratorijsko tehtnico lahko vključimo, če ima ta zaporedno povezavo in merilno območje do 2000 gramov. Ta sklop pa se lahko podaljša na največ 20 vzorčnih enot (Slika 4). Preko osebne ali prenosne računalnika s programom tensioVIEW spremljamo oziroma merimo tenzijo vode in maso v vzorcih.



Slika 4: Enote senzorjev s cilindri (6 vzorčnih enot), prenosni računalnik z merilno lestvico in tehtnica

V enoti senzorja sta v osrednji del vključena elektronska komponenta in pretvorniki pritiska. Pretvorniki pritiska merijo tenzijo vode proti atmosferi preko dveh tenziometrov, ki sta nameščena na dveh višinah, nižji na 1,25 cm in višji na 3,75 cm.

3.4.1 Priprava vzorcev

Vzorci tal smo pripravljali po navodilih User Manual HYPROP (2010). Vzorce tal lahko vzamemo v naravi neposredno s HYPROP cilindrom (neporušen vzorec) ali pa jih kompaktiramo v laboratoriju (porušen vzorec). V našem primeru smo porušene vzorce tal kompaktirali, ker smo pripravili tudi mešanice tal in substratov. Vzorce tal in substrate smo najprej posušili in presejali čez 2 mm. Nato smo pripravili mešanice v ustreznem masnem razmerju (Preglednica 4) in z njimi napolnili cilindre do ustrezne gostote. Polne cilindre smo dali na vlaženje do popolne nasičenosti z vodo (Slika 5).



Slika 5: Vlaženje vzorcev. Na spodnji strani cilindra je nameščena gaza in pod gazo podstavek z luknjami. Tako pripravljene cilindre so nameščene v večjo posodo (višina cca. 7 cm) z vodo, ki sega do 1 cm pod robom cilindra

Pri kompaktiranju vzorcev do izbrane gostote $1,5 \text{ g/cm}^3$ je prišlo do težav, predvsem pri vzorcih z večjim deležem organske snovi. Količina organske snovi v tleh vpliva na gostoto tal in ker smo z dodatkom substrata k tlom vplivali na spremembo gostote tal (organska tla imajo nižjo gostoto), ni bilo mogoče napolniti cilindrov. S pedotransfer funkcijo smo izračunali primerno gostoto tal glede na vsebnost organske snovi v tleh, tako smo pridobili nove primernejše gostote tal za napolnitev cilindrov z mešanico zemlje in organske snovi. Ker nismo zasledili PTF za kmetijska tla, smo izbrali funkcijo Urbančič in sod. 2007, ki je namenjena za napovedovanje gostote tal v gozdnih tleh.

$$\rho_i = \left\{ \begin{array}{l} 1 / (0,625 + 0,05 \cdot \%C_{org} + 0,0015 \cdot \%gli) \rightarrow \text{če je } \%C_{org} \leq 5\% \\ 1,55 - 0,0814 \cdot \%C_{org} \rightarrow \text{če je } 5\% < \%C_{org} \leq 15\% \\ 0,725 - 0,337 \cdot \log_{10} \%C_{org} \rightarrow \text{če je } \%C_{org} \geq 15\% \end{array} \right. \quad \dots(1)$$

ρ_i [g/cm^3] – gostota tal horizonta i

$\%gli$ [%] – delež gline v horizontu i

$\%C_{org}$ – delež organskega ogljika v horizontu i .

Tla brez dodatka substrata so dobila novo gostoto $1,37 \text{ g/cm}^3$, tla z dodatkom 2 % substrata $1,26 \text{ g/cm}^3$ in tla z dodatkom 5 % substrata $1,06 \text{ g/cm}^3$. Mase tal in substratov za pripravo mešanice so predstavljene v preglednici 5.

Preglednica 5: Mase (g) mešanice tal in substratov glede na masni % za HYPROP cilinder

Tla + substrat	Organska snov v substratu (%)	Masa vzorca na cilinder (g)	Masa tal + org. snovi (g)	Masa substrata (g)
Tla	0,0	342,5	342,5	0
Tla + 2 % kompost	43,9	315,0	300,0	14,3
Tla + 2 % hlevski gnoj	95,3	315,0	308,4	6,6
Tla + 2 % šota	93,3	315,0	308,3	6,8
Tla + 5 % kompost	43,9	265,0	234,8	30,2
Tla + 5 % hlevski gnoj	95,3	265,0	251,1	13,9
Tla + 5 % šota	93,3	265,0	250,8	14,2

3.4.2 Potek merjenja

Navlažene vzorce smo priklopili na napravo HYPROP ter pričeli z merjenjem količine vode ob določeni tenziji vode v tleh. Med tem smo morali vzorce tehtati najmanj trikrat na dan, ker je bila na računalnik povezana ena tehtnica in šest vzorcev. Meritve so bile opravljene pri sobni temperaturi 22-25°C in pri relativni vlažnosti okoli 50 %. Ko je prenehala prehajati voda iz tal čez porozno kapico tenziometra, je bila dosežena točka venenja in s tem tudi konec merjenja tenzije. Vlažne vzorce smo nato stehali in jih dali v peč na sušenje (105°C), dokler niso bili popolnoma suhi.

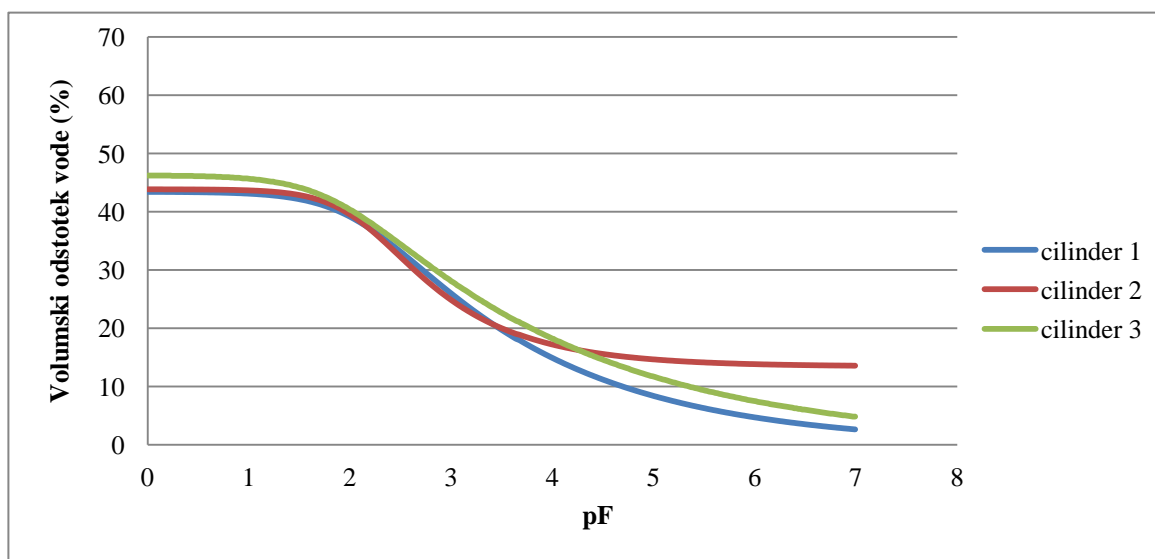
3.5 OBDELAVA PODATKOV

Vzorci so bili merjeni v treh ponovitvah. Po opravljenih meritvah smo za vsak substrat v tleh posebej primerjali dobljene rezultate. Rezultate smo dobili s programom tensionVIEW, ki je z vnosom podatkov mas suhih vzorcev pretvoril podatke tenzije vode iz enot hPa v pF vrednosti in podal količine (vol. %) zadržane vode tekom sušenja. Količina zadržane vode je bila merjena v razponu od -3,01 pF do 6,99 pF, interval merjenja je bil 0,02 pF. Program tensioVIEW omogoči iznos podatkov v program Microsoft Excel, katerega smo uporabili za izris desorpcijskih krivulj in za vrednotenje opisne statistike (povprečna vrednost, standardni odklon, koeficient variacije (KV)).

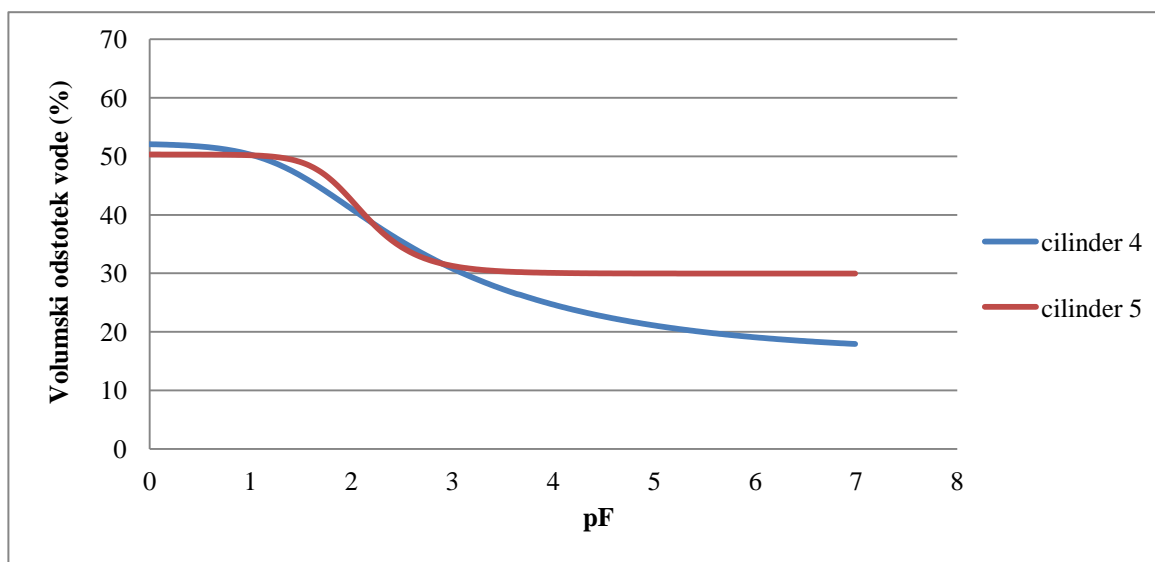
4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 MERITVE ZADRŽEVANJA VODE V VZORCIH TAL

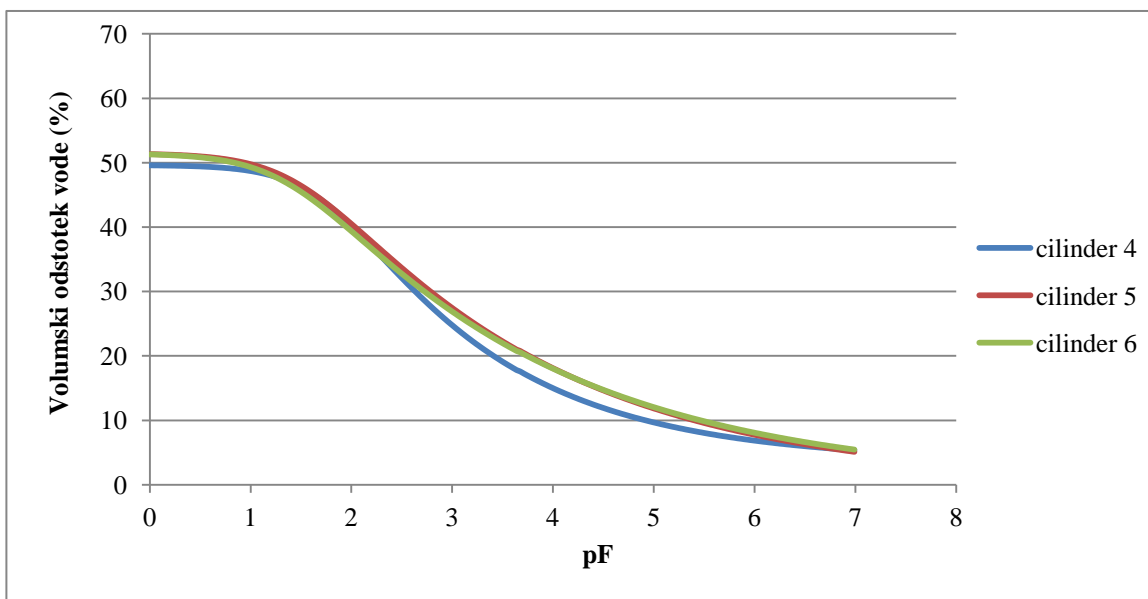
Z metodo izhlapevanja WIND/SCHINDLER smo določevali količino zadržane vode v tleh. V slikah 6-12 so predstavljene krivulje tenzije vode v tleh posameznih vzorcev. Prikazujejo količino vode v tleh v razponu med 0 in 6,99 pF. Podatki o rastlinam dostopni vodi (RDV) se nahajo v razponu med PK (2,54 pF) in TV (4,2 pF).



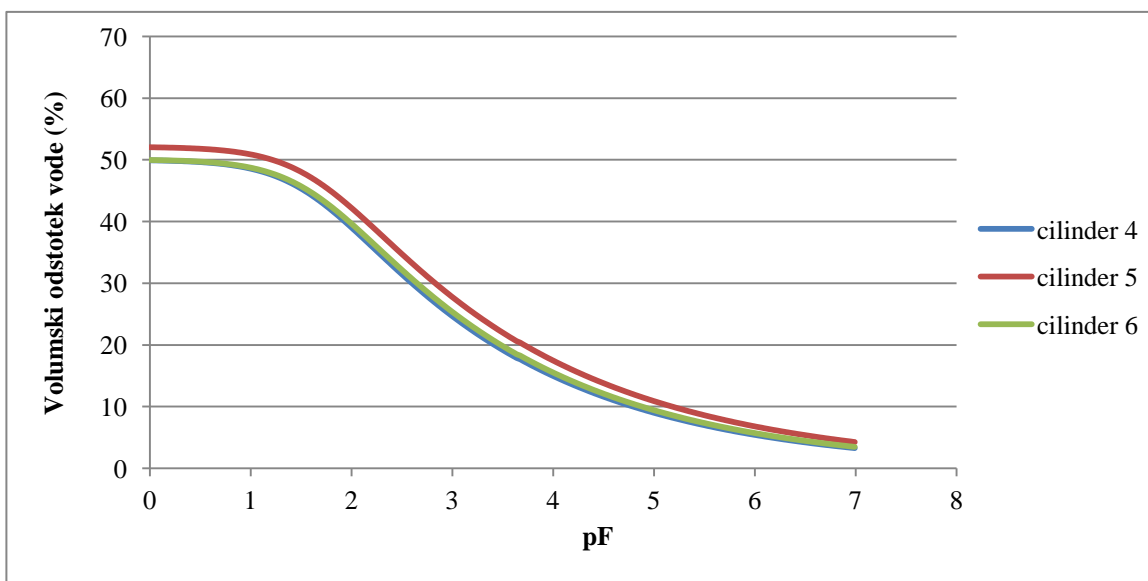
Slika 6: Zadrževanje vode (vol %) v vzorcih tal brez dodatka organske snovi



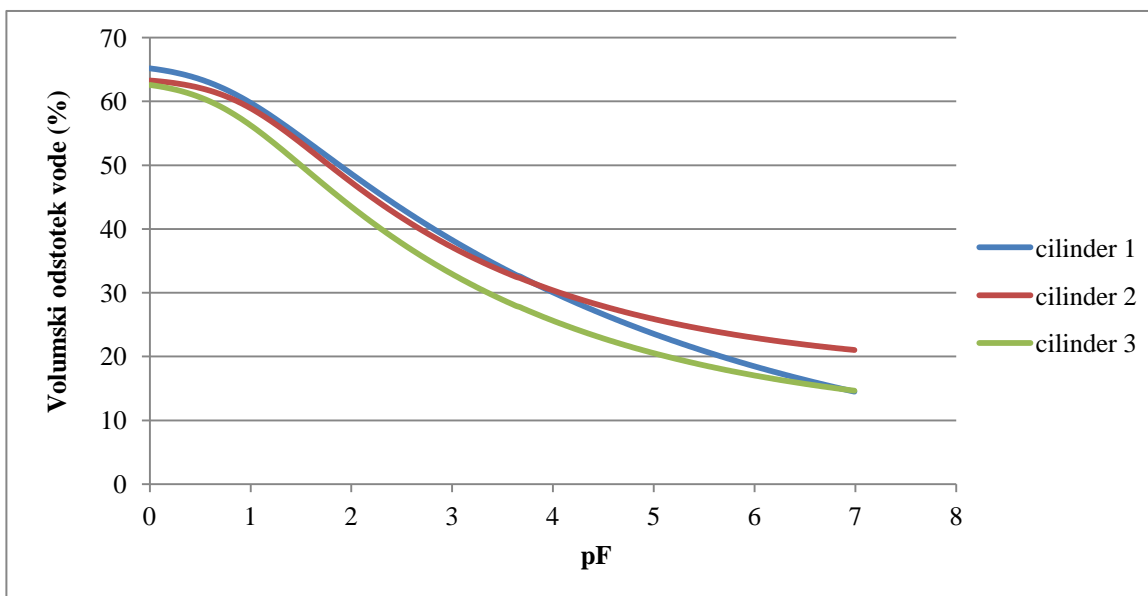
Slika 7: Zadrževanje vode (vol. %) v vzorcih tal z 2 % vsebnostjo komposta. Enega vzorca zaradi napake nismo upoštevali, zato sta na sliki samo dve krivulji



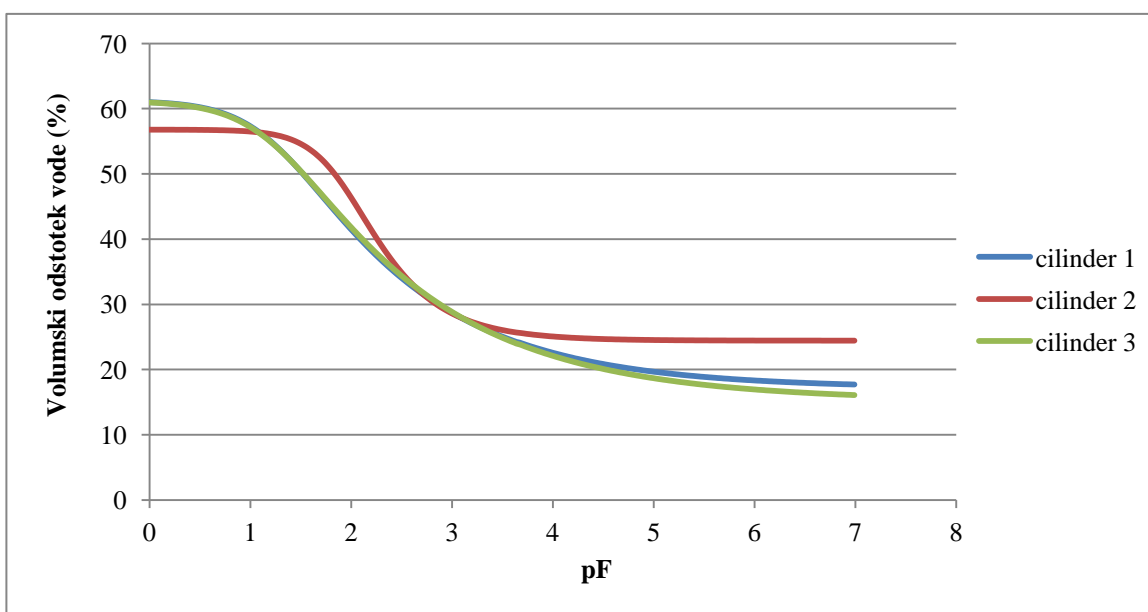
Slika 8: Zadrževanje vode (vol. %) v vzorcih tal z 2 % vsebnostjo hlevskega gnoja



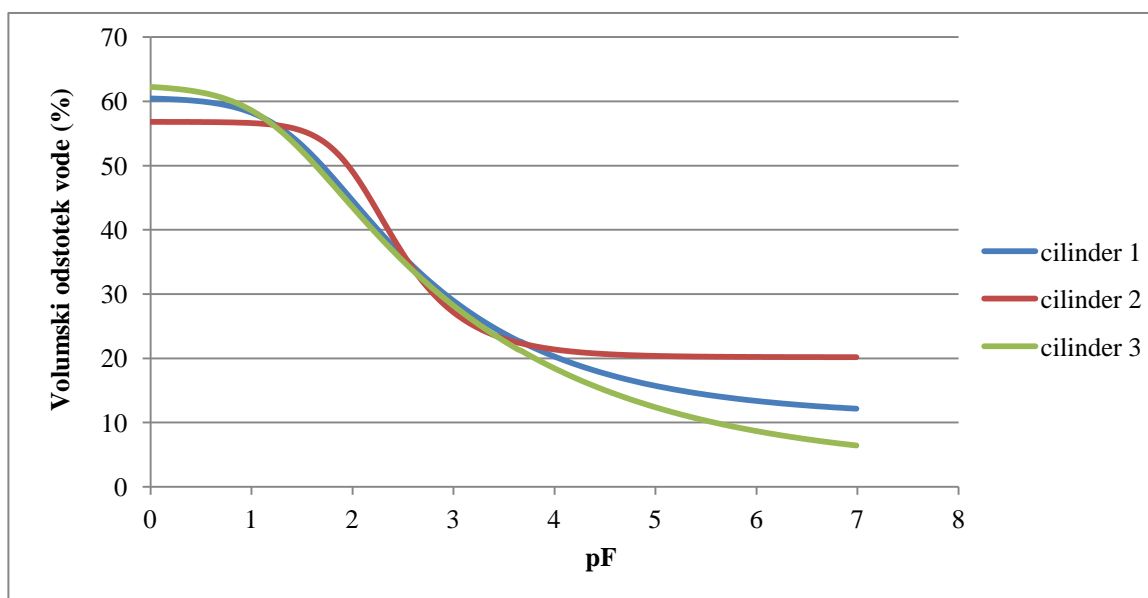
Slika 9: Zadrževanje vode (vol. %) v vzorcih tal z 2 % vsebnostjo šote



Slika 10: Zadrževanje vode (vol. %) v vzorcih tal s 5 % vsebnostjo komposta



Slika 11: Zadrževanje vode (vol. %) v vzorcih tal s 5 % vsebnostjo hlevskega gnoja



Slika 12: Zadrževanje vode (vol. %) v vzorcih tal s 5 % vsebnostjo šote

4.2 PRIMERJAVA ZADRŽEVANJA VODE MED VZORCI TAL

Iz slike 13 in preglednice 5 lahko razberemo, da dodatek organske snovi vpliva tako na PK kot tudi na TV. Z dodatkom organske snovi želimo doseči čim večjo količino vode med PK in TV oz. želimo čim več zadržane vode v vzorcu.

Vzorci z dodatkom 2 % komposta k tlom so pri PK zadržali za približno 5 vol. % več vode kot izvorna tla, prav tako so pri TV zadržali za približno 8 vol. % več vode, vendar je bilo rastlinam dostopne manj vode glede na izvorna tla. Pri dodatku 5 % komposta k tlom, se je PK povečala za približno 8 vol. %, TV pa za 12 vol. %. Količina rastlinam dostopne vode je bila nekoliko večja od vzorcev z dodatkom 2 % komposta, ampak vseeno manjša kot pri izvornih tleh.

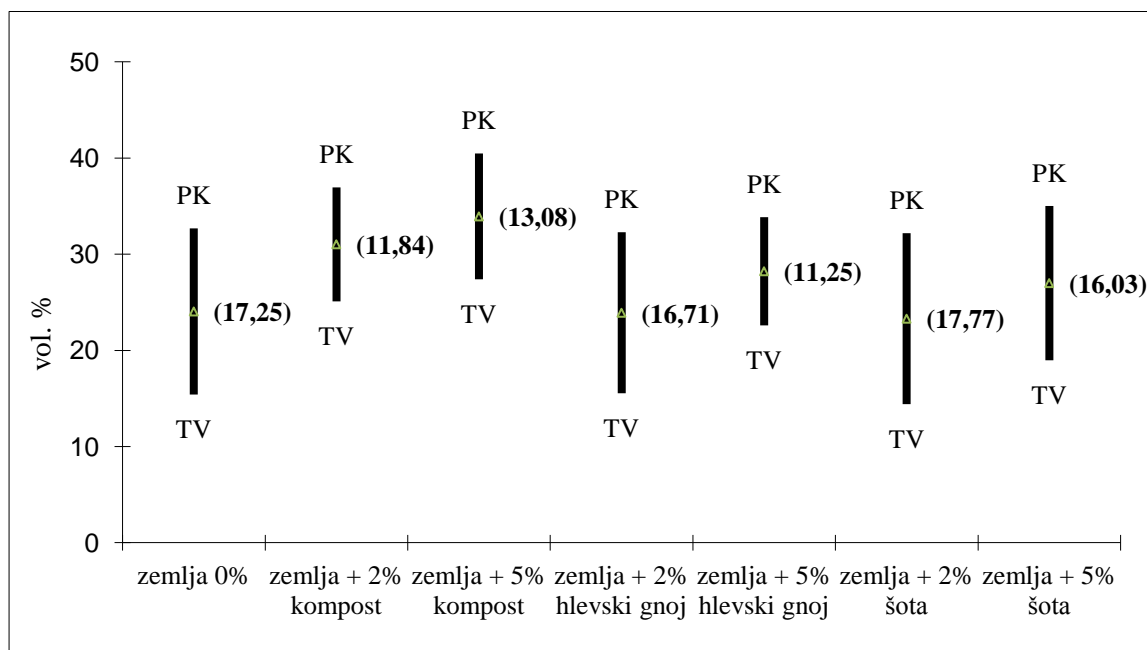
Vzorci z dodatkom 2 % hlevskega gnoja so napram vzorcem izvornih tal dosegli skoraj identične rezultate pri PK in TK kot količini rastlinam dostopne vode. Razlike se gibljejo v manj kot 0,5 vol. %. Pri dodatku 5 % hlevskega gnoja je bila količina vode pri PK za 1 vol. %, pri TV pa 7 vol. % večja kot pri izvornih tleh. Zaradi tako povečane TV so ti vzorci izmed vseh zadržali najmanjšo količino rastlinam dostopne vode.

Vzorci tal z dodatkom 2 % šote so pri PK zadrževali približno enako količino (0,5 vol. % manj) kot izvorna tla, TV pa se je zmanjšala za 1 vol. %, kar je prispevalo k največji količini rastlinam dostopne vode izmed vseh vzorcev (0,5 vol. % več kot izvorna tla). Dodatek 5 % šote k tlom je povečal PK (za 2,5 vol.%) kot tudi TV (za 3,5 vol. %) glede na izvorna tla, vendar je bilo rastlinam dostopne vode za 1,2 vol. % manj.

Čas izhlapevanja vode (priloga 1) v tleh brez dodatka substrata je bil v povprečju 70 ur (2,9 dneva), z dodatkom 2 % odstotkov 88 ur (3,7 dneva) in z dodatkom 5 % substrata 130 ur (5,4 dneva). Najdlje so se sušila tla z dodatkom 5 % hlevskega gnoja .

Preglednica 6: Povprečne vrednosti zadržane vode (vol. %) v stanju poljske kapacitete (PK) in točke venenja (TV) ter količina rastlinam dostopne vode (RDV)

	Zemlja	Zemlja + 2% kompost	Zemlja + 2% hlevski gnoj	Zemlja + 2% šota	Zemlja + 5% kompost	Zemlja + 5% hlevski gnoj	Zemlja + 5% šota
PK (vol. %)	32,7	37,0	32,3	32,2	40,5	33,9	35,0
Standardni odklon (vol. %)	1,2	2,8	0,8	1,7	2,8	0,3	0,4
KV (%)	3,6	7,5	2,6	5,3	7,0	0,9	1,2
TV (vol. %)	15,4	25,1	15,6	14,4	27,4	22,6	19,0
Standardni odklon (vol. %)	1,9	2,0	1,7	1,2	2,7	2,0	2,0
KV (%)	12,3	7,8	11,0	8,5	9,7	8,8	10,9
RDV (vol. %)	17,3	11,8	16,7	17,8	13,1	11,3	16,0



Slika 13: Količina zadržane vode, podana v oklepaju v vzorcih tal med poljsko kapaciteto (PK) in točko venenja (TV)

4.3 RAZPRAVA

Tla so zelo kompleksen in raznolik medij. V slovenskem prostoru je kljub majhnosti značilna velika pestrost tal, tako v vrsti tal kot v njihovih lastnostih, npr. vsebnosti organske snovi in teksturi. Rodovitna tla nastajajo zelo počasi in so z vidika človeških časovnih dimenzij neobnovljiv naravni vir. Z vidika kmetijstva so rodovitna tla nepogrešljiva. Oskrbujejo rastline z vodo in hranili ter zadržujejo, spreminjajo in razgrajujejo organske spojine in delujejo kot naravni samoočiščevalni filter. Zaradi človeških aktivnosti in podnebnih sprememb postaja vedno bolj aktualno vprašanje, kako ravnati oz. kako se braniti pred postopno degradacijo rodovitnih tal ali celo pred njihovo izgubo. V tleh, ki so izpostavljena procesom degradacije, se poslabšajo njihove fizikalne, kemične in biotične lastnosti (Izzivi Slovenije na področju suš in degradacije tal, 2010). Poleg erozije, zbitosti, zasoljevanja, onesnaževanja je izguba organske snovi in posledično povezana občutljivost na sušo pogost degradacijski proces v svetovnem merilu.

V tleh z veliko vsebnostjo melja in glinene pogosto prihaja do zbitosti tal, ki so značilna za obdelovalne kmetijske površine. Posledice lahko odpravimo z rekultivacijo tal oz. z izboljšanjem lastnosti tal. Reakcij na obremenitve v okolju in prizadevanj za rekultiviranje tal je veliko, največ pa jih je strnjjenih v programu ekološkega kmetovanja, ki se opira predvsem na biološke samoregulacijske mehanizme v agrosistemih. Ekološki program kmetovanja spodbuja uporabo organskih gnojil in komposta, pravilno uporabo mehanizacije, uvajanje kolobarjenja ter ostale ukrepe rekultivacije (Juvan in Borec, 1994). V diplomski nalogi smo želeli ugotoviti, kako različni dodatki organske snovi tlom vplivajo na vodno zadrževalne lastnosti tal. Poiskus smo izvajali v tleh, ki imajo vsebnost organske snovi manj kot 1 % in so maljasto glinene teksture.

Za posredno določanje vode v tleh obstaja veliko naprav. V nalogi smo uporabili napravo HYPROP, ki je ena izmed novejših naprav za določanje vode v tleh in v literaturi še ni veliko omenjena. Merjenje z napravo HYPROP poteka za razliko od drugih naprav za merjenje vode v tleh kontinuirano, kar nam zagotavlja pridobitev natančnih podatkov od točke nasičenja pa do točke venenja v tleh. Meritve smo opravljali po navodilih User Manual HYPROP, vendar je vseeno prišlo do napak (enega vzorca z dodatkom 2 % komposta zaradi nepravilnih meritev nismo upoštevali). Razloge bi lahko našli v pripravi tenziometrov. Pred začetkom namestitve tenziometrov v glavo HYPROP morajo biti tenziometri kot tudi glava HYPROP priključeni na vakumsko črpalko, da le-ta iz njih izčrpa zračne mehurčke, ker če so ti prisotni, meritve niso uspešne. Vzrok za večjo variabilnost rezultatov meritev je lahko ročno dodajanje organske snovi k tlom, saj s tem načinom nismo uspeli doseči ustrezne homogenosti mešanice v cilindru.

Meritve zadrževanja vode v izbranih tleh lahko primerjamo z rezultati meritev tal, ki jih je Šijanec (2009) predstavil v diplomski nalogi Sposobnost izbranih tal za zadrževanje vode. Izbrali so podoben tip tal (MG), ki je bil odvzet med 24-56 cm globine, vendar z nekoliko različno vsebnostjo melja (51,4 %), glinene (39,8 %), peska (8,8 %) in organske snovi (7,5 %). Vsebnost vode so merili z Richardovo tlačno posodo v neporušenih vzorcih tal. V našem primeru pa so bila izbrana tla izkopana na 30 cm globine in vsebovala 55,5 % melja, 43,9 % glinene, 0,6 % peska in 0,73% organske snovi. Vsebnost vode je bila merjena v porušeni vzorcih tal z napravo Hyprop. Primerjalna tla so pri PK zadrževala 65,36 vol. %

in pri TV 39,32 vol. %, tako je bilo rastlinam dostopne vode 26,04 vol. %. Naša tla so pri PK zadrževala 32,67 vol. %, pri TV 15,42 vol. % in za rastline je bilo na voljo 17,25 vol. % vode. Razliko (8,8 vol. %) bi lahko pripisali predvsem količini organske snovi oz. humusa.

Dodatka šote in hlevskega gnoja sta glede zadrževanja vode dala podobne rezultate kot izvorna tla. Izpostaviti je potrebno vzorce z dodatkom 2 % šote, pri katerih smo zaradi znižanja TV dosegli največjo količino rastlinam dostopne vode in vzorce z dodatkom 5 % hlevskega gnoja, ki so dosegli najmanjšo količino zadržane vode. Vzrok k tako majhni količini zadržane vode so najverjetneje razpoke, ki se pojavijo na površini vzorca med procesom sušenja in vplivajo na neenakomerno sušenje. Zaradi tega pride do večje površine izhlapevanja. Premik vode iz bolj vlažnega dela vzorca v bolj suh del vzorca tal (na površini) je bil premajhen, da bi zagotavljal enakomerno vlažnost po celi globini vzorca. Problem sušenja površine vzorca pri meritvah v Richardovih tlačnih posodah rešujejo s prekrivanjem vzorcev s papirnatimi brisačami (Klute, 1986).

Kljub večjim odmerkom dodatka hlevskega gnoja in šote proti našim pričakovanjem ni prišlo do večjih sprememb glede zadrževanja vode v vzorcih, razlike smo ugotovili le pri dodatku komposta. Večji kot je bila delež dodanega komposta, večja je bila PK in TV, tako je kompost glede na ostale substrate (z izjemo dodatka 5 % hlevskega gnoja) in izvorna tla dosegel najmanjšo količino rastlinam dostopne vode. Predvidevamo lahko, da je razlog za takšne razlike v zadrževanju vode med vzorci z vsebnostjo komposta in vzorci z vsebnostjo hlevskega gnoja in šote zaradi različne vsebnosti organske snovi v dodanih substratih. Vsebnost organske snovi je bila v kompostu za približno polovico manjša (43,93 %) kot v šoti (93,31 %) in v hlevskemu gnoju (95,30 %). Kar pomeni, da smo za zagotovitev pogoja dodatek enakega deleža organske snovi v tleh pri pripravi vzorcev morali dodati večjo količino oz. maso komposta v primerjavi s hlevskim gnojem in šoto. Verjetno smo zaznali vpliv drugih (neorganskih) komponent komposta. Kompost v težkih tleh zelo poveča poroznost in zmanjša gostoto tal (Aggelides in Londra, 1999), zato je v našem primeru izmed dodatkov substratov k tlom kompost najverjetneje najbolj vplival na strukturo tal in posledično na rezultate.

Podatki analize tal in meritve vodno zadrževalnih lastnosti tal ne pripomorejo le k primernejšemu pridelovanju rastlin, ampak so ti podatki pomembni tudi za vrednotenje stanja v trifaznem sistemu. Na ta način lahko hitreje in natančneje določimo odziv oz. obnašanje vode v teksturno različnih tleh. Podatki o vodno zadrževalnih lastnosti tal, ki smo jih pridobili znotraj naše raziskave, ne dajejo najboljše korelacije z razmerami v tleh v naravi.

Mnogi avtorji so izvajali poskuse dodajanja organske snovi k težkim tlom in prišli do rezultatov, da se stanje tal izboljša, vendar na dolgi rok uporabe ali souporabo rahljanja tal (Brattacharyya in sod. 2009, Korodjouma in sod. 2006). Dodatek organske snovi k tlom izboljša lastnosti tal, ker izboljšuje nastajanje talnih agregatov z obstojno organsko snovjo (humus). Humus predstavlja večino 60-80 %, nežive organske snovi, preostali delež predstavlja živa oz. še ne razgrajena (v našem primeru substrati) organska snov. V večini tal je praktično ves humus povezan z glinenimi minerali v organo-mineralne komplekse, ki so zelo odporni na mikrobno razgradnjo (Leštan, 2001). Huminske spojine (humin, huminske kisline, fulvo kisline) imajo sposobnost, da pri visoki koncentraciji v tleh

dosežejo, da se glineni delci vežejo na humus in ne med seboj (Mbagwu in Bazzoffi, 1988). Okoli organo-mineralnih kompleksov, ki so negativno nabite snovi, nastane hidratacijski ovoj zaradi interakcije električno nabite površine z dipoli vodnih molekul (Leštan, 2001). Trdni delci v tleh imajo veliko večjo prosto energijo in so tako hidrofilni, privlačijo vodo. Da se voda razporedi po površini talnih delcev, morajo biti adhezivne sile med vodo in površino talnih delcev večje od kohezivnih sil med molekulami vode. Večja je površinska napetost, močnejša je privlačnost. Razgradljive organske snovi, kot so voski in organski polimeri, dosežejo nizko prosto površinsko napetost, zato so hidrofobni, torej ne privlačijo vode (Dolšak, 2006). Humus veliko bolje veže in zadržuje vodo v tleh kot substrati oz. organska gnojila, ki smo jih dodajali k tlom. Izmed substratov je kompost strukturno najbolj podoben humusu, zato je bil učinek dodatka komposta na vodno zadrževalne lastnosti bolj izražen kot pri hlevskem gnoju in šoti.

Pomen organske snovi v kmetijskih tleh je pomemben. Dodatki organskih gnojil k tlom so podvrženi razgradnji s pomočjo organizmov do hranil, ki so nato dostopna rastlinam. Redna uporaba gnojil pa na daljši rok vpliva na tvorbo humusa in strukturo tal, kar uspešno pripomore k boljšemu zadrževanju vode v tleh. V našem poskusu smo merili kratkoročen vpliv dodatka organske snovi tlom. Dodana organska snov se ni uspela povezati v organo-mineralni kompleks oz. v strukturnost tal. Verjetno bi v večletnem poskusu prišli do drugačnih rezultatov. V nadaljnjih raziskavah bi bilo smiselno tudi ugotavljati vodno zadrževalne lastnosti tal iz različnih kmetijskih praks glede na način gnojenja.

5 SKLEPI

Na osnovi naše raziskave ugotavljamo, da lahko dodatki organske snovi v naši raziskavi povečajo poljsko kapaciteto, vendar po večini tudi povečujejo točko venenja, kar pomeni, da je vpliv na povečanje rastlinam dostopne vode minimalen ali celo negativen.

Izmed testiranih dodatkov je poljsko kapaciteto najbolj povečal kompost, ki je imel učinek tudi pri manjšem odmerku. Kompost je tudi najbolj povečal točko venenja, kar je rezultiralo v negativnem vplivu na količino rastlinam dostopne vode.

Le pri dodatku 2 % šote smo uspeli povečati rastlinam dostopno vodo, saj smo ob nespremenjeni poljski kapaciteti uspeli zmanjšati točko venenja.

Rezultati, ki smo jih dobili, niso bili v skladu z našimi pričakovanji oz. splošnim prepričanjem, da organska snov ugodno deluje na sposobnost tal za zadrževanje vode. Glavna vzroka za to sta postopek priprave vzorcev, ki poruši strukturnost tal, in prekratek čas delovanja organske snovi. V naravi, kjer z ustreznimi tehnologijami obdelave in gnojenja tal počasi povečujemo organsko snov v tleh, se tvorijo stabilni humusno glineni minerali, ki imajo pozitiven vpliv na strukturo tal in na vodno zadrževalne lastnosti tal.

6 POVZETEK

Organska snov v tleh je pomembna, ker vpliva na strukturnost tal, vodno zadrževalne lastnosti tal in aktivnost mikroorganizmov. Na vsebnost in razporeditev organske snovi v tleh vplivata poleg klimatskih dejavnikov še predvsem raba tal in način gnojenja. V diplomski nalogi smo želeli ugotoviti, kako dodatek različne vrste in količine organske snovi vpliva na zadrževanje vode v tleh in če sploh in kako organska snov izboljša vodno zadrževalne lastnosti tal.

Izbrali smo tla, ki so vsebovala manj kot 1 % organske snovi. Vzorce tal smo odvzeli na laboratorijskem polju Biotehniške fakultete v Ljubljani. Vzorcem tal smo določili gostoto ($1,52 \text{ g/cm}^3$), analiza tal pa je pokazala, da so tla meljasto glinene teksture z vsebnostjo 0,73 % organske snovi. Kot dodatek organske snovi k tlom smo izbrali tri različna organska gnojila oz. substrate (kompost, hlevski gnoj in šoto). Substrate smo dodajali k tlom tako, da smo v vzorcih dosegli željen delež (2 % in 5 %) organske snovi.

Vodno zadrževalne lastnosti smo merili z napravo HYPROP. Sistem Hyprop je naprava, ki je namenjena laboratorijskemu delu in deluje po metodi izhlapevanja WIND/SCHINDLER za določevanje nenasičene hidravlične prevodnosti in vodno zadrževalnih lastnosti tal. V enoti senzorja HYPROP sta nameščena dva tenziometra na dveh višinah (nižji 1,25 cm in višji 3,75 cm). Meritve smo izvajali s porušenimi talnimi vzorci, zato smo morali vzorce tal oz. vzorce mešanic (tla + določen delež substrata) pripravljati ročno. Vzorce tal in substrate smo presejali čez 2 mm sito in po predhodno izračunanih masah pripravili mešanice. Pri kompaktiranju mešanice (tla + 5 % hlevski gnoj) je prišlo do težav. Nismo uspeli napolniti cilindrov (zaradi manjše gostote organske snovi), zato smo s pedotransfer funkcijo Urbančič in sod. 2007 izračunali primerno gostoto tal glede na delež organske snovi v tleh. Tako smo dobili nove, primernejše gostote tal za napolnitev cilindrov z mešanicami.

Ugotovili smo, da so dodatki organske snovi oz. substrati, ki smo jih uporabili v naši raziskavi, sicer povečali PK, vendar so po večini povečali tudi TV. Zaradi tega je bil vpliv RDV negativen, le pri dodatku 2 % šote k tlom smo uspeli znižati TV, kar je pomenilo največ RDV glede na ostale substrate in izvorna tla. Kljub večjim odmerkom dodatkov hlevskega gnoja in šote ni prišlo do večjih sprememb, medtem ko se je pri kompostu izkazalo, da večji kot je bil dodatek komposta kot organske snovi, višja je bila PK in TV. Zaradi tega je kompost v primerjavi z ostalima substratoma in izvornimi tlemi zadržal najmanj RDV.

Rezultati, ki smo jih dobili, niso v skladu z našimi pričakovanji, da dodatek organske snovi deluje ugodno na vodno zadrževalne lastnosti tal. Glavna vzroka za to sta postopek priprave vzorcev (vzorce smo kompaktirali ročno in s tem porušili strukturo tal) ter prekratek časa delovanja organske snovi, ki smo jo dodali k tlom. V tako kratkem času še ni prišlo do tvorbe organo-mineralnih kompleksov.

7 VIRI

- ARSO. Agencija republike Slovenije za okolje. 2008. Kazalci okolja v Sloveniji. Kakovost tal.
http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=94 (28. jun. 2012)
- Aggelides S. M., Londra P. A. 1999. Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. *Bioresource Technology*, 71: 253-259
- Bhattacharyya R., Prakash V., Kundu S., Skrivasta A.K., Gupta H.S. 2009. Soil aggregation and organic matter in a sandy clay loam soil of the Indian Himalayas under different tillage and crop regimes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 132: 126–134
- Brady N. C., Weil R.R. 2008. *The nature and properties of soil*. New Jersey, Prentice Hall: 975 str.
- Ćirič M. 1986. *Pedologija*. Sarajevo, Svijetlost: 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 of America, inc.: 671-673
- Dolšak P. 2006. *Vodoodbojnost izbranih tal v Sloveniji*. Dipl. delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za agronomijo: 30 str.
- Gardiner T., Miller W. 2008. *Soils in our environment*. New Jersey, Prentice Hall: 600 str.
- Grčman H., Zupan M. 2008. *Navodila za vaje iz pedologije*. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, center za pedologijo in varstvo okolja: 46 str.
- Hillel D. 1998. *Environmental soil physics*. San Diego, Academic Press: 771 str.
- HYPROP User Manual. 2012. © UMS GmbH München.
http://www.umsmuc.de/fileadmin/produkt_downloads/Bodenlabor/Hyprop_Manual.pdf
- ISO 11277. *Soil Quality – Determination of particle size distribution in mineral soil material – Method by sieving and sedimentation*. 1998: 30 str.
- Juvan S., Borec A. 1994. Možni vplivi kmetijstva na kakovost in količino vodnih virov. *Ukrepi za varovanje voda pred osnaževanjem*. Mišičev vodarški dan 94: V:70-74
<http://mvd20.com/LETO1994/R13.pdf> (18. maj 2012)
- Klobučar B., Gračan R., Todorić I. 1982. *Splošno poljedelstvo*. Ljubljana, Državna založba Slovenije: 172 str.

- Klute. A. 1986. Water retention: laboratory methods. V: Methods of soil analysis, Part 1: Physical and mineralogical methods. Second edition. Winsconsin: 635-662
- Korodjouma O., Badiori O., Ayemou A., Michel S.P. 2006. Long-term effect of ploughing, and organic matter input on soil moisture characteristics of a Ferric Lixisol in Burkina Faso. Soil & Tillage Research, 88: 217–224
- Leskošek M., 1993. Gnojenje. Ljubljana: ČZP Kmečki glas: 197 str.
- Leštan D., 2001. Organska snov tal. Študijsko gradivo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 68 str.
- Mbagwu J. S. C., Bazzoffi P. 1988. Stability of microagregates as influenced by antecedent moisture content, organic waste amendment and wetting and drying cycles, 15: 565-576
- Pintar M. 2006. Osnove namakanja s poudarkom na vrtninah in sadnih vrstah v zahodni, osrednji in južni Sloveniji. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano RS: 55 str.
- SIST ISO 14235. Kakovost tal – Določevanje organskega ogljika z oksidacijo v kromžvepleni kislini (Modificirano po Walkley-Black). 1999: 5 str.
- Stephens D.B. 1995. Vadose zone hydrology. Florida, CRC Press, Lewis publishers: 347 str.
- Stritar A. 1991. Pedologija. Kompedij. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 126 str.
- Suhadolc M., Ruprecht J., Zupan M. 2005. Priročnik za vaje iz pedologije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta. Oddelek za agronomijo. Center za pedologijo in varstvo okolja: 38 str.
- Suhadolc M., Ruprecht J., Zupan M. 2008. Nauk o tleh. Študijsko gradivo za vaje. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 49 str.
- Suhadolc M., Sušnik A., Lobnik F., Kajfež Bogataj L., Gregorčič G., Bergant K. 2010. Izzivi Slovenije na področju suš in degradacije tal.
http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/agromet/product/document/sl/IZZIVI_Slovenije_na_podrocju_sus_in_degradacije_tal.pdf (15. jul. 2012)
- Šijanec M. 2009. Sposobnost izbranih tal za zadrževanje vode. Dipl. delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za agronomijo: 41 str.
- Tomić F. 1988. Navodnjavanje. Zagreb, Savez polprivrednih inženjera, Tehničara Hrvatske, Fakultet poljoprivrednih znanosti sveučilišta u Zagrebu: 154 str.

- Urbančič M., Kopal M., Zupan M., Šporar M., Eler K., Simončič P. 2007. Organska snov v gozdnih tleh. V: Strategija varovanja tal v Sloveniji. Zbornik referatov konference. Knapič M. (ur.), Ljubljana, Slovensko pedološko društvo: 217 – 230 str.
- Vrščaj B. 2009. Algoritmi digitalne kartografije in pretvorbene funkcije za potrebe nacionalnega talnega informacijskega sistema (Končno poročilo projekta). Ljubljana, 37 str.
- Zupanc V., Pintar M. 2005. Melioracije in urejanje kmetijskih zemljišč. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 49 str. (gradivo za vaje)
- Zupanc V., Pintar M., 2007. Metode za merjenje količine vode v tleh 1. del: tenziometer. *Acta agriculturae Slovenica*, 89, 1: 279 - 287
- Zupanc V., Glavan M., Miličič V., Pintar M. 2009. Gradivo za vaje pri predmetu Urejanje kmetijskih zemljišč. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 43 str.

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorici izr. prof. dr. Marini Pintar in somentorici izr. prof. dr. Heleni Grčman za pomoč in nasvete pri izdelavi diplomske naloge. Hvala tehničnemu sodelavcu Petru Korparju za pomoč pri terenskem delu in nasvete pri laboratorijskih meritvah.

Hvala moji družini, ki mi je omogočila študij in me vseskozi podpirala.

PRILOGA A

Primerjava količine zadržane vode v tleh v točki nasičenja (TN), poljski kapaciteti (PK) in točki venenja (TV) ter čas sušenja vzorcev.

vzorec	vol. %			čas sušenja (dan)
	TN	PK	TV	
zemlja	43,42	32,56	13,23	2,89
zemlja	43,88	31,57	16,42	2,72
zemlja	46,24	33,89	16,62	3,09
povprečje	44,51	32,67	15,42	2,90
zemlja + 2% kompost	52,05	34,99	23,72	3,15
zemlja + 2% kompost	49,19	38,91	26,5	3,15
zemlja + 2% kompost	*	*	*	*
povprečje	50,62	36,95	25,11	3,15
zemlja + 2% hl. gnoj	49,6	31,45	13,57	4,05
zemlja + 2% hl. gnoj	51,35	33,12	16,55	4,24
zemlja + 2% hl. gnoj	51,26	32,23	16,54	4,24
povprečje	50,74	32,27	15,55	4,17
zemlja + 2% šota	49,89	30,84	13,44	3,72
zemlja + 2% šota	52,03	34,11	15,79	3,76
zemlja + 2% šota	49,97	31,58	13,99	3,70
povprečje	50,63	32,18	14,41	3,73
zemlja + 5% kompost	65,17	42,75	28,56	5,03
zemlja + 5% kompost	63,3	41,36	29,26	5,29
zemlja + 5% kompost	62,56	37,31	24,36	5,49
povprečje	63,68	40,47	27,39	5,27
zemlja + 5% hl. gnoj	61	33,54	21,76	5,64
zemlja + 5% hl. gnoj	56,78	34,15	24,87	5,40
zemlja + 5% hl. gnoj	60,97	33,85	21,16	5,58
povprečje	59,58	33,85	22,60	5,54
zemlja + 5% šota	60,44	35,22	19,04	5,38
zemlja + 5% šota	56,8	35,29	21,02	5,31
zemlja + 5% šota	62,23	34,52	16,89	5,61
povprečje	59,82	35,01	18,98	5,43