

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Luka Rojec

**SPOSOBNOST TAL ZA ZADRŽEVANJE VODE NA  
IZBRANIH TLEH APAŠKE DOLINE NA OSNOVI  
MERITEV V PORUŠENIH IN NEPORUŠENIH  
VZORCIH**

DIPLOMSKO DELO  
Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2009

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA AGONOMIJO

Luka ROJEC

**SPOSOBNOST TAL ZA ZADRŽEVANJE VODE NA IZBRANIH  
TLEH APAŠKE DOLINE NA OSNOVI MERITEV V PORUŠENIH IN  
NEPORUŠENIH VZORCIH**

DIPLOMSKO DELO  
Visokošolski strokovni študij

**SOIL WATER RETENTION CAPACITY OF SELECTED SOILS IN  
APAČE VALLEY BASED ON MEASUREMENTS IN DISTURBED  
AND UNDISTURBED SOIL SAMPLES**

GRADUATION THESIS  
Higher professional studies

Ljubljana, 2009

Diplomsko delo je zaključek visokošolskega strokovnega študija agronomije. Naloga je bila opravljena na katedri za pedologijo in varstvo okolja Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je odobrila naslov diplomskega dela: »Sposobnost tal za zadrževanje vode na izbranih tleh Apaške doline na osnovi meritev v porušeni in neporušeni vzorci« in za mentorja imenovala doc. dr. Marjetko SUHADOLC in somentorja prof. dr. Franca LOBNIKA.

Komisija za oceno in zagovor:

- Predsednik: prof. dr. Franc BATIČ  
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
- Član: doc. dr. Marjetka SUHADOLC  
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
- Član: prof. dr. Franc LOBNIK  
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
- Član: prof. dr. Marina PINTAR  
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

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.

Luka ROJEC

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Vs  
DK UDK 631.432: 631.44: 631.47 (043.2)  
KG tla/voda v tleh/tipi tal/Apaška dolina  
KK AGRIS P30/P31/P32  
AV ROJEC, Luka  
SA SUHADOLC, Marjetka (mentor)/LOBNIK, Franc (somentor)  
KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101  
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo  
LI 2009  
IN SPOSOBNOST TAL ZA ZADRŽEVANJE VODE NA IZBRANIH TLEH  
APAŠKE DOLINE NA OSNOVI MERITEV V PORUŠENIH IN  
NEPORUŠENIH VZORCIH  
TD Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)  
OP X, 34, [1] str., 5 pregl., 25 sl., 22 vir.  
IJ SI  
JI sl/en  
AI Namen diplomske naloge je bil ugotoviti sposobnost tal za zadrževanje vode v izbranih tleh Apaške doline in ugotoviti vpliv priprave vzorcev na meritve v tlačnih ekstraktorjih. Ugotovili smo, da izbrani profili tal pri poljski kapaciteti (PK) do globine 50 cm zadržijo podobno vsebnost vode: hipooglejena tla 42 vol. %, obrečna tla 40 vol. %, psevdoglejena tla 36 vol. %. Vendar so vsebnosti rastlinam dostopne vode (EPK) različne. Največ rastlinam dostopne vode do globine 50 cm smo izmerili v izbranem profilu obrečnih tal (20 vol. %). Obrečnih tal je v Apaški dolini največ (65 %) in imajo tudi največji pridelovalni potencial. So pa ta tla plitva in na prodnati matični podlagi, kar pomeni, da so občutljiva na daljša sušna obdobja. Hipooglejenih tal je v Apaški dolini 27,5 %. Izbran profil hipooglejenih tal lahko zadrži do globine 50 cm 11 vol. % EPK. Ker je ta profil globlji (90 cm), poleg tega pa je prisoten še vpliv podtalne vode je možen kapilarni dvig, zato niso tako občutljiva na sušo. Zaradi težke teksture njihovo obdelovanje oteženo. Psevdoglejenih tal je v Apaški dolini najmanj (7,5%) in lahko zadržijo v izbranem profilu do globine 50 cm 11 vol. % EPK. Vzrok za manjšo EPK je večji delež meljaste frakcije (70 % v Bg<sub>1</sub> horizontu). Ta tla so odvisna od količine padavin in neugodna za obdelovanje. Meritve v neporušenem svežem talnem vzorcu (NTC-sv) in v porušenem svežem talnem vzorcu polnjenem v cilinder v skladu z realno volumsko gostoto na polju (PTC-sv), sta pokazali podobne rezultate vsebnosti vode pri 0,33 in 15 barih. Z uporabo PTC-sv metode pridemo do podatkov o zadrževanju vode hitreje in lažje kot z NTC-sv. Pri tretji metodi, pri kateri smo uporabili porušen suh vzorec (PT-s), je merjena vsebnost zadržane vode različna od prej opisanih metod.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs  
DC UDC 631.432: 631.44: 631.47 (043.2)  
CX soil/soil water//soil types/Apače valley  
CC AGRIS P30/P31/P32  
AU ROJEC, Luka  
AA SUHADOLC, Marjetka (supervisor)/LOBNIK, Franc (co-supervisor )  
PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101  
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy  
PY 2009  
TI SOIL WATER RETENTION CAPACITY OF SELECTED SOILS IN APACE VALLEY BASED ON MEASUREMENTS IN DISTURBED AND UNDISTURBED SOIL SAMPLES  
DT Graduation Thesis (Higher professional students)  
NO X, 34, [1] p., 5 tab., 25 fig., 22 ref.  
LA sl  
AL sl/en  
AB Purpose of this thesis was to determine capability of water retention for the selected soil types in Apače Valley. Additionally, impact of soil sample preparation on the measurements in pressure chambers was also evaluated. The results have shown that similar amounts of water are retained at field capacity (FC) in the selected soil profiles to the 50 cm depth; 42 vol. % in Gleysol, 40 vol. % in Fluvisol and 36 vol. % in Stagnosol. However, the amounts of plant available water (EFC) differ between soil profiles. The highest amount of plant available water to the 50 cm soil depth was found in the selected Fluvisol soil profile (i.e. 19 vol. %). This soil type covers the largest part of the valley (65 %) and has the highest production potential. However, Fluvisol is shallow and it appears on gravels, so it is much more sensitive to longer drought periods. Gleysol covers 27, 5% of the valley. Selected Gleysol profile retained in the upper 50 cm depth 11 vol. % of plant available water. Since this soil type is deeper (i.e. 90 cm), it is also influenced by underground water; capillary flow may occur, so this type of soil is less sensitive during dry periods, however, its heavy soil structure makes cultivation difficult. Stagnosol, appears in the smallest part (i.e. 7, 5%) of Apače Valley and it can only retain 11 vol. % of plant-available water to the 50 cm depth. Such a small percentage of plant available water is the consequence of silt (70 % in Bg1 horizon). This soil type is depended on the precipitation water and is not very suitable for cultivation. The measurements of the undisturbed fresh cores (NTC-sv) and those of the disturbed fresh soil repacked according to the field bulk density (PTC-sv), have shown a similar amount of water content in soil samples that have been equilibrated at 0,33 and 15 Bar. The PTC-sv method is faster and easier for measuring soil water retention capability than the NTC-sv. The soil water retention capability which was determined by the third method, using disturbed dry soil sample (i.e. PT-s), differed from the ones obtained by the NTC-sv and PTC-s method.

## KAZALO VSEBINE

Ključna dokumentacijska informacija	III
Key words documentation	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo slik	VII
Kazalo preglednic	IX
Okrajšave	X
<b>1 UVOD</b>	<b>1</b>
1.1 POVOD ZA RAZISKAVO	1
1.2 NAMEN NALOGE	1
1.3 DELOVNE HIPOTEZE	2
<b>2 PREGLED OBJAV</b>	<b>3</b>
2.1 VODA V TLEH	3
<b>2.1.1 Oblike vode v tleh</b>	<b>3</b>
2.2 ENERGIJA IN POTENCIAL VODE V TLEH	5
<b>2.2.1 Pomembnejše točke vodnega potenciala v tleh</b>	<b>7</b>
2.3 LASTNOSTI TAL POMEMBNE ZA STANJE VODE V TLEH	9
<b>3 MATERIAL IN METODE</b>	<b>11</b>
3.1 APAŠKA DOLINA	11
<b>3.1.1 Podnebje</b>	<b>12</b>
<b>3.1.2 Podzemne vode</b>	<b>12</b>
<b>3.1.3 Tla</b>	<b>12</b>
3.2 DOLOČANJE SPOSOBNOSTI TAL ZA ZADRŽEVANJE VODE	12
<b>3.2.1 Izkop talnega profila</b>	<b>12</b>
<b>3.2.2 Odvzem vzorcev tal</b>	<b>13</b>

<b>3.2.3</b>	<b>Meritve v tlačnih ekstraktorjih</b>	<b>15</b>
3.3	ANALITSKE METODE	17
3.4	OBDELAVA PODATKOV	18
<b>4</b>	<b>REZULTATI</b>	<b>19</b>
4.1	TALNE LASTNOSTI IZBRANIH PROFILOV V APAŠKI DOLINI	19
<b>4.1.1</b>	<b>Obrečna tla</b>	<b>19</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Hipooglejena tla</b>	<b>20</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Psevdooglejena tla</b>	<b>21</b>
4.2	VPLIV PRIPRAVE VZORCA NA DOLOČITEV PK IN TV	22
<b>4.2.1</b>	<b>Sposobnost tal za zadrževanje vode glede na pripravo vzorca v obrečnih tleh</b>	<b>22</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Sposobnost tal za zadrževanje vode glede na pripravo vzorca v hipoglejenih tleh</b>	<b>23</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Sposobnost tal za zadrževanje vode glede na pripravo vzorca v psevdoglejenih tleh</b>	<b>24</b>
4.3	PRIMERJAVA SPOSOBNOSTI ZADRŽEVANJA VODE MED IZBRANIMI PROFILI PO METODI PTC-SV	25
<b>5</b>	<b>RAZPRAVA</b>	<b>29</b>
5.1	VPLIV RAZLIČNIH METOD PRIPRAVE VZORCEV NA DOLOČITEV SPOSOBNOSTI ZA ZADRŽEVANJE VODE V TLEH	29
5.2	SPOSOBNOST ZADRŽEVANJA VODE V IZBRANIH TLEH APAŠKE DOLINE	30
5.3	SKLEP	31
<b>6</b>	<b>POVZETEK</b>	<b>32</b>
<b>7</b>	<b>VIRI</b>	<b>34</b>
	ZAHVALA	

## KAZALO SLIK

Slika 1: Razpored padavinskih vod (Resulović in Čustović, 2002)	3
Slika 2: Gibanje vode po kapilarah: a.) steklene cevčice različne debeline, b.) pore različnih debelin (Resulović in Čustović, 2002).	4
Slika 3: Vrste potencialov in njihova energija (Brady in Weil, 2008)	7
Slika 4: Oblike vode v tleh in vodni potencial (Gardiner in Miller, 2008)	8
Slika 5: Apaško polje	11
Slika 6: Različni vzorčniki. Od leve proti desni: vzorčniki za PTC-sv, NTC-sv in PT-s vzorce.	14
Slika 7: Navlaževanje neporušenih vzorcev tal v Kopeckevih cilindrih (NTC-sv)	15
Slika 8: Navlaževanje svežih vzorcev tal polnjenih v cilindre z upoštevanjem dejanske volumske gostote PTC-sv	16
Slika 9: Navlaževanje suhih porušenih vzorcev nasutih v obroče (PT-s)	16
Slika 10: Richardova tlačna ekstraktorja (Eijkelkamp katalog)	16
Slika 11: Pedološki profil obrečnih tal na Apaškem polju	19
Slika 12: Pedološki profil hipoglejenih tal na Apaškem polju	20
Slika 13: Pedološki profil psevdoglejenih tal na Apaškem polju	21
Slika 14: Primerjava vsebnosti vode (vol. %) pri PK v obrečnih tleh, v različno pripravljenih vzorcih. Prikazani so povprečja in standardni odkloni 4 meritev.	22
Slika 15: Primerjava vsebnosti vod (vol. %) pri TV v obrečnih tleh, v različno pripravljenih vzorcih. Prikazani so povprečja in standardni odkloni 4 meritev.	23
Slika 16: Primerjava vsebnosti vode (vol. %) pri PK v hipoglejenih tleh, v različno pripravljenih vzorcih. Prikazani so povprečja in standardni odkloni 4 meritev.	23
Slika 17: Primerjava vsebnosti vode (vol. %) pri TV v hipoglejenih tleh, v različno pripravljenih vzorcih. Prikazani so povprečja in standardni odkloni 4 meritev.	24
Slika 18: Primerjava vsebnosti vode (vol. %) pri PK v psevdoglejenih tleh, v različno pripravljenih vzorcih. Prikazani so povprečja in standardni odkloni 4 meritev.	24



- Slika 19: Primerjava vsebnosti vode (vol. %) pri TV v psevdoglejenih tleh, v različno pripravljenih vzorcih. Prikazani so povprečja in standardni odkloni 4 meritev. 25
- Slika 20: Vsebnost vode (L) pri TV, v različnih talnih tipih do dejanske globine izbranih talnih profilov (obrečna tla 50 cm, hipoglej 90 cm, psevdoglej 80 cm) 25
- Slika 21: Vsebnost vode (L) pri PK, v različnih talnih tipih do globine 50 cm ( $V_{\text{tal}}=500$  L oz.  $0,5$  m<sup>3</sup>) 26
- Slika 22: Vsebnost vode (L) pri TV, v različnih talnih tipih do dejanske globine izbranih talnih profilov (obrečna tla 50 cm, hipoglej 90 cm, psevdoglej 80 cm) 26
- Slika 23: Vsebnost vode (L) pri TV, v različnih talnih tipih do globine 50 cm ( $V_{\text{tal}}=500$  L oz.  $0,5$  m<sup>3</sup>). 27
- Slika 24: Vsebnost vode (L) pri EPK, v različnih talnih tipih do dejanske globine izbranih talnih profilov (obrečna tla 50 cm, hipoglej 90 cm, psevdoglej 80 cm) 27
- Slika 25: Sposobnost zadrževanja rastlini dostopne vode (L) (EPK) v različnih talnih tipih do globine 50 cm ( $V_{\text{tal}}=500$  L oz.  $0,5$  m<sup>3</sup>) 28

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Delitev tal glede na vsebnost organske snovi	9
Preglednica 2: Vsebnost vode (vol.%) pri različnih vodnih potencialih v različnih teksturnih razredih (Resulović in Čustović, 2002)	9
Preglednica 3: Pedološke analize obrečnih tal	19
Preglednica 4: Pedološke analize hipoglejenih tal	20
Preglednica 5: Pedološke analize psevdoglejenih tal	21

## OKRAJŠAVE

CPVO	Center za <b>P</b> edologijo in <b>V</b> arstvo <b>O</b> kolja
NTC-sv	Neporušen <b>T</b> alni vzorec v <b>C</b> ilindru - <b>svež</b>
PTC-sv	Porušen <b>T</b> alni vzorec polnjen v <b>C</b> ilinder v skladu z realno volumsko gostoto na polju - <b>svež</b>
PT-s	Porušen <b>T</b> alni vzorec, zmlet - <b>suh</b>
PK	<b>P</b> oljska <b>K</b> apaciteta
TV	<b>T</b> očka <b>V</b> enenja
EPK	Efektivna <b>P</b> oljska <b>K</b> apaciteta

## 1 UVOD

Tla so porozen sistem. Sestavljena so iz treh agregatnih stanj: iz trdnih delcev (mineralni delci, organska snov), talne raztopine (voda z raztopljenimi snovmi) in talnega zraka. Sposobnost tal za zadrževanje vode je ena pomembnejših lastnosti tal, ki poleg podnebnih dejavnikov in bližine podtalne vode, vpliva na trenutno vsebnost vode v tleh.

### 1.1 POVOD ZA RAZISKAVO

V zadnjem času vse več podatkov kaže, da se podnebje globalno spreminja. Ozračje se segreva, zato se zaradi nestabilne atmosfere vse pogosteje pojavljajo ujme in sušna obdobja. Suša prizadene kmetijstvo nekega območja in s tem ekonomsko vitalnost kmetije, v večjem obsegu pa lahko ogrozi prehransko varnost narodov (Mihelič, 2007). Zato je nujno, da države poznajo naravne vire ter z njimi ravnaajo kot dober gospodar. Tudi tla so naravni vir, ki imajo sposobnost, da del vode iz atmosfere zadržijo in z njo omogočijo procese v tleh ter rast in razvoj rastlinam. Koliko rastlinam dostopne vode lahko vsebuje posamezni talni tip in kaj pomeni to za pridelavo rastlin na nekem geografskem območju, sta vprašanji, ki sta pri nas postali izjemno aktualni v zadnjem času. S padavinami sicer bogata Slovenija se je v zadnjih 15 letih soočila kar s sedmimi sušnimi poletji, napovedi podnebnih sprememb za Slovenijo pa kažejo na še večjo pogostost suš v prihodnje (Sušnik s sod., 2007).

Merjenih podatkov o sposobnosti tal za zadrževanje vode in drugih hidravličnih lastnostih tal je v Sloveniji malo. Kapaciteta tal za rastlinam dostopno vodo se lahko izračuna tudi posredno z uporabo modelov, ki temeljijo na različnih pedotransfernih funkcijah, v katerih uporabimo podatke o globini tal, teksturi in organski snovi tal. S pomočjo teh osnovnih podatkov o tleh, pridobljenih iz pedološke karte Slovenije, je bila s pomočjo modelov izdelana tudi karta občutljivosti tal za sušo za RS (Zupan s sod., 2007). Pomembno je, da te ocene primerjamo z dejanskimi meritvami v slovenskem prostoru.

### 1.2 NAMEN NALOGE

Namen diplomske naloge je bil ugotoviti sposobnost tal za zadrževanje vode v izbranih tleh Apaške doline. Osredotočili smo se na tri glavne talne tipe oz. pedosistematske enote (PSE), ki se pojavljajo v Apaški dolini: obrečna tla, hipooglejena tla ter psevdooglejena tla.

Nadalje smo želeli medsebojno primerjati tri postopke določanja sposobnosti tal za zadrževanje vode, ki se razlikujejo po načinu odvzema talnega vzorca (neporušen, porušen) in nadaljnji pripravi (svež/sušen, obnovljena volumska gostota na osnovi meritev na terenu / razsut). Tako smo primerjali naslednje postopke:

- (i) določanje v svežem neporušenem talnem vzorcu (NTC-sv), ki ga opisuje mednarodni standard za določanje sposobnosti tal za zadrževanje vode ISO 11274,

- (ii) določanje v svežem porušenem talnem vzorcu, polnjenem v cilindre na osnovi meritev volumske gostote na terenu (PTC-sv) (Klute, 1986) in
- (iii) določanje v suhem porušenem vzorcu tal (PT-s), ki je starejša metoda določanja in se v slovenskem prostoru še vedno uporablja.

### 1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Ker je sestava izbranih tal v Apaški dolini zelo raznolika, posebno v teksturi in vsebnosti organske snovi, pričakujemo precejšnje razlike v sposobnosti tal za zadrževanje vode med izbranimi talnimi profili. Pričakujemo, da bodo teksturno težji vzorci tal in vzorci z večjo vsebnostjo organske snovi imeli večjo sposobnost za zadrževanje vode.

Pričakujemo, da priprava vzorcev vpliva na ugotavljanje sposobnosti tal za zadrževanje vode. Večje razlike pričakujemo med metodama, ki meritve izvajata v svežih vzorcih z ohranjeno strukturo tal in starejšo metodo, pri kateri meritve potekajo v razsutih, suhih vzorcih tal.

## 2 PREGLED OBJAV

Tla so površinski del zemeljske skorje, ki so pod vplivom litosfere, atmosfere in hidrosfere dobila novo kvalitativno lastnost - rodovitnost, to je sposobnost, da oskrbujejo rastlino z vodo, mineralnimi hranili in kisikom ter jim obenem nudijo oporo za rast in razvoj (Prus in sod., 2004). Sposobnost tal za zadrževanje vode v tleh je ena pomembnejših lastnosti, ki določa primernost tal za pridelavo rastlin. Neizodostna količina vode v tleh je eden najbolj omejujočih dejavnikov za rast in pridelavo rastlin (Gardiner in Miller, 2008).

### 2.1 VODA V TLEH

Za snovi v tekočem stanju v tleh uporabljamo posplošen izraz voda v tleh. Vir vode v tleh so padavine, v manjšem obsegu vodni hlapi, lahko pa tudi podtalnica. Del vode se iz tal odcedi v podtalje, del pa tla zadrže z notranjimi silami (Stritar, 1991).

Za vezavo vode v tleh, je pomembna polarna narava vodne molekule (dipol). Območje molekule z vodikovima atomoma je delno pozitivno nabito, medtem ko je območje s kisikovim atomom delno negativno nabito. Razlika v naboju privlači druge vodne molekule (kohezija – privlak med enakimi molekulami). Do privlaka pride tudi med vodnimi molekulami in površino talnih delcev (adhezija – privlak med različnimi molekulami). Adhezijo vodnih molekul na nabito površino mineralnih in organskih talnih delcev imenujemo adsorpcija. Za zadrževanje vode v tleh je ključna tako privlačna sila med molekulami vode kot tudi privlačna sila med molekulami vode in površino talnih delcev (Gardiner in Miller, 2008).

#### 2.1.1 Oblike vode v tleh

Glede na moč vezave vode na talne delce in gibanje vode v tleh, ločimo naslednje oblike: vodno paro, kemijsko vezano vodo, kristalna vodo, adsorptivno vezano vodo, kapilarno vodo, gravitacijsko vodo, stojno vodo, poplavlne vode in vodo v obliki ledu (slika 1) (Resulović in Čustović, 2002).



Slika 1: Razpored padavinskih vod (Resulović in Čustović, 2002)

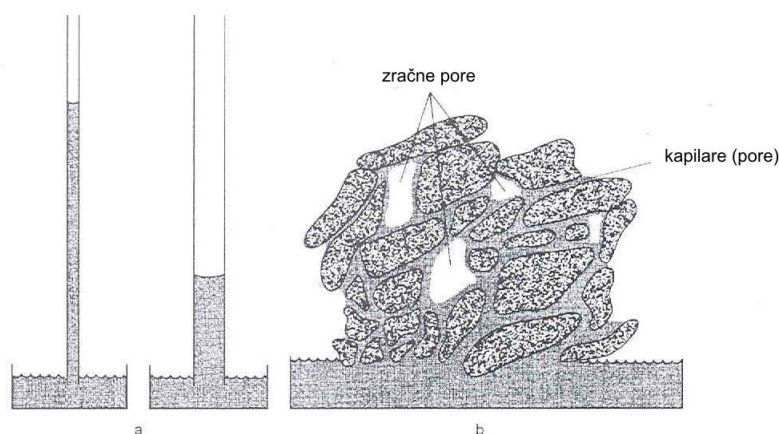
**Vodna para** je prisotna v talnem zraku in se giblje iz višjega parnega tlaka k nižjemu parnemu tlaku in lahko kondenzira. Količina vodne pare v tleh se spreminja, saj narašča s padcem temperature zraka preko noči oz. ob oblačnem vremenu.

**Kemijsko vezana voda** vstopa v molekule talne materije le s hidroksilno skupino, na primer  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = 2\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Ta voda se izgublja iz mineralov pri temperaturah med 400 do 800 °C, pri čemer pride do razpada mineralov.

**Kristalna voda** vstopa v snov s celimi molekulami, na primer  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (gips) in  $\text{NaSO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (mirabilit). Ta voda se loči iz tal pri temperaturah med 100 in 200°C; pri tem ne pride do razpadanja delcev, temveč se spremenijo fizikalne lastnosti tal. Kemijsko vezana ter kristalna voda v praksi nista preveč pomembni, saj nista dostopni rastlinam.

**Adsorptivno vezana voda** je tista, ki se veže na površino delcev s t.im. površinsko energijo. Ta lastnost je najbolj izrazita pri delcih glin, ki imajo veliko aktivno površino. Adsorpcija je posledica elektrostatičnih nabojev na površini talnih delcev, ki privlači dipole vode.

**Kapilarna voda** je dobila ime, ker se vezana voda v majhnih porah obnaša podobno kot voda v kapilarnih cevčicah (slika 2). V tleh se veže in giblje v tleh pod vplivom kapilarnih (menisknih) sil in površinske napetosti. Te nastanejo v kapilarnih porah kot posledica razlike med silo privlačnosti molekul vode med seboj (kohezije) in silo privlačnosti molekul vode in stenami kapilar (adhezije). Rezultat delovanja teh sil je na strani adhezije, zato se kapilarna voda lahko zoperstavlja gravitaciji in se lahko giblje v vse smeri. Kapilarna voda je značilna za pore s premerom od 10 do 2 mikrona (Resulović in Čustović, 2002). V porah večjih od 8 mm meniskus ne more nastati, medtem ko so pore manjše od 3 mikronov v glavnem zapolnjene z adsorptivno vezano vodo, zato je v njih gibanje kapilarne vode precej oteženo ali popolnoma zastane. Kapilarna voda je najvažnejša oblika vode v tleh.



Slika 2: Gibanje vode po kapilarah: a.) steklene cevčice različne debeline, b.) pore različnih debelin (Resulović in Čustović, 2002).

**Gravitacijska voda** se v tleh giblje prosto pod vplivom težnosti (gravitacije). Sistem makropor omogoča pronicanje gravitacijske vode skozi talni profil. Ta voda je lahko dostopna rastlinam, vendar nima velikega pomena, glede na to, da se zelo kratek čas zadrži v tleh. Gravitacijska voda ima lahko tudi negativen vpliv. Če se dolgo zadržuje v makroporah namreč izpodriva zrak, kar ima lahko negativne posledice za rastline.

**Stojno vodo** ustvari gravitacijska voda, ki leži na neki nepropustni oz. manj propustni plasti, kjer se tla zasitijo do polne kapacitete. Nivo stojne vode se lahko z leti spreminja, kar je odvisno od prihoda in odhoda vode, količine padavin in hitrost pronicanja. Če je stojna voda na majhni globini ima lahko vpliv na rastlinje. Če se kapilarno dviga dovolj visoko, lahko v sušnih obdobjih rastlino zalaga z vodo.

**Poplavne vode** se lahko pojavljajo kot posledica izlivanja vode iz korita reke, površinskega odtoka ob obilnejših padavinah ali zlivanja na raven del terena ter dviganja nivoja podtalnice. Poplavne vode lahko povzročijo procese, s katerimi se vodne lastnosti tal spremenijo; posledice so odvisne od dolžine trajanja poplave ter primesi v poplavni vodi. Posebej nevarne so vode, ki vsebujejo organska onesnažila ter tiste bogate s solmi ter zmanjšano količino kisika.

**Voda v obliki ledu** se ravno tako lahko nahaja v tleh. Režim zmrzovanja vode ter taljenja ledu je odvisen od koncentracije soli v tleh. Voda z manjšo koncentracijo soli zmrzne prej kot voda z večjo koncentracijo. Temperatura, pri kateri zmrzne kapilarna voda, je odvisna od premera talnih por (z manjšanjem premera por se tudi temperatura, pri kateri kapilarna voda zmrzne, manjša, do  $-10^{\circ}\text{C}$ ). Z zmrzovanjem v tleh se ustvarja mrvičasta struktura tal, povečuje se njihov volumen.

## 2.2 ENERGIJA IN POTENCIAL VODE V TLEH

S stališča pridelave rastlin ima največji pomen vezana oz. zadržana voda v tleh. Ta voda se v tleh zadržuje z različnimi silami. Sile vezave vode na talne delce določa, koliko vode bo rastlinam dostopne. Moč, s katero je voda vezana na talne delce, se zmanjšuje z večanjem debeline vezane vode na talne delce tj. oddaljevanjem od površine talnih delcev. Z največjo močjo se drži kemijsko vezana voda, nato adsorptivno vezana voda, a najmanj kapilarna voda (Resulović in Čustović, 2002).

Vodna molekula, ki je vezana na talne delce, se lahko manj prosto giblje v primerjavi s prosto, nevezano vodo »v bazenu«. Posledično ima talna voda manj proste energije (manjšo sposobnost opravljanja dela), kot ga ima prosta voda v »bazenu«. Za opis tendence vode, da reagira, t.j. se premakne navzgor oz. navzdol, da spremeni faze, ali da vstopi v rastlino, je bilo uporabljenih veliko različnih pristopov; med njimi se je najbolj uveljavil koncept *vodnega potenciala tal* (Gardiner in Miller, 2008).

Energijski potencial talne vode je delo, ki ga moramo vložiti po enoti količine čiste vode za povraten transport tekočine od standardnega nivoja (oz. referenčne točke) do točke, ki nas v tleh zanima. Za standardni nivo tekočine se navadno vzame nivo podtalne vode ali nek drugi nižji nivo proste vode v hidrološkem sistemu. Ta potencial je v bistvu razlika v potencialni energiji med talno vodo v dani točki in vodo v standardnem nivoju, ki se jemlje kot ničelna točka.



Vodni potencial tal je definiran kot delo, ki ga lahko opravi voda, ko se premakne iz trenutnega stanja v referenčno stanje, ki je energetska stanje čiste vode »v bazenu« na višini 0 (Gardiner in Miller, 2008). Večinoma je potencial vode v tleh manjši od 0, kar daje vodnemu potencialu negativen predznak. Negativni potencial pomeni, da je za premik vode iz tal »v bazen«, t.j. na referenčno stanje 0, potrebno opraviti delo. Bolj kot je voda vezana v tleh, večja je absolutna vrednost negativnega števila, ki označuje njen potencial.

Vodni potencial navadno izražamo v enotah energije na maso vode (J/kg) ali v enotah energije na volumen vode. Ker je energija na volumen enaka pritisku, se uporabljajo enote pritiska (Pa, bar). V znanosti se uporabljajo enote SI sistema in sicer so za vodni potencial v široki uporabi enote kPa in MPa. V praksi so še vedno v uporabi bari in pF vrednost (=logaritem centrimetrov vodnega stolpca). Izraz pF je uvedel Schofield leta 1935 in ga definiral kot merilo proste energije vode, ki nam pove, koliko proste energije je še v tleh pri določeni vlažnosti (Resulović in Čustović, 2002). Vrednost pF=0 pomeni, da so tla popolnoma nasičena z vodo

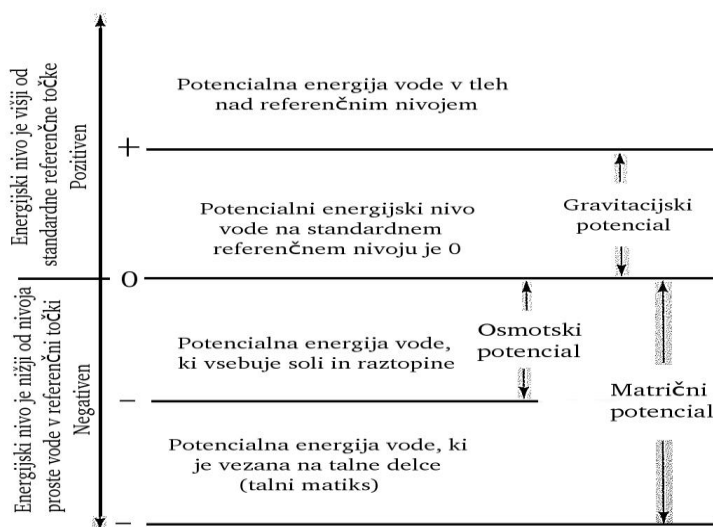
Vodni potencial tal je vsota matričnega, osmotskega in potenciala pritiska. Skupni vodni potencial pa je vsota vodnega in gravitacijskega potenciala (Slika 3) (Gardiner in Miller, 2008; Brady in Weil, 2008).

**Matrični potencial** odraža vpliv površinske adsorpcije na sposobnost vode, da opravi delo. Voda, ki je adsorptivno vezana na površino talnih delcev ali zadržana v kapilarnih porah z vodikovo vezjo, je manj prosta za gibanje ali reagiranje kot voda v »bazenu«. Opraviti je potrebno delo, da se sprost. Kadar je matrični potencial dejavnik, so vrednosti vodnega potenciala vedno negativne. V saturiranih razmerah (nasičenih z vodo), kjer je nekaj vode proste za gibanje, matrični potencial ni dejavnik, zato je njegova vrednost nič.

**Osmotski 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, teže gre skozi membrano in ne more zavreti pri standardni točki vrenja. Potrebno je delo (t.j. energija), da izločimo soli iz vode. Osmotski potencial je vedno negativen.

**Potencial pritiska** odraža vpliv pritiska zaradi plina ali 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 ali zaradi prekomerne vode na površini ali dviga podtalnice. Vrednosti potenciala pritiska so bodisi nič bodisi so pozitivne.

**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. Vrednosti so pozitivne.

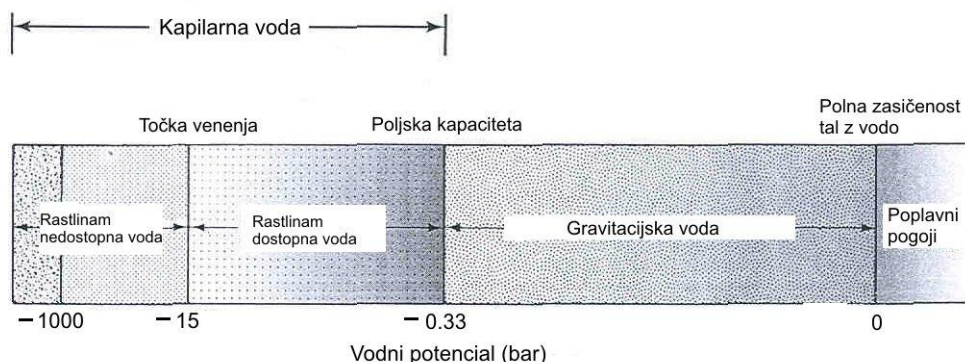


Slika 3: Vrste potencialov in njihova energija (Brady in Weil, 2008)

### 2.2.1 Pomembnejše točke vodnega potenciala v tleh

Vsebnost vezane vode in njen potencial sta medsebojno povezana in določata v kolikšni meri bodo tla zadrževala vodo. Ta vezana voda je v ravnovesju z vezano vodo pri potencialu 0 (tla so napojena z vodo). Ko se tla sušijo, se potencial zmanjšuje in voda odteče iz večjih por. Bolj, ko se potencial zmanjšuje, bolj voda odteka iz tal, tako da na koncu ostane samo še v najmanjših porah. Ne le, da voda odteka iz por, ampak se tudi plasti vode, ki se zadržujejo okoli talnih delcev, tanjšajo. Ko se potencial čedalje bolj zmanjšuje, se zmanjšuje tudi vsebnost vezane vode. Ta dva parametra lahko izmerimo s pomočjo laboratorijskih in terenskih meritev in iz njih odčitamo, koliko so neka tla sposobna zadrževati vodo. Odnos med tema dvema parametroma se giblje na lestvici od 0 bar (mokra tla) do -10000 bar (suha tla) (ISO 11274, 1998).

Za spremljanje vodnega režima v tleh so najpomembnejše naslednje vrednosti vodnega potenciala: nasičeni razmere (0 bar), poljska kapaciteta (-0,33 bar), točka venenja (-15 bar) (slika 4). Med vsemi temi vrednostmi potenciala ni ostrih mej. Med seboj se prekrivajo, saj večja kvantitativna vrednost potenciala vsebuje v sebi tudi ostale konstante z manjšo vrednostjo. Med točko venenja in poljsko kapaciteto se nahaja rastlinam dostopna voda (EPK) (slika 4).



Slika 4: Oblike vode v tleh in vodni potencial (Gardiner in Miller, 2008)

### Nasičene razmere - maksimalna vodna kapaciteta

Maksimalna vodna kapaciteta je maksimalna količina vode, ki jo lahko tla sprejmejo, vendar je ne morejo zadržati. V trenutku, ko so tla sprejela maksimalno količino vode, so vse pore zapolnjene z vodo. Takšno stanje tal je za rastline zelo neugodno, ker je voda iztisnila zrak iz por.

### Poljska kapaciteta (PK)

Poljska kapaciteta ali celokupna kapaciteta tal za vodo predstavlja tisto količino vode, ki ostane v tleh zatem, ko gravitacijska voda odteče in se je gibanje vode v tleh skoraj ustavilo. Na vsebnost vode pri poljski kapaciteti vplivajo mnogi dejavniki, kot so tekstura, vsebnost organske snovi in struktura. Zadržana voda v tleh pri poljski kapaciteti se giblje pri osnovnih teksturnih klasifikacijah okoli 45 vol. % pri glini, 35 vol. % ilovici in 10 vol. % pri pesku (preglednica 2) (Resulović in Čustović, 2002).

### Točka venenja (TV)

Točko venenja predstavlja količina vode v tleh, pri kateri rastline trajno ovenejo. Rastlina si kljub namakanju ne opomore več. Zadržana voda v tleh pri točki venenja se giblje pri osnovnih teksturnih klasifikacijah okoli 30 vol. % pri glini, 15 vol.% ilovici in 7 vol.% pri pesku (preglednica 2) (Resulović in Čustović, 2002).

### Efektivna poljska kapaciteta (EPK)

Efektivna poljska kapaciteta (EPK) je rastlinam dostopna voda, ki jo lahko koristijo za svoje fiziološke potrebe (slika 2). To vodo predstavlja manjši del adsorptivne in velik del kapilarne vode (Resulović in Čustović, 2002). EPK izračunamo kot razliko med PK in TV.

## 2.3 LASTNOSTI TAL POMEMBNE ZA STANJE VODE V TLEH

**Organska snov:** V tleh, posebno v njenem površinskem delu, se kopiči odmrla organska snov (odmrle korenine rastlin, nadzemni deli, stelja, organizmi v tleh, ipd.), ki lahko mineralizira, del pa se sčasoma spremeni (humificira) v trajnejšo, obstojnejšo snov (humus) (Stritar, 1991). Organska snov v tleh ima izreden vpliv na fizikalne, kemične in biološke lastnosti tal. Ker ima organska snov veliko specifično površino ter lahko povezuje delce tal v strukturne skupke, ima veliko sposobnost zadrževanja vode. Več imajo tla organske snovi, boljše imajo sposobnost zadrževanja vode. Vsebnost organske snovi izražamo v deležu prisotnosti na izbranih tleh (Preglednica 1).

Preglednica 1: Delitev tal glede na vsebnost organske snovi

% organske snovi	oznaka
<1	zelo slabo organska tla
1-2	slabo organska tla
2-4	organska tla
4-8	močno organska tla
8-15	zelo močno organska tla

**Tekstura:** Tekstura je trda faza tal, sestavljena iz mineralnih delcev različnih velikosti (pesek, melj, glina). Od velikosti mineralnih delcev je odvisna specifična površina delcev in velikost por v tleh, kar vpliva na fizikalne in kemične lastnosti tal, kot so zadrževanje in gibanje vode v tleh, zračnost, kationska izmenjalna kapaciteta, ipd. Če v tleh prevladujejo recimo glinasti delci, so tla gosta in zbita ter slabo prepustna in prezračena. Imajo pa veliko kationsko izmenjalno kapaciteto, kar pomeni, da imajo sposobnost zadrževanja vode in hranil. Tla, kjer prevladujejo peščeni delci, so zračna, topla, vendar slabo zadržujejo vodo in imajo majhno kationsko izmenjalno kapaciteto. Vpliv teksture na sposobnost tal za zadrževanje vode v tleh prikazuje preglednica 2.

Preglednica 2: Vsebnost vode (vol. %) pri različnih vodnih potencialih v različnih teksturnih razredih (Resulović in Čustović, 2002)

Teksturni razred	PK	TV	EPK
Glina	45	30	15
Ilovica	35	15	20
Pesek	10	3	7

**Poroznost:** Med trdimi talnimi delci se nahajajo talne pore, ki so različnih velikosti in oblik. V porah se zadržuje voda in/ali zrak, njun delež je obratno sorazmeren in odvisen od podnebnih razmer. Velikost in oblika por zelo vplivata tudi na sposobnost tal za zadrževanje vode. Talne pore delimo glede na velikost na makropore in mikropore (Brady in Weil, 2008). Makropore so velikosti od 0,08 do 5 in več mm. Najdemo jih v peščenih

(teksturni razredi P, PI, IP) in grobo strukturiranih tleh ter v obliki razpok in kanalov, ki jih povzroča delovanje talne favne, rastlinskih korenin in vremenske razmere. Take pore so ponavadi zapolnjene s talnim zrakom, saj voda iz njih hitro odteče pod vplivom gravitacijskih sil. Brady in Weil (2008) mikropore, ki so manjše od 0,08 mm, delita na mezopore, mikropore, ultramikropore in kriptopore. Mikropore (kapilarne pore) najdemo v drobno strukturiranih tleh z majhnimi osnovnimi delci (tekturni razredi G, GI, MGI). V kapilarnih porah se voda zadržuje pod vplivom kapilarnih sil, ki zaradi površinske napetosti vode vežejo vodo na stene talnih por z večjo silo, kot je gravitacijska sila, pod vplivom katere bi ta voda odtekla v globlje plasti tal .

**Volumska gostota tal** je razmerje med maso trdne faze tal in volumnom neporušenega vzorca tal. Volumska gostota vpliva na stanje vode v tleh posredno prek pornega prostora. Velike volumske gostote posameznih tal v splošnem zmanjšujejo količino rastlini dostopne vode.

**Globina tal** je razdalja med površino tal in matično podlago. Globlja tla imajo v splošnem večjo sposobnost za zadrževanje vode v tleh. Za pridelavo rastlin je pomembna globina, do katere segajo korenine. V sušnih razmerah, pa je lahko pomemben vir vode tudi kapilarni dvig le te iz globljih plasti tal.

### 3 MATERIAL IN METODE

S pomočjo novejših pedoloških kart Apaške doline izdelane v merilu 1 : 5.000 (Suhadolc in Ruprecht, 2008) smo v juniju leta 2008 izbrali reprezentativne lokacije treh glavnih tipov tal, ki se pojavljajo v Apaški dolini: obrečna, hipoglej in psevdoglej. Na vsaki lokaciji smo teren dodatno sondirali za določitev mikrolokacije, na kateri smo nato izkopali profil. Talni profil smo opisali na terenu in odvzeli porušene in neporušene vzorce po horizontih. Meritve smo izvajali v laboratoriju Centra za pedologijo in varstvo okolja (CPVO).

#### 3.1 APAŠKA DOLINA

Apaška dolina je ena od slovenskih pomurskih dolin (slika 5). Na severu je omejena z današnjim reguliranim koritom Mure, na jugu pa se dotika obrobja Slovenskih goric. Mura se pri Tratah oziroma pri Vranji vasi ter pri Gornji Radgoni dotakne zgornjega roba Slovenskih goric. Nadmorska višina obrežnega nasipa Mure pri Vratnji vasi znaša 232 m, pri Gornji Radgoni pa 208 m (Verbič in Horvat, 2006). Apaško polje se razteza na 54,73 km<sup>2</sup>, od tega je 3653 ha kmetijskih zemljišč (MKGP, 2007).



Slika 5: Apaško polje

### 3.1.1 Podnebje

Apaška dolina po Koppenu spada v vlažni zmerno topli klimatski pas s sušno zimo. Letno povprečje padavin je 916 mm, povprečna letna temperatura pa znaša 10,09 °C. Povprečno število dni s dnevno temperaturo 5 °C (vegetacijska doba) je 249 dni (Meteorološka postaja Gornja Radgona, 1982 – 2001).

### 3.1.2 Podzemne vode

Podtalnica Apaškega polja obsega približno 35 km<sup>2</sup> in je razmeroma plitvo pod površjem (3-6 m). Debelina vodne plasti je odvisna od reliefa in klimatskih razmer, v splošnem znaša od 1 do 9 m (Pintar in sod., 1996).

### 3.1.3 Tla

V Apaški dolini so zastopani trije talni tipi: obrečna, hipooglejena in psevdoglejena tla. Največ je obrečnih tal, sledijo hipooglejena in psevdoglejena tla.

**Obrečna tla** se v Apaški dolini pojavljajo na rečnih usedlinah reke Mure. Na teh tleh v Apaški dolini poteka največ kmetijske pridelave. Na njih uspeva predvsem koroza in žita. Ta tla dosegajo tudi dokaj visok pridelovalni potencial in se uvrščajo v prvo kategorijo kmetijskih zemljišč. Negativne lastnosti so možna plitvost in skeletnost.

**Hipooglejena tla** so v Apaški dolini nastala zaradi visoko stoječe talne vode (podtalnice). V profilu so opaženi sivo, olivno zeleno in modrikasto obarvani horizonti, ki nastajajo pod vplivom pomanjkanja zraka in označujejo prevlado redukcijskih procesov. Na teh tleh so predvsem gozdne površine, gledano s kmetijskega stališča pa so ta tla namenjena predvsem travniški rabi. Ta tla dosegajo manjši pridelovalni potencial in se uvrščajo v drugo in tretjo kategorijo kmetijskih zemljišč.

**Psevdoglejena tla** so v Apaški dolini na pleistocenskih glinah in ilovicah. Poleg zmerne gline vsebujejo ta tla še veliko melja, ki tla zgoščujejo. Na njih uspevajo predvsem travniki, pa tudi nekaj njiv. Ta tla dosegajo majhen pridelovalni potencial in se uvrščajo v drugo in tretjo kategorijo kmetijskih zemljišč.

## 3.2 DOLOČANJE SPOSOBNOSTI TAL ZA ZADRŽEVANJE VODE

### 3.2.1 Izkop talnega profila

Na izbranih lokacijah smo izkopal pedološki profil. Pedološki profil je pravokotna jama, široka je kakih 80 cm in 100 do 150 cm globoka (če prej ne naletimo na talno vodo, skalo, prod ali grušč) (Prus in sod., 1992).

V profilu smo opisali morfološke lastnosti tal, ki so nam pomagale določiti talne horizonte. Najpomembnejše morfološke lastnosti tal so: struktura, tekstura, konsistenca, vlaga, biološka aktivnost, barva, organska snov, prekoreninjenost, skeletnost, novotvorbe. Poleg tega smo pri vsakem talnem profilu navedli tudi lego, trenutno rabo zemljišča in ostale mikro in makro reliefne karakteristike. Iz profila smo po horizontih odvzeli neporušene in porušene vzorce tal.

**Pri delu smo uporabili naslednjo opremo:**

- zemljevid primerne merila,
- tračni meter (2m),
- lopato s spodnjim ravnim delom,
- večji nož,
- leseno kladivo,
- papirnate vrečke,
- plastične vrečke,
- sonda,
- lopatico,
- Kopeckijeve cilindre

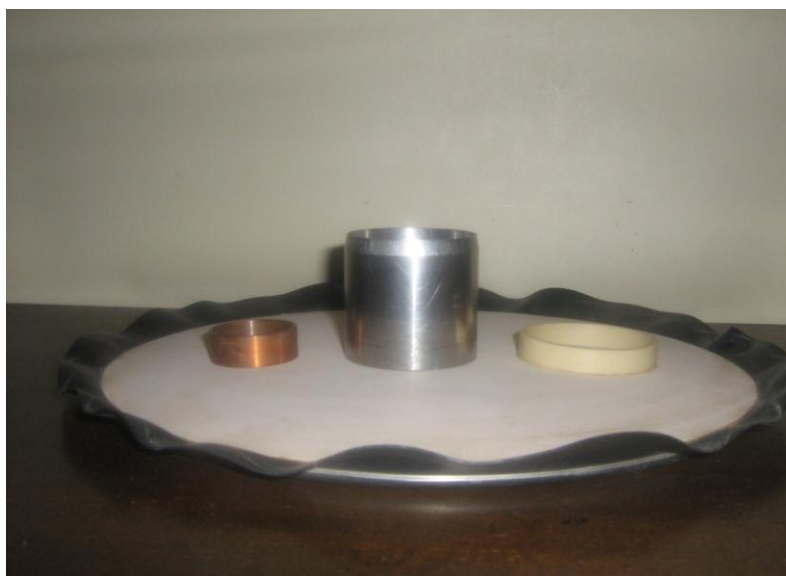
### **3.2.2 Odvzem vzorcev tal**

Odvzem vzorca v profilu in njegova nadaljnja priprava je bila odvisna od izbrane metode:

- (i) določanje v svežem neporušenem talnem vzorcu (NTC-sv), ki ga opisuje mednarodni standard za določanje sposobnosti tal za zadrževanje vode ISO 11274,
- (ii) določanje v svežem porušeni talnem vzorcu, polnjenem v cilindre na osnovi meritev volumske gostote na terenu (PTC-sv) (Klute, 1986) in
- (iii) določanje v suhem porušeni talnem vzorcu (PT-s), ki je starejša metoda določanja in se v slovenskem prostoru še vedno uporablja.

Vzorčniki, ki smo jih uporabili prikazuje slika 6.





Slika 6: Različni vzorčniki. Od leve proti desni: vzorčniki za PTC-sv, NTC-sv in PT-s vzorce.

#### **Sveži neporušeni vzorci tal v cilindrih (NTC-sv)**

Neporušene vzorce smo odvzeli s pomočjo kopeckevih cilindrov (višina 5 cm) z volumnom 100 cm<sup>3</sup>. V izkopanem talnem profilu smo v sredini izbranega horizonta namestili kovinsko ogrodje s cilindrom. V tla smo postavili ostri del cilindra in tolkli po nabijalni glavi ogrodja s plastičnim kladivom, da je bil cilindar zapolnjen z neporušenim vzorcem tal. Na zgornji in spodnji strani v ravnini roba cilindra smo previdno odrezali odvečna tla. Nato smo cilindar pokrili s plastičnima pokrovčkoma in shranili v kovček. Iz vsakega horizonta smo vzeli štiri vzorce – štiri ponovitve (Slika 7). Vzorce smo do izvedbe analiz shranili pri temperaturi 4 °C.

#### **Sveži, porušeni vzorci tal v cilindrih (PTC-sv)**

Na terenu smo iz vsakega horizonta na več mestih z lopatico odvzeli večjo količino porušenega svežega vzorca tal. To zemljo smo do izvajanja analiz shranili v PVC vreči v hladilniku s temperaturo 4 °C. Ob začetku meritev smo določili vlago tal in z upoštevanjem dejanske volumske gostote na terenu, izračunali količino vzorca potrebnega za polnjenje bakrenih cilindrov z višino 1 cm in volumnom 10 cm<sup>3</sup> (slika 8). Potrebno količino tal smo stehali in z njim napolnili cilindre. Za vsak horizont smo pripravili štiri ponovitve.

#### **Suhi, porušeni vzorci tal (PT-s)**

Na terenu smo iz vsakega horizonta na večjih mestih z lopatico odvzeli večjo količino vzorca za nadaljnje laboratorijske analize. To zemljo smo shranili v papirnate vreče in v laboratoriju dali v sušilnik (okoli 40 °C). Zračno suhe talne vzorce smo nato zmleli in shranili v kartonaste škatle do analiz. Za meritve sposobnosti tal za zadrževanje vode smo suh porušen vzorec (»razsut«) stresli v gumijaste obročke (višina 0,5 cm in premer 6,5 cm) do zapolnitve le tega. Za vsak horizont smo pripravili štiri vzorce (slika 9). Suh zmlet vzorec smo uporabili tudi za določanje teksture tal in vsebnost organske snovi.

### 3.2.3 Meritve v tlačnih ekstraktorjih

Povezavo med vsebnostjo vode v tleh in silo, s katero je vezana na talne delce, določamo z različnimi metodami (aparati), odvisno od matričnih potencialov, pri katerih želimo vsebnosti vode določiti (ISO 11274). Za matrične potenciale med poljsko kapaciteto (-33kPa oz. 0,33 bar) in točko venenja (-1500 kPa oz. 15 bar) lahko uporabljamo metodo plina pod pritiskom in tlačnega ekstraktorja s poroznimi keramičnimi ploščami (slika 10) (ISO 11274). Princip meritve je: če z vodo nasičen vzorec tal izpostavimo pritisku, bo ta iz talne gmote iztisnil vso vodo, ki je na tla vezana z enako ali manjšo silo vezanja. Večji kot je tlak, več vode se iztisne iz tal. Enak učinek ima v negativnem smislu (glede na vodo v tleh) tudi uporaba podtlaka (Marinčič, 1971).

Pred meritvami smo pripravljene vzorce popolnoma zasitili z destilirano vodo (Slika 7, 8, 9). Da so vzorci popolnoma nasičeni z vodo, smo ugotovili po tem, ko se je na površini vzorca naredil film vode. Čas trajanja se je pri različno pripravljenih vzorcih zelo razlikoval. Meritve smo izvajali s pomočjo tlačnega ekstraktorja (Richardova posoda) (slika 10). Merili smo na dveh različnih pritiskih: 0,33 bar (PK) in 15 bar (TV). Delo je potekalo tako, da smo keramično ploščo, primerno za določen tlak dali v ekstraktor. Na plošči so bili vzorci, ki so bili nasičeni z vodo. Ploščo smo povezali z odtočno cevjo in ekstraktor nepredušno zaprli ter izpostavili določenemu pritisku. Vsakodnevno smo spremljali odtok vode, ko je voda prenehala teči, je pomenilo, da je vzorec v ravnotežnem stanju pri izbranem pritisku. Vzorce tal smo vzeli iz ekstraktorja, jih previdno stehali in dali v pečico na 105 °C za en dan, da so se popolnoma posušili. Posušene vzorce smo znova stehali. Iz dobljenih podatkov smo izračunali masni odstotek (m %) vode v vzorcu pri izbranem pritisku. Iz masnega odstotka (m %) smo s pomočjo volumske gostote tal določili volumski odstotek (vol. %) vode v tleh.



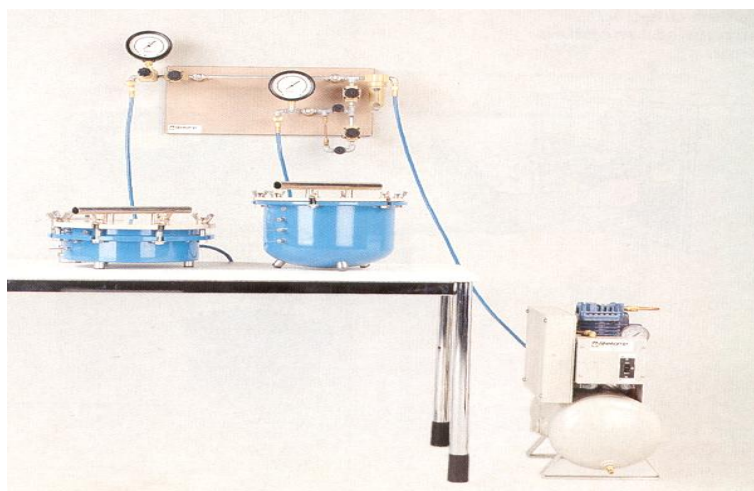
Slika 7: Navlaževanje neporušenih vzorcev tal v Kopeckyevih cilindrih (NTC-sv)



Slika 8: Navlaževanje svežih vzorcev tal polnjenih v cilindre z upoštevanjem dejanske volumske gostote **PTC-sv**



Slika 9: Navlaževanje suhih porušenih vzorcev nasutih v obroče (**PT-s**).



Slika 10: Richardova tlačna ekstraktorja (Eijkelkamp katalog)

### 3.3 ANALITSKE METODE

Organsko snov smo določili po standardu SIST ISO 14235, modificiranjem po Walkley-Black (SIST ISO 14235, 1999). V 200 ml bučko smo natehtali talni vzorec (od 0,05 do 2,0 g), ga prelili z 10 ml  $K_2CrO_7$  (0,166 mol/l) in rahlo premešali. Dolili smo 20 ml  $H_2SO_4$  (96 %). Po 20 - 30 minutah smo bučko dopolnili z deionizirano vodo. V erlenmajerico smo odpipetirali 20 ml alikvot in dodali 10 kapljic  $H_3PO_4$  (85 %), 0,2 g NaF in 3 kapljice indikatorja difenilamina (0,5 g indikatorja raztopimo v 20 ml deionizirane vode in dodamo 100 ml koncentrirane  $H_2SO_4$ ). Tako pripravljen alikvot smo titrirali z raztopino  $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$  (0,5 mol/l) do preskoka barve v smaragdno zeleno. Iz razlike med slepo vrednostjo in vzorcem smo izračunali vsebnost organske snovi v vzorcu.

Teksturo tal smo določili s sedimentacijsko pipetno metodo (Janitzky, 1986). V platenko smo natehtali 10 g tal in prelili s 25 ml Na-pirofosfata (0,4 mol/l). Talno raztopino smo stresali na stresalniku 4 ure in nato prenesli na sito s premerom odprtin 0,2 mm. Z mokrim sejanjem smo izločili delce grobega peska. Suspenzijo, ki je šla skozi sito, smo prenesli v valj z volumnom 1000 ml, kamor smo do oznake dolili deionizirano vodo. Zamašen valj smo stresali 3 minute in postavili na podlago, da so se delci začeli usedati. Po 44 sekundah smo odpipetirali 10 ml suspenzije iz globine 10 cm, ki je zajela delce, ki so manjši od 0,05 mm (grobi in fini melj, glina). Maso odpipetirane suspenzije smo določili po izparevanju na peščeni kopeli in sušenju pri 105 °C. Valj smo ponovno stresali 3 minute. Po 4 min in 27 sekundah smo določili delce, manjše od 0,002 mm (fini melj in glina). Po ponovnem stresanju 3 minute smo po 7 urah in 35 minutah določili delce, ki so manjši od 0,002 mm (glina). Teksturni razred smo določili po ameriški teksturni klasifikaciji (Soil survey manual, 1993).

Volumsko gostoto tal smo določili tako, da smo vzorec tal v Kopecky-evem cilindru, ki ima 100 cm<sup>3</sup> volumna, posušili pri 105 °C. Suh vzorec smo stehali ter maso delili z volumnom cilindra. Določili smo tudi vsebnost skeleta.

Masni odstotek vode v tleh je razmerje med maso vode v tleh in maso trde faze tal. Določili smo ga tako, da smo vlažen vzorec stehali, ga posušili na 105 °C in ponovno stehali. Iz teh podatkov smo izračunali maso vode in nato masni odstotek vode.

$$\text{Masni odstotek vode v tleh} = (\text{masa vode} / \text{masa suhih tal}) \times 100 \quad \dots(1)$$

Volumski odstotek vode v tleh je razmerje med volumnom talnih por, ki so zapolnjene z vodo in celotnim volumnom tal. Posredno jo računamo s pomočjo masnega odstotka vode v tleh in volumske gostote tal.

$$\text{Volumski odstotek vode v tleh} = \text{masni odstotek vode v tleh} \times \text{volumska gostota tal} / \text{gostota vode} \quad \dots(2)$$

### 3.4 OBDELAVA PODATKOV

Izračunali smo povprečja in standardne odklone štirih ponovitev. Rezultate smo grafično prikazali.

## 4 REZULTATI

### 4.1 TALNE LASTNOSTI IZBRANIH PROFILOV V APAŠKI DOLINI

V Apaški dolini so zastopani trije talni tipi: obrečna, hipoglejena in psevdoglejena tla. Največ je obrečnih tal (28 km<sup>2</sup>), sledijo hipoglejena tla (12,1 km<sup>2</sup>) in psevdoglejena tla (3,3 km<sup>2</sup>) (CPVO, 2009). Za namen diplomske naloge smo izkopal tri reprezentativne talne profile, po enega za vsak zastopan talni tip (slika 11, 12, 13).

#### 4.1.1 Obrečna tla



Slika 11: Pedološki profil obrečnih tal na Apaškem polju

Profil obrečnih tal (slika 11) smo izkopal v kraju Škrinjar. Segal je do globine 50 cm, nato se je pojavil prod. Zgornji Ap horizont je imel globino 30 cm. Po teksturi smo ga uvrstili v ilovnati razred, saj je vseboval 35 % peska, 54,3 % melja in 10,7 % gline (preglednica 3). Vseboval je 2,7 % organske snovi, kar ga uvršča med organska tla. Ap horizontu je sledil A<sub>2</sub> horizont globine 20 cm, ki smo ga po teksturnem razredu uvrstili v ilovnati razred. Vsebnost organske snovi je imel manjšo, kar ga uvršča med slabo organska tla.

Preglednica 3: Pedološke analize obrečnih tal

Horizont	% org. sn.	TEKSTURA				Vol. gost. (g/cm <sup>3</sup> )
		% peska	% melja	% gline	teksturni razred	
Ap (0-30)	2,7	35	54,3	10,7	MI	1,4
A <sub>2</sub> (30-50)	1,7	31,2	58,1	10,7	MI	1,27

#### 4.1.2 Hipoglej



Slika 12: Pedološki profil hipooglejenih tal na Apaškem polju

Profil hipooglejenih tal (slika 12) smo izkopali v kraju Zg. Konjišče (lovska njiva). Segal je do globine 90 cm. Profil smo razdelili v tri horizonte. Zgornji Ap horizont je imel globino 30 cm. Po teksturi smo ga uvrstili v meljasto ilovnati razred, saj je vseboval 12,8 % peska, 55,3 % melja in 31,9 % gline (preglednica 4). Vseboval je 3 % organske snovi, kar ga uvršča med organska tla. Ap horizontu je sledil Go horizont globine 20 cm, meljasto ilovovnate teksture. Vsebnost peska in organske snovi je imel manjšo ter večjo vsebnost melja in gline (preglednica 4). Go horizontu je sledil GoGr horizont, po teksturi meljasto ilovnat. Vseboval je podobne teksturne frakcije kot Go horizont, le organske snovi je imel občutno manj (0,4 %).

Preglednica 4: Pedološke analize hipooglejenih tal

Horizont	% org. sn.	TEKSTURA				Volumska gostota (g/cm <sup>3</sup> )
		% peska	% melja	% gline	teksturni razred	
Ap (0-30)	3	12,8	55,3	31,9	MGI	1,3
Go (30-50)	2,1	5,4	57,8	36,8	MGI	1,3
GoGr (50-90)	0,4	6,8	59,8	33,4	MGI	1,7

### 4.1.3 Pseudoglej



Slika 13: Pedološki profil pseudoglejenih tal na Apaškem polju

Profil pseudogleja (slika 13) smo izkopali v kraju Janhova. Segal je do globine 80 cm. Profil smo razdelili v tri horizonte (preglednica 5). Zgornji Ap horizont je imel globino 30 cm. Po teksturi smo ga uvrstili v meljasto glinasti razred, saj je vseboval 12,1% peska, 70,6 % melja in 17,3 % gline. Vseboval je 5,8 % organske snovi. Vendar so to predvsem slabo razgrajeni strniščni ostanki koruze, pri katerih je bila mineralizacija počasna zaradi pomanjkanje zraka. Ap horizontu je sledil Bg<sub>1</sub> horizont globine 20 cm, ki je vseboval več peska (19,9 %) in gline (25,3 %) kot Ap horizont ter manj melja (55,1 %). Občutno manj od Ap horizonta je imel organske snovi (0,5 %). Za Bg<sub>1</sub> horizontom smo določili Bg<sub>2</sub> horizont, podobnih teksturnih frakcij kot Bg<sub>1</sub> horizont. Vsi horizonti so po teksturni klasifikaciji meljasta glina.

Preglednica 5: Pedološke analize pseudoglejenih tal

Horizont	% org. sn.	TEKSTURA				Volumska gostota g/cm <sup>3</sup>
		% peska	%melja	% gline	teksturni razred	
Ap (0-30)	5,8	12,1	70,6	17,3	MI	1,42
Bg <sub>1</sub> (30-50)	0,5	19,6	55,1	25,3	MI	1,57
Bg <sub>2</sub> (50-80)	0,7	20,2	50,2	29,6	MGI	1,59

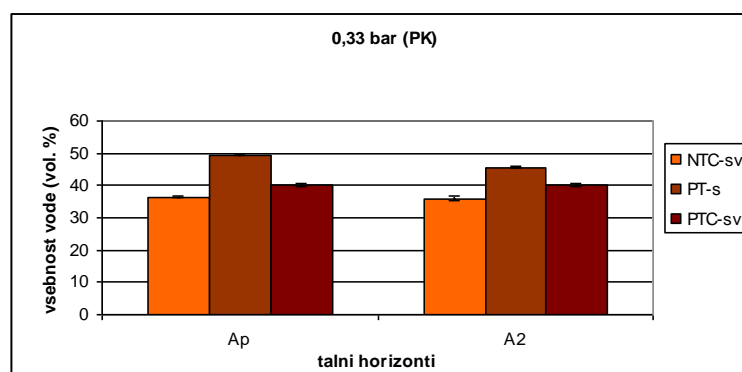


## 4.2 VPLIV PRIPRAVE VZORCA NA DOLOČITEV PK IN TV

Sposobnost tal za zadrževanje vode smo določali v vseh treh profilih in v vseh horizontih. Talne vzorce smo pripravili na tri različne načine: (i) neporušen svež vzorec odvzet s kopecky-jevimi cilindri z oznako NTC-sv (neporušen svež talni vzorec v cilindru); (ii) porušen sveži talni vzorec polnjen, v skladu z volumsko gostoto na terenu, v cilindre prostornine 10 cm<sup>3</sup> z oznako PTC-sv (polnjen svež talni vzorec v cilindru); (iii) porušen suhi talni vzorec z oznako PT-s (porušen suhi talni vzorec).

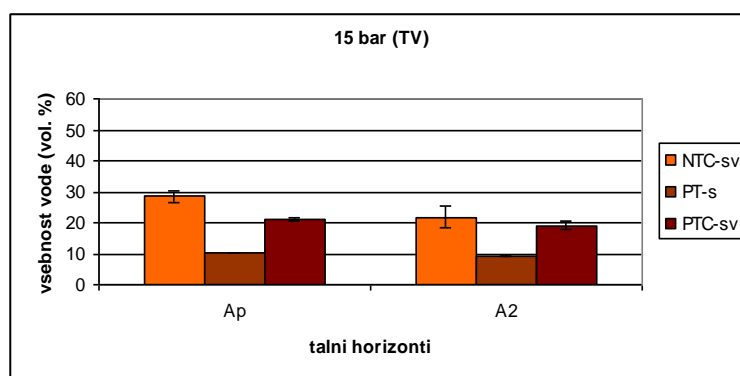
### 4.2.1 Sposobnost tal za zadrževanje vode glede na pripravo vzorca v obrečnih tleh

Razpon med metodami v določitvi vsebnosti vode pri poljski kapaciteti (0,33 bar) je bil od 36,48 do 49,46 vol. % v Ap horizontu in 36,04 do 45,66 vol. % v A2 horizontu (slika 14). Največjo vsebnost vode pri PK smo določili z metodo porušeni suhi vzorcev (PT-s) v obeh horizontih obrečnih tal, najmanjšo pa z metodo neporušenih svežih vzorcev tal (NTC-sv). Med ponovitvami ni prihajalo do večjih standardnih odklonov.



Slika 14: Primerjava vsebnosti vode (vol. %) pri PK v obrečnih tleh, v različno pripravljenih vzorcih. Prikazani so povprečja in standardni odkloni 4 meritev.

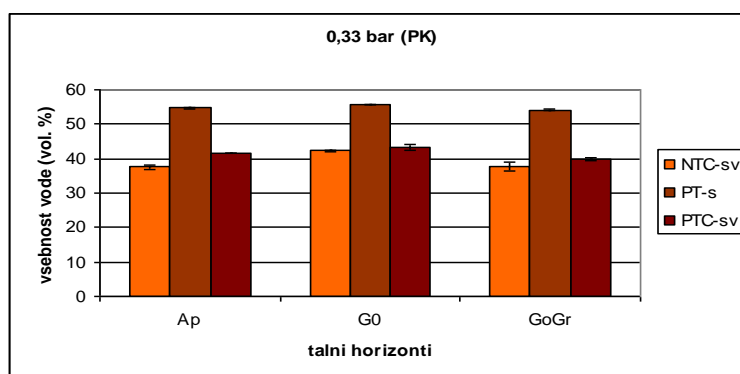
Razpon med metodami v določitvi vsebnosti vode pri točki venenja je bil od 10,29 do 28,42 vol. % v Ap horizontu in 9,08 do 21,89 vol. % v A2 horizontu (slika 15). Največjo vsebnost vode pri TV smo določili z metodo neporušenih svežih vzorcev tal (NTC-sv) v obeh horizontih obrečnih tal, najmanjšo pa z metodo porušeni suhi vzorcev (PT-s) v obeh horizontih. Pri metodi NTC-sv je prihajalo do povečanega standardnega odklona ( $\pm 1,77$ - $3,34$ ). Sklepamo, da je do tega prišlo zaradi višine vzorčnika (5 cm) in velike vsebnosti peska v tem talnem vzorcu. Talni vzorec se je »skrčil«, ko je odtekla določena količina vode ter povzročil slab stik med tlemi in keramično ploščo v tlačnem ekstraktorju.



Slika 15: Primerjava vsebnosti vod (vol. %) pri TV v obrečnih tleh, v različno pripravljenih vzorcih. Prikazani so povprečja in standardni odkloni 4 meritev.

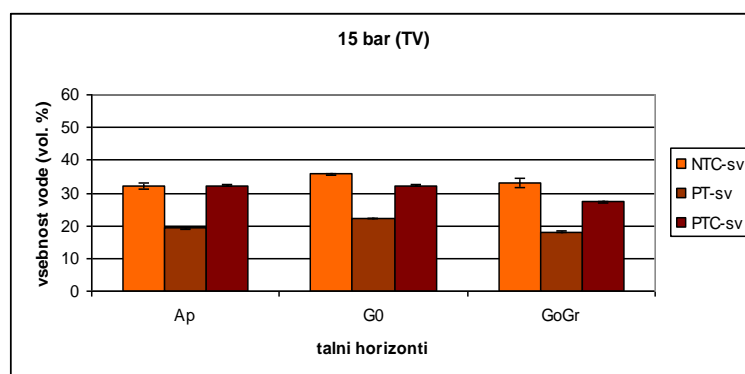
#### 4.2.2 Sposobnost tal za zadrževanje vode glede na pripravo vzorca v hipooglejenih tleh

Razpon med metodami v določitvi vsebnosti vode pri poljski kapaciteti je bil od 37,53 do 54,65 vol. % v Ap horizontu, 42,31 do 55,7 vol. % v Go horizontu in od 37,64 do 54,11 vol. % v GoGr horizontu (slika 16). Največjo PK smo določili z metodo PT-s, najmanjšo PK z metodo NTC-sv. Pri meritvah ni prihajalo do večjih standardnih odklonov.



Slika 16: Primerjava vsebnosti vode (vol. %) pri PK v hipooglejenih tleh, v različno pripravljenih vzorcih. Prikazani so povprečja in standardni odkloni 4 meritev.

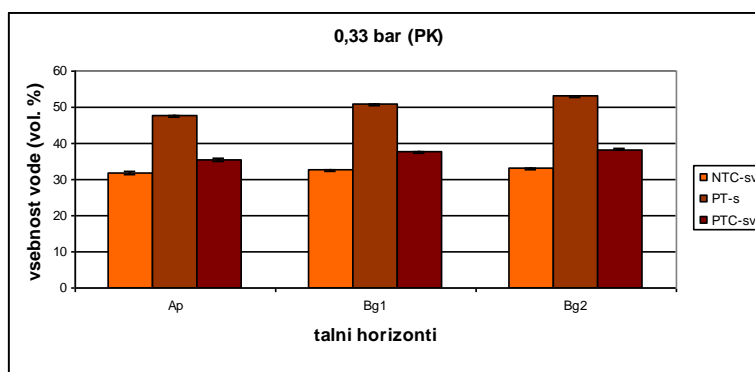
Razpon med metodami v določitvi vsebnosti vode pri točki venenja je bil od 19,17 do 32,22 vol. % v Ap horizontu, od 22,33 do 35,67 vol. % v Go horizontu in 18,18 do 33,2 vol. % v GoGr horizontu (slika 17). Največjo TV smo določili z metodo NTC-sv, najmanjšo TV z metodo PT-s. Pri meritvah ni prihajalo do večjih standardnih odklonov.



Slika 17: Primerjava vsebnosti vode (vol. %) pri TV v hipoglejenih tleh, v različno pripravljenih vzorcih. Prikazani so povprečja in standardni odkloni 4 meritev.

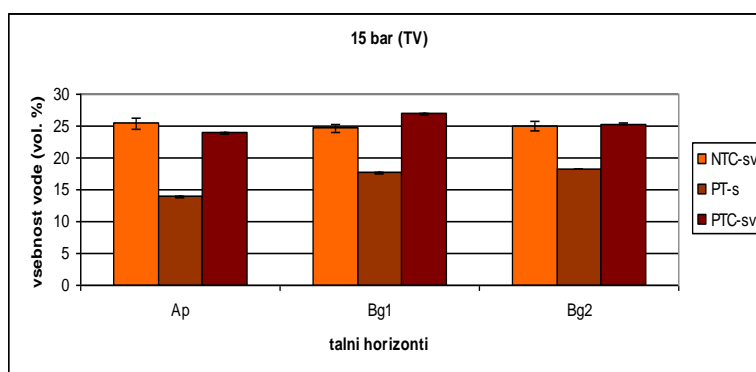
#### 4.2.3 Sposobnost tal za zadrževanje vode glede na pripravo vzorca v psevdoglejenih tleh

Razpon med metodami v določitvi vsebnosti vode pri poljski kapaciteti je bil od 31,81 do 47,6 vol. % v Ap horizontu, 32,59 do 50,8 vol. % v Bg<sub>1</sub> horizontu in od 32,98 do 53,14 vol. % v Bg<sub>1</sub> horizontu (slika 18). Največjo PK smo določili z metodo PT-s, najmanjšo PK z metodo NTC-sv. Pri meritvah ni prihajalo do večjih standardnih odklonov.



Slika 18: Primerjava vsebnosti vode (vol. %) pri PK v psevdoglejenih tleh, v različno pripravljenih vzorcih. Prikazani so povprečja in standardni odkloni 4 meritev.

Razpon med metodami v določitvi vsebnosti vode pri točki venenja je bil od 13,89 do 25,4 vol. % v Ap horizontu, od 17,66 do 26,94 vol. % v Bg<sub>1</sub> horizontu in od 18,17 do 25,3 vol. % v Bg<sub>2</sub> horizontu (slika 19). Največjo TV smo določili z metodo NTC-sv in PTC-sv, najmanjšo TV z metodo PT-s. Pri meritvah ni prihajalo do večjih standardnih odklonov.

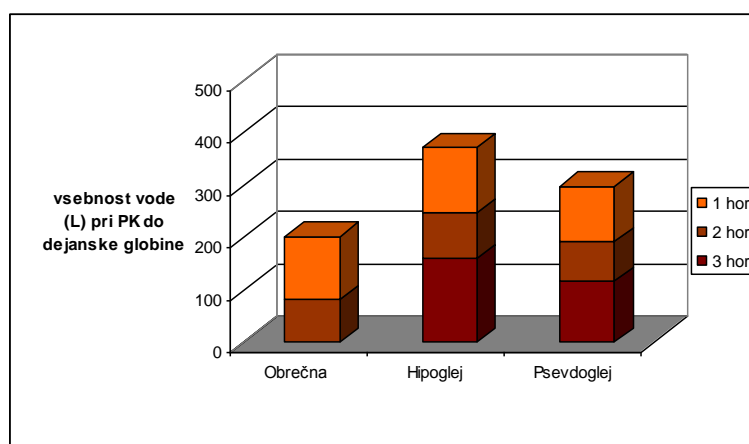


Slika 19: Primerjava vsebnosti vode (vol. %) pri TV v psevdoglejenih tleh, v različno pripravljени vzorcih. Prikazani so povprečja in standardni odkloni 4 meritev.

#### 4.3 PRIMERJAVA SPOSOBNOSTI ZADRŽEVANJA VODE MED IZBRANIMI PROFILI PO METODI PTC-SV

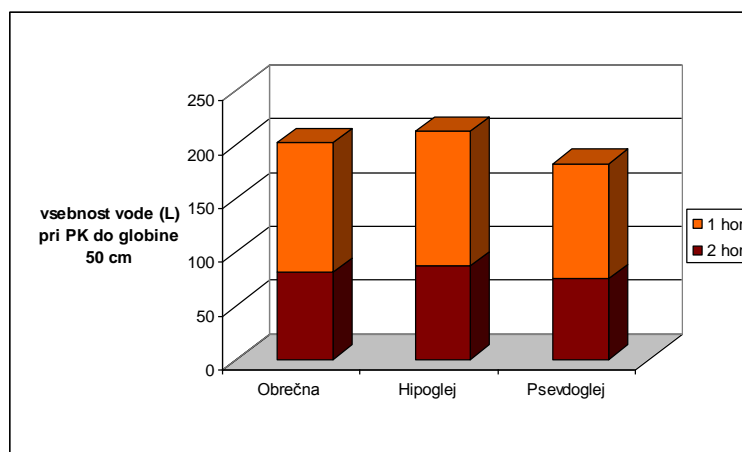
Za lažjo primerjavo med tremi talnimi tipi (z različno globino) smo rezultate prikazali v litrih zadržane vode v talnem stolpcu s površino 1 m<sup>2</sup> (i) do dejanske globine posameznega profila tal (h=50 oz. 80 oz. 90 cm) in (ii) do globine 50 cm (h=0,5 m, V=0,5 m<sup>3</sup>). Obrečna tla so namreč na izbrani lokaciji segala le do globine 50 cm, nato se je pojavil prod. Pri psevdogleju in hipogleju pa ravno prva dva horizonta segata do globine 50 cm. Dodaten razlog za omejitev do globine 50 cm je dejstvo, da do te globine lahko sega tudi glavni koreninski sistem nekaterih kmetijskih kultur, ki se pojavljajo v Apaški dolini. Prikazali smo poljsko kapaciteto tal, točko venenja in efektivno poljsko kapaciteto tal za zadrževanje vode določenih po metodi PTC-sv, ki se je pokazala za enostavno in hkrati primerljivo meritvam v neporušeno odvzetih vzorcih (NTC-sv).

Na sliki 20 je predstavljena vsebnost vode (L) pri PK za vse tri talne tipe do dejanske globine posameznega talnega profila. Največjo količino vode lahko v celotnem profilu tal pri PK zadržijo hipoglejena tla (h=90 cm, V=0,9 m<sup>3</sup>) z 370,6 L, sledijo psevdoglejena tla (h=80 cm, V=0,8 m<sup>3</sup>) z 296,77 L in obrečna tla (h=50 cm, V=0,5 m<sup>3</sup>) z 200,80 L.



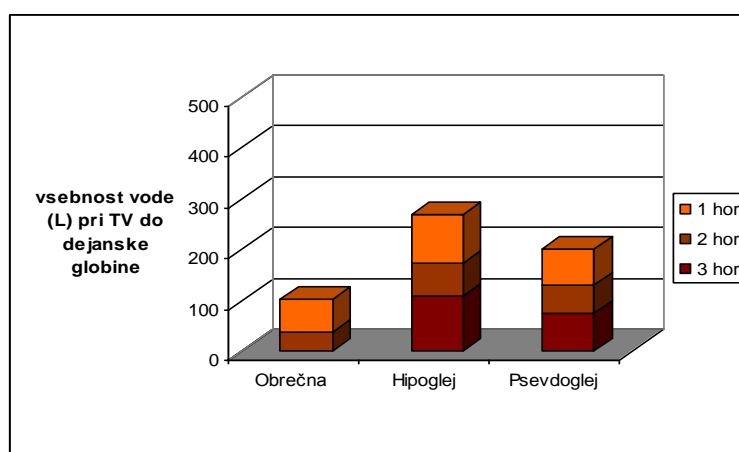
Slika 20: Vsebnost vode (L) pri TV, v različnih talnih tipih do dejanske globine izbranih talnih profilov (obrečna tla 50 cm, hipoglej 90 cm, psevdoglej 80 cm)

Na sliki 21 je predstavljena vsebnost zadržane vode pri PK za vse tri talne tipe do globine 50 cm. Največjo sposobnost za zadrževanje vode pri PK imajo hipooglejena tla z 211,6 L (42,32 vol. %), ki imajo veliko vsebnost gline in večji delež organske snovi. Hipooglejenim tlem sledijo obrečna tla z 200,80 L (40,16 vol. %), ki imajo sicer najmanjšo vsebnost gline in podoben delež organske snovi. Najmanjšo sposobnost zadrževanja vode do globine 50 cm imajo psevdooglejena tla z 181,60 L (36,32 vol. %). To pripisujemo veliki vsebnosti melja v Ap horizontu (70 %), ki slabo tvori strukturne agregate. Čeprav imajo psevdooglejena tla v Ap horizontu velik delež organske snovi, ki pa ni dovolj mineralizirana in zato slabše zadržuje vodo.



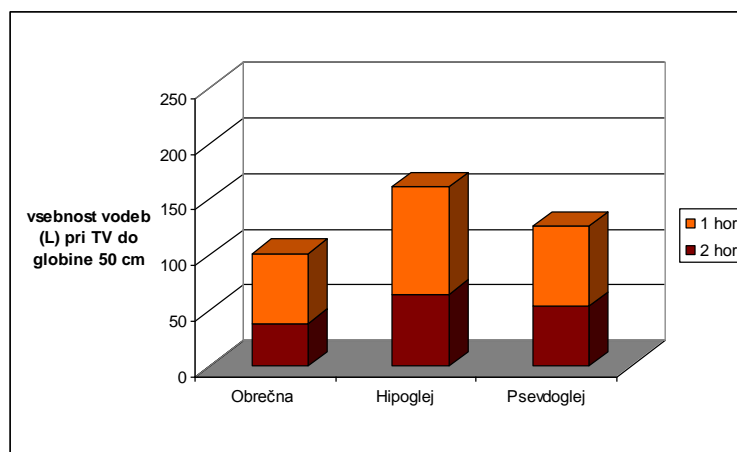
Slika 21: Vsebnost vode (L) pri PK, v različnih talnih tipih do globine 50 cm ( $V_{tal}=500$  L oz.  $0,5$  m<sup>3</sup>)

Na sliki 22 je predstavljena vsebnost vode (L) pri TV za vse tri talne tipe do dejanske globine izbranih talnih profilov. Največ rastlinam nedostopne vode vsebujejo hipooglejena tla ( $h=90$  cm,  $V=0,9$  m<sup>3</sup>) z 269,68 L, sledijo psevdooglejena tla ( $h=80$  cm,  $V=0,8$  m<sup>3</sup>) z 201,71 L in obrečna tla ( $h=50$  cm,  $V=0,5$  m<sup>3</sup>) z 101,20 L.



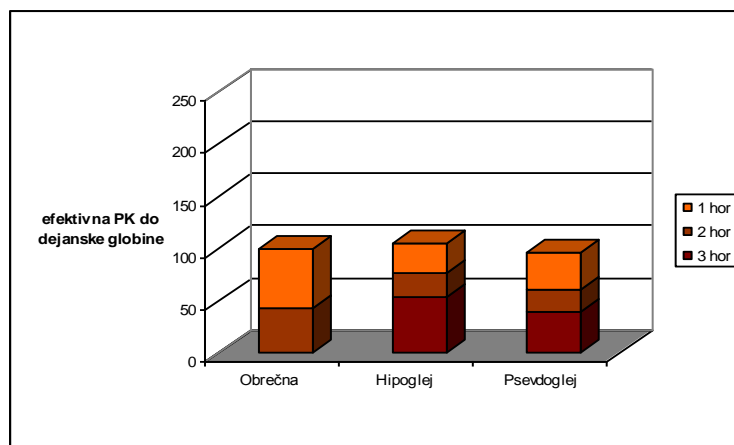
Slika 22: Vsebnost vode (L) pri TV, v različnih talnih tipih do dejanske globine izbranih talnih profilov (obrečna tla 50 cm, hipoglej 90 cm, psevdoglej 80 cm)

Na sliki 23 je predstavljena vsebnost vode v L pri TV za vse tri talne tipe do globine 50 cm. Največ rastlinam nedostopne vode imajo hipooglejena tla in sicer 161 L (32,24 vol. %), sledijo psevdoglejena tla s 125,80 L (25,16 vol. %) in nato obrečna tla s 101,20 L (20,24 vol. %). Rezultati kažejo, da je delež glinene frakcije ključen za zadrževanje vode pri največjem pritisku. Največji delež glinene imajo hipooglejena tla (31,9-36,8 %), sledijo psevdoglejena tla (17,3-25,3 %), ter obrečna tla s 10,7 %.



Slika 23: Vsebnost vode (L) pri TV, v različnih talnih tipih do globine 50 cm ( $V_{tal}=500$  L oz.  $0,5$  m<sup>3</sup>).

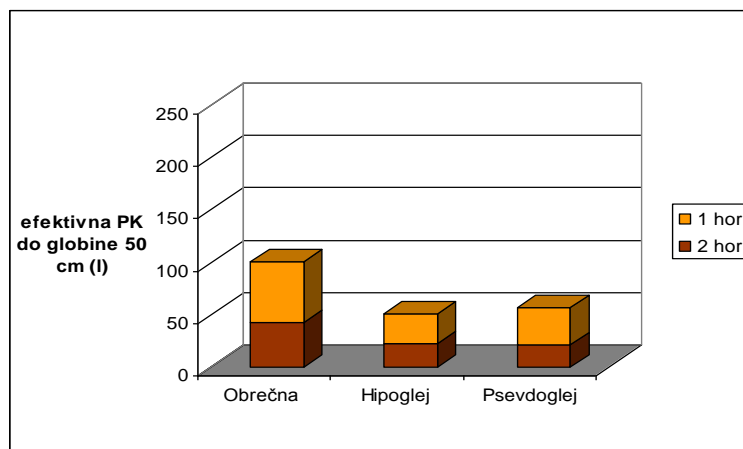
Na sliki 24 je predstavljena rastlini dostopna zadržana voda (EPK) za vse tri talne tipe do dejanske globine izbranih talnih profilov. Največo količino rastlinam dostopne vode lahko zadržijo hipooglejena tla ( $h=90$  cm,  $V=0,9$  m<sup>3</sup>) z 104,32 L, sledijo obrečna tla ( $h=50$  cm,  $V=0,5$  m<sup>3</sup>) z 99,70 L in psevdoglejena tla ( $h=80$  cm,  $V=0,8$  m<sup>3</sup>) z 95,70 L.



Slika 24: Vsebnost vode (L) pri EPK, v različnih talnih tipih do dejanske globine izbranih talnih profilov (obrečna tla 50 cm, hipoglej 90 cm, psevdoglej 80 cm)

Na sliki 25 je predstavljena rastlini dostopna zadržana voda (EPK) za vse tri talne tipe do globine 50 cm. Največjo količino rastlini dostopne vode lahko do globine 50 cm zadržijo obrečna tla s količino 99,70 L (19,94 vol. %), sledijo psevdoglejena tla s 56,35 L (11,27 vol. %) in hipooglejena tla s 54 L (10,8 vol. %). Večji delež glinene frakcije v

hipooglejenih in psevdoglejenih tleh vpliva na močnejšo vezavo vode v teh tleh, ki je rastlinam nedostopna.



Slika 25: Sposobnost zadrževanja rastlini dostopne vode (L) (EPK) v različnih talnih tipih do globine 50 cm ( $V_{tal}=500$  L oz.  $0,5$  m<sup>3</sup>)

## 5 RAZPRAVA

### 5.1 VPLIV RAZLIČNIH METOD PRIPRAVE VZORCEV NA DOLOČITEV SPOSOBNOSTI ZA ZADRŽEVANJE VODE V TLEH

ISO 11274 standard priporoča meritve v neporušenih vzorcih (NTC-sv), saj ima struktura velik vpliv na vodno retenzijske lastnosti tal. ISO 11274 dopušča tudi meritve v porušenih vzorcih z ohranjeno strukturo in volumsko gostoto. V tem primeru priporoča odvzem neporušenih kock tal, ki jih v laboratoriju polnimo v cilindre. O pripravi »pravih« porušenih vzorcev standard ne govori. Ker se porušeni vzorci tal, »ponovno polnjeni« v cilindre, pogosto uporabljajo v raziskavah usode fitofarmaceutskih sredstev v tleh, omenja pa jih tudi Klute pri določanju sposobnosti tal za zadrževanje vode (1986), smo pri drugi metodi uporabili porušene sveže vzorce tal, polnjene v cilindre v skladu z realno volumsko gostoto na polju (PTC-sv). Pri tem smo skušali ohranjati strukturne agregate. Tretja metoda, ki smo jo uporabili pa sloni na porušenih oz. »razsutih« suhih talnih vzorcih (PT-s), ki jo Klute (1986) odsvetuje, standard pa je ne omenja.

Z meritvami vsebnosti vode v različno pripravljenih vzorcih se je pokazalo, da metodi NTC-sv in PTC-sv vzorca dajeta podobne rezultate. Do manjših odstopanj med NTC-sv in PTC-sv vzorcema med meritvami je prišlo le v obrečnih tleh, pri tlaku 15 bar (TV). Sklepamo, da je vzrok v večji vsebnosti peska, ki je pri NTC-sv vzorcu povzročil »skrčenje« vzorca in s tem slabši kontakt s keramično ploščo. Na to opozarja tudi ISO 11274 standard, ki navaja, da naj bi peščena tla merili le v vzorčnikih do višine 1 cm. Višina kopeckevih cilindrov (Eijkelpamp), ki smo jih uporabili v nalogi po NTC-sv metodi, je 5 cm; v PTC-sv metodi pa smo uporabili cilindre višine 1 cm (izdelani po naročilu). V prihodnje bi bilo pomembno obe metodi primerjati v cilindrih z isto višino. Po standardu 11274 je 5 cm tudi največja priporočena višina talnega stolpca za meritve.

Rezultati kažejo, da meritve v suhih porušenih vzorcih (PT-s) odstopajo od meritev po ISO standardu 11274, kar je skladno tudi z ugotovitvami drugih avtorjev (Klute, 1986). Razlika v vsebnosti vode je tudi do 25 vol. % pri EPK. To se je pokazalo pri vseh talnih tipih in horizontih. Sklepamo, da je to posledica zmlatosti in suhosti PT-s vzorca, ki se je ob navlažitvi sicer izredno omočil (blaten), a je v njem bila voda manj vezana. Meritev vsebnosti vode s to metodo je bila pri PK večja, pri TV pa manjša od prej omenjenih metod.

Precejšnje razlike pri meritvah sposobnosti tal za zadrževanje vode so bile opazne tudi med časom navlaževanja vzorcev in časom meritev (izpostavljenosti pritisku). Najdlje je postopek trajal pri NTC-sv vzorcih. Obrečna tla so bila nasičena z vodo po 3-4 dneh navlaževanja, ravno tolikšen pa je bil tudi čas, da je vzorec nehal odvajati vodo pri 15 barih. Pri manjših pritiskih je postopek potekal hitreje. Večji čas navlaževanja in meritev smo potrebovali pri hipoglejih in psevdoglejih. Pri NTC-sv vzorcih je bil čas navlaževanja v omenjenih tleh več kot 30 dni. Podoben čas pa je bil potreben za odvajanje vode pri 15 barih. Meritve so potekale pri PTC-sv in PT-s vzorcih, ki so se zaradi manjše višine vzorčnikov (1 cm in 0,7 cm) v primerjavi s Kopeckevimi cilindri (5 cm) prej navlažili in nehali oddajati vodo (obrečna 1 dan, hipoglej in psevdoglej 2 dni).



## 5.2 SPOSOBNOST ZADRŽEVANJA VODE V IZBRANIH TLEH APAŠKE DOLINE

Pridelovanje poljščin v Apaški dolini je močno odvisno od podnebnih razmer, na kar kažejo večkratne kmetijske suše v zadnjem obdobju. Povprečna letna količina padavin za obdobje 1982-2001 na najbližji meteorološki postaji Gornja Radgona je 916 mm. Takšna količina padavin je v Sloveniji za kmetovanje relativno majhna. Poznavanje sposobnosti tal za zadrževanje vode je zato pomemben parameter za prilagajanje kmetijskih tehnologij podnebnim razmeram.

V diplomski nalogi smo v izbranih tleh Apaške doline določili sposobnost tal za zadrževanje vode. Izbrali smo tri talne tipe: obrečna, hipooglejena in psevdoglejena. Zaradi majhne globine obrečnih tal (50 cm) smo vse tri talne tipe med seboj računsko primerjali do globine 50 cm.

Do globine 50 cm imajo vsi trije talni tipi podobno vsebnost vode pri poljski kapaciteti (PK). Hipooglejena tla vsebujejo 42,32 vol. % vode, na kar vpliva velika vsebnost gline in organske snovi v teksturi. Obrečna tla vsebujejo kljub lahki teksturi 40,16 vol. % vode. To je posledica velike vsebnosti organske snovi in dobra porazdelitev teksturnih frakcij. Najmanj vode pri PK vsebujejo psevdoglejena tla (36,32 vol. %), kar je posledica velike vsebnosti melja, ki slabo tvori strukturne agregate in nemineralizirane organske snovi.

Največ rastlinam nedostopne vode (točka venenja) do globine 50 cm vsebujejo hipooglejena tla (32,24 vol. %). To je posledica vsebnosti gline, ki vodo nase veže s tako močjo, da rastlinam ni dostopna. Sledijo psevdoglejena tla (25,16 vol. %), kar je ravno tako posledica večje vsebnosti gline. Najmanj rastlinam nedostopne vode vsebujejo obrečna tla (20,24 vol. %), kar je posledica večje količine peska in majhne količine gline.

Razlika med poljsko kapaciteto in točko venenja je efektivna poljska kapaciteta (rastlinam dostopna zadržana voda v tleh). Avtorja Resulović in Čustović (2002) v svojem delu navajata, da največ rastlinam dostopne vode (EPK) zadrži ilovica (20 vol. %), sledi glina (15 vol. %) ter pesek (7 vol. %). To potrjujejo tudi naši rezultati. Ugotovili smo, da so obrečna tla, ki so po teksturi ilovica, imela EPK 19,94 vol. % in so imela tudi največjo EPK izmed vseh treh talnih tipov. Psevdoglejena tla so pri EPK vsebovala 11,27 vol. %, kar je posledica velike vsebnosti melja in nemineralizirane organske snovi. Najmanj vode pri EPK so vsebovala hipooglejena tla, ki imajo tudi največjo vsebnost gline. Rezultat je skladen tudi z oceno Miheliča in Ruprehta (2007), ki sta z uporabo modela in osnovnih pedoloških parametrov (tekstura in organska snov) ugotovila, da imajo obrečna tla na Murskem polju EPK od 16 do 20 vol.%. EPK za druge tipe tal nista ocenjevala.

Obrečna tla so ob ugodnih vremenskih razmerah za kmetijstvo najboljše za pridelavo hrane v Apaški dolini. Imajo najboljšo EPK do globine 50 cm, so zračna ter lahka za obdelavo. Treba je upoštevati, da so plitva, hitro nastopi prod, skozi katerega voda odteka in nima sposobnosti zadrževanja vode. Poleg tega imajo najmanjšo vsebnost vode pri TV. To pomeni, da so lahko zelo ranljiva na daljša sušna obdobja.

Hipooglejena tla so najgloblja v Apaški dolini (90 cm). Prištevajo se med hidromorfna tla in imajo izraženo podtalno vodo. Avtorja Resulović in Čustovič (2002) v svojem delu navajata, da podtalna voda lahko ob sušnih obdobjih zaradi kapilarnega dviga rastlinam zelo koristi. Sklepamo, da kljub temu, da imajo najmanjšo EPK do globine 50 cm, ki je posledica vsebnosti gline, niso tako občutljiva na sušo kot obrečna tla. Ob sušnih obdobjih je možen kapilarni dvig vode iz spodnjih plasti ali iz podtalne vode, če je le ta dovolj blizu površja. So pa ta tla zelo težka za obdelavo in ob močah lahko nastopi problem uporabe kmetijske mehanizacije na takih tleh.

Psevdooglejena tla, ki imajo majhno relativno EPK do globine 50 cm. Prištevajo se med hidromorfna tla, nimajo pa izražene podtalne vode, ki bi ob sušnih obdobjih dajala možnost kapilarnega dviga. Po našem mnenju so zaradi velike vsebnosti melja, nemiralizirane organske snovi in neizražene podtalne vode lahko zelo ranljiva med daljšimi sušnimi obdobji.

### 5.3 SKLEP

Največjo količino vode lahko v celotnem profilu tal pri PK zadržijo hipooglejena tla ( $h=90$  cm,  $V=0,9$  m<sup>3</sup>) z 370,6 L, sledijo psevdooglejena tla ( $h=80$  cm,  $V=0,8$  m<sup>3</sup>) z 296,77 L in obrečna tla ( $h=50$  cm,  $V=0,5$  m<sup>3</sup>) z 200,80 L. Vsi trije talni tipi pa so pri PK do globine 50 cm sposobni zadržati podobno vsebnost vode, (36-42 vol. %),

Obrečna tla pa so, kljub lažji teksturi, sposobna zadržati največ rastlinam dostopne vode do globine 50 cm (20 vol. %). Mnogokrat je ta sposobnost odvisna, ne le od teksture, temveč tudi od vsebnosti in stopnje mineralizacije organske snovi. Zaradi plitvosti so obrečna tla Apaške doline bolj občutljiva na sušo kot hipooglejena in psevdooglejena tla. Zaradi velikega pridelovalnega potenciala obrečnih tal in precejšnje površine le-teh, bo potrebno kmetijske tehnologije prilagoditi njihovi sposobnosti za zadrževanje vode, posebno ob pojavu kmetijskih suš. Rezultati naloge bodo uporabni kot dopolnitev talnemu informacijskemu sistemu Slovenije.

Za določanje sposobnosti tal za zadrževanje vode so se kot enostavne in hkrati primerljive meritvam v neporušeno odvzetih vzorcih (NTC-sv), pokazale meritve v porušeni talnih vzorcih polnjenih v cilindre v skladu z realno volumsko gostoto na polju (PTC-sv). Rezultati kažejo, da meritve v suhih porušeni vzorcih (PT-s) odstopajo od rezultatov, ki jih prikažeta NTC-sv in PTC-sv metodi.

## 6 POVZETEK

Tla so porozen sistem. Sestavljena so iz treh agregatnih stanj: iz trdnih delcev (mineralni delci, organska snov), talne raztopine (voda z raztopljenimi snovmi) in talnega zraka. Sposobnost tal za zadrževanje vode je ena pomembnejših lastnosti tal, ki poleg podnebnih dejavnikov in bližine podtalne vode, vpliva na trenutno vsebnost vode v tleh.

V diplomski nalogi smo ugotavljali sposobnost tal za zadrževanje vode v izbranih tleh Apaške doline in medsebojno primerjali primerjali tri postopke določanja sposobnosti tal za zadrževanje vode, ki se razlikujejo po načinu odvzema talnega vzorca (neporušen, porušen) in nadaljnji pripravi (svež/sušen, obnovljena volumska gostota na osnovi meritev na terenu / razsut).

S pomočjo novejših pedoloških karte Apaške doline izdelane v merilu 1 : 5.000 (Suhadolc in Ruprecht, 2008) smo v juniju leta 2008 izbrali reprezentativne lokacije treh glavnih tipov tal, ki se pojavljajo v dolini: obrečna, hipoglej in psevdoglej. Na vsaki lokaciji smo teren dodatno sondirali za določitev mikrolokacije, na kateri smo nato izkopali profil. Talni profil smo opisali na terenu in odvzeli porušene in neporušene vzorce po horizontih. Meritve smo izvajali s pomočjo tlačnega ekstraktorja (Richardova posoda). Merili smo na dveh različnih pritiskih: 0,33 bar (poljska kapaciteta (PK)) in 15 bar (točka venenja (TV)).

Medsebojno smo primerjali naslednje postopke:

- (i) določanje v svežem neporušenem talnem vzorcu (NTC-sv), ki ga opisuje mednarodni standard za določanje sposobnosti tal za zadrževanje vode ISO 11274,
- (ii) določanje v svežem porušnem talnem vzorcu, polnjenem v cilindre na osnovi meritev volumske gostote na terenu (PTC-sv) (Klute, 1986) in
- (iii) določanje v suhem porušnem vzorcu tal (PT-s), ki je starejša metoda določanja in se v slovenskem prostoru še vedno uporablja.

Rezultati so pokazali, da metodi NTC-sv in PTC-sv vzorca dajeta podobne rezultate. Do manjših odstopanj med NTC-sv in PTC-sv vzorcema med meritvami je prišlo le v obrečnih tleh, pri tlaku 15 bar (TV). Sklepamo, da je vzrok v večji vsebnosti peska, ki je pri NTC-sv vzorcu povzročil »skrčenje« vzorca in s tem slabši kontakt s keramično ploščo. Na to opozarja tudi ISO 11274 standard, ki navaja, da naj bi peščena tla merili le v vzorčnikih do višine 1 cm. Meritve v suhih porušnih vzorcih (PT-s) pa odstopajo od meritev po ISO standardu 11274, razlika v vsebnosti vode je bila tudi do 25 vol. % pri EPK. To se je pokazalo pri vseh talnih tipih in horizontih.

Ugotovili smo, da v izbranih profilih tal Apaške doline največjo količino vode lahko v celotnem profilu tal pri PK zadržijo hipooglejena tla ( $h=90$  cm,  $V=0,9$  m<sup>3</sup>) z 370,6 L, sledijo psevdoglejena tla ( $h=80$  cm,  $V=0,8$  m<sup>3</sup>) z 296,77 L in obrečna tla ( $h=50$  cm,  $V=0,5$  m<sup>3</sup>) z 200,80 L. Če vse tri izbrane profile tal primerjamo do globine 50 cm, se izkaže, da imajo podobno vsebnost zadržane vode pri poljski kapaciteti (36-42 vol. %). Do večjih razlik med njimi pa prihaja pri rastlinam dostopni zadržani vodi (EPK). Največjo EPK do globine 50 cm (0,5 m<sup>3</sup>) imajo obrečna tla (20 vol. %), sledijo psevdoglejena in hipooglejena tla (11 vol. %). Vendar pa so zaradi plitvosti obrečna tla Apaške doline bolj občutljiva na sušo kot hipooglejena in psevdoglejena tla. Ob sušnih obdobjih je namreč v

globjih oglejenih tleh možen kapilarni dvig vode iz spodnjih plasti ali iz podtalne vode, če je le ta dovolj blizu površja.

## 7 VIRI

- ARSO. Agencija Republike Slovenije za okolje. 2008.  
<http://www.arso.si> (december, 2008)
- Brady N.C., Weil R.R. 2008. The nature and properties of soil. New Jersey, Prentice Hall: 975 str.
- CPVO: "Raziskave na območju Apaške doline". 2009. Ljubljana, Biotehniška fakulteta (izpis iz baze podatkov).
- Eijkelkamp. Catalogue and parts lists. 1998. Giesbeek, Eijkelkamp: 348 str.
- Gardiner T., Miller W. 2008. Soils in our environment. New Jersey, Prentice Hall: 600 str.
- ISO 11274. Soil quality-Determination of the water-retention characteristic-Laboratory methods. 1998: 45 str.
- Janitzky P. 1986. Particle-size analysis. V: Field and laboratory procedures in a soil chronosequence study. Singer M. J., Janitzky P. (eds.). U.S. (Geological Survey Bulletin, 1684): 11-16
- Klute A. 1986. Water retention: Laboratory methods. V: Methods of soil analysis, Part 1. Soil Science of America, Madison, USA: Physical and mineralogical methods – Agronomy Monograph no. 9: 635-661
- Marinčič J. 1971. Određivanje pF-vrijednosti i pF-krivulja. V: Metoda istraživanja fizičkih svojstava zemljišta. Resulović H. (ur.). Beograd, Jugoslovensko društvo za proučavanje zemljišta: 44-51
- Mihelič R. 2007. Pomen tal za preprečevanje suše v kmetijstvu. Sodobno kmetijstvo, 40, 2: 3
- Mihelič R., Ruprecht J. 2007. Na najopčutljivejših prodih polovica poljedeljskih površin. Sodobno kmetijstvo, 40, 2: 3
- MKGP. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. 2007.  
<http://www.mkgp.si> (december, 2007)
- Pintar M., Mihelič M., Pikel M., Lobnik F. 1996. Monitoring onesnaženosti podtalnice in površinskih vod z nitrati in atrezinom v Apaški dolini. V : Novi izzivi v poljedelstvu 1996. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 105 – 109
- Prus T., Zupan M., Ruprecht J., Suhadolc M. 2004. Priročnik za vaje iz pedologije. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Odelek za agronomijo: 39 str.

- Resulović H., Čustović H. 2002. Pedologija. Sarajevo, Univerzitet u Sarajevu, Univerziteti udžbenik: 318 str.
- SIST ISO 14235. 1999. Kakovost tal-Določanje organskega ogljika z oksidacijo v kromžvepleni kislini (modificirano po Walkley-Black-u): 5 str.
- Suhadolc M., Ruprecht J. 2008. "Pedološka karta Apaške doline". Ljubljana, Biotehniška fakulteta (osebni vir)
- Sušnik A., Kajžef L., Črepinšek Z. 2007. Vse več sušnih let. Sodobno kmetijstvo, 40, 2 : 5-7
- Soil survey manual. Handbook No. 18. 1993. Soil survey division staff. United states Department of Agriculture: 143 str.
- Stritar A. 1991. Pedologija. Kompendij. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Odelek za agronomijo: 126 str.
- Verbič T, Horvat A. 2006. Kvartna geologija Apaške doline. Razprave 4. Razred SAZU. Naravoslovne vede. 47, 2:133-156
- Zupan M., Ruprecht J., Lobnik F, Irena T. 2007. Pedološka karta. Sodobno kmetijstvo, 40, 2 : 13-14

