

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Gregor ADAM

**PRIMERJAVA RAZLIČNIH NAPRAV ZA
POSREDNO MERJENJE VOLUMSKEGA DELEŽA
VODE V TLEH**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2004

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Gregor ADAM

**PRIMERJAVA RAZLIČNIH NAPRAV ZA POSREDNO MERJENJE
VOLUMSKEGA DELEŽA VODE V TLEH**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**COMPARISON OF DIFFERENT INSTRUMENTS FOR INDIRECT
MEASURING OF VOLUMETRIC WATER CONTENT IN SOILS**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2004

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija agronomije. Opravljeno je bilo na Katedri za urejanje kmetijskega prostora in agrohidrologijo Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Poskus je bil izveden v rastlinjaku na poskusnem polju Biotehniške fakultete.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je za mentorico diplomske naloge imenovala doc. dr. Marino PINTAR.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Katja VADNAL
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: doc. dr. Marina PINTAR
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: prof. dr. Lučka KAJFEŽ - BOGATAJ
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Gregor Adam

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Dn
DK UDK 631.432:556.07/.08(043.2)
KG voda v tleh/volumski delež vode/merilne naprave/gravimetrična metoda/TDR/FD
KK AGRIS P33/P10/P30
AV ADAM, Gregor
SA PINTAR, Marina (mentor)
KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
LI 2004
IN PRIMERJAVA RAZLIČNIH NAPRAV ZA POSREDNO MERJENJE
VOLUMSKEGA DELEŽA VODE V TLEH
TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP X, 48, [12] str., 3 pregl., 27 sl., 11 pril., 25 vir.
IJ sl
JI sl/en
AI Kljub temu, da gravimetrična metoda daje najbolj natančne podatke o vsebnosti vode v tleh, jo zaradi njene zamudnosti in nuje po poružitvi talnega vzorca vedno bolj nadomeščajo posredne elektromagnetne metode. Želeli smo ugotoviti, katera naprava daje, glede na nastavitve proizvajalcev, najbolj verodostojne podatke. Primerjali smo količino vode v tleh, zmerjeno z napravami na principu Time Domain Reflectometry – TDR (TDR 100 in sondi CS 616 ter Trime P2Z) in Frequency Domain – FD (Diviner 2000) in jih primerjali s količino vode v tleh, zmerjeno z gravimetrično metodo, ki nam je služila kot standard. V poskusu so bili kot medij uporabljeni mivka in dva vzorca gozdnih tal (iz Snežne jame v Kočevskem Rogu in iz Škrlin v dolini reke Dragonje), ki sta vsebovala visok deleže organske snovi in gline. Meritve smo izvajali pri različni vlažnosti talnih vzorcev. Naprava TDR 100 z 10 centimetrskimi elektrodami in širše določenim intervalom meritve se je v povprečju izkazala kot najbolj natančna pri določanju vsebnosti vode v tleh iz Snežne jame. Za tla, vzorčena v dolini reke Dragonje velja, da se je standardu najbolj približala ista naprava, vendar tokrat z ožjim intervalom meritve. V obeh talnih vzorcih se je najslabše odrezal Diviner 2000, kar ne velja za meritve v mivki, kjer je bil najbolj natančen. Najmanj natančne rezultate smo v tem mediju dosegli s sondo CS 616.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn
DC UDC 631.432:556.07/.08(043.2)
CX soil water/volumetric water content/measuring instruments/gravimetric method/
TDR/FD
CC AGRIS P33/P10/P30
AU ADAM, Gregor
AA PINTAR, Marina (supervisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy
PY 2004
TI COMPARISON OF DIFFERENT INSTRUMENTS FOR INDIRECT
MEASURING OF VOLUMETRIC WATER CONTENT IN SOILS
DT Graduation Thesis (University studies)
NO X, 48, [12] p., 3 tab., 27 fig., 11 ann., 25 ref.
LA sl
AL sl/en
AB The gravimetric method, generally used as standard for other indirect methods, is not suitable for the routine measurements because it is time consuming and destructive for soil samples. For that reason the electromagnetic methods are substituting the gravimetric ones. The accuracy of measuring with electromagnetic instruments varies and depends on the type of soil because of the effect of soil materials. For that reason the behavior of our instruments was studied. We compared instruments on Time Domain Reflectometry – TDR (TDR 100 and probes CS 616 and Trime P2Z) and Frequency Domain – FD (Diviner 2000) principles using two soil samples taken in the forest area in Snežna jama and in the valley of the river Dragonja. We performed measurements at different value of the soil volumetric water content. The same procedure was done for the sand sample. We came to the conclusion that TDR 100 with 10 centimeters long rods was the most precise instrument in case of the two soil samples taken in the forest area. However, in the case of the sand sample Diviner 2000 obtained the most accurate results.

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija	III
Key words documentation	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VII
Kazalo slik	VIII
Kazalo prilog	X
Okrajšave in simboli	XI
1 UVOD	1
1.1 NAMEN RAZISKAVE	1
1.2 DELOVNA HIPOTEZA	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 VODA V TLEH IN NJENE OBLIKE	3
2.1.1 Namakanje in spiranje polutantov	4
2.1.2 Dielektrične lastnosti vode	5
2.2 METODE MERJENJA VODE V TLEH	6
2.2.1 Neposredne metode	6
2.2.1.1 Gravimetrična metoda	7
2.2.2 Posredne metode	7
2.2.2.1 TDR - Time Domain Reflectometry (merjenje časa odboja)	8
2.2.2.1.1 Kalibracija	10
2.2.2.1.2 Sonda TDR	11
2.2.2.2 FD - Frequency Domain (merjenje frekvence)	13
2.2.2.2.1 Sonda FD	14
2.2.2.2.2 Primerjava med TDR in FD metodo	15
3 MATERIAL IN METODE DELE	17
3.1 OPIS UPORABLJENIH MERILNIH NAPRAV	17
3.1.1 Sonda Trime P2Z	17
3.1.2 Sonda CS 616	18
3.1.2 TDR 100	19
3.2.4 Diviner 2000	20
3.2 METODE DELE	22
3.2.1 Vzorčenje tal	22
3.2.2 Priprava vzorcev na analizo	22
3.2.3 Priprava zabojev za meritve	23
3.2.4 Izvajanje meritev	23
3.2.5 Gravimetrično določanje vsebnosti vode	24
3.2.6 Obdelava podatkov	24
4 REZULTATI	25
4.1 VOLUMSKI DELEŽ VODE V TLEH IZ SNEŽNE JAME	25

4.2	VOLUMSKI DELEŽ VODE V TLEH IZ DOLINE REKE DRAGONJE	30
4.3	VOLUMSKI DELEŽ VODE V MIVKI	34
5	RAZPRAVA IN SKLEPI	39
5.1	IZVEDBA POSKUSA	39
5.2	PRIMERJAVA NAPRAV	41
5.3	SKLEPI	43
6	POVZETEK	45
7	VIRI	47
	ZAHVALA	
	PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Orientacijske vrednosti poroznosti (%) in poljske kapacitete (vol. %) za različna tla	4
Preglednica 2: Dielektrična konstanta talnih komponent	6
Preglednica 3: Povprečna gravimetrično določena vlažnost tal (vol. %) oz. substrata pri meritvah količine vode v tleh z različnimi napravami	23

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Vodne konstante tal	4
Slika 2: Grafično prikazana velikost nezveznosti oz. napake ali poškodbe kabla na osciloskopu	8
Slika 3: Oblika vala elektromagnetnega valovanja kot ga zabeleži osciloskop TDR naprave	9
Slika 5: Sondi Trime P2Z in CS 616	19
Slika 6: Meritve s TDR 100	19
Slika 7: Graf izrisan na ekranu prenosnega računalnika pri meritvah s TDR 100 z območjem intervala meritve, kot ga priporoča proizvajalec Campbell Scientific	20
Slika 8: Sonda Diviner 2000	21
Slika 9: Vstavljene PVC cevi za opravljanje meritev z napravo Diviner 2000	22
Slika 10: Povprečni volumski deleži vode v tleh z označenim standardnim odklonom (vol. %) v vzorcu tal iz Snežne jame v prvem sklopu meritev	25
Slika 11: Povprečni volumski deleži vode v tleh z označenim standardnim odklonom (vol. %) v vzorcu tal iz Snežne jame v drugem sklopu meritev	26
Slika 12: Povprečni volumski deleži vode v tleh z označenim standardnim odklonom (vol. %) v vzorcu tal iz Snežne jame v tretjem sklopu meritev	27
Slika 13: Povprečni volumski deleži vode v tleh z označenim standardnim odklonom (vol. %) v vzorcu tal iz Snežne jame v četrtem sklopu meritev	28
Slika 14: Povprečni volumski deleži vode v tleh z označenim standardnim odklonom (vol. %) v vzorcu tal iz Snežne jame v petem sklopu meritev	29
Slika 15: Povprečni volumski deleži vode v tleh z označenim standardnim odklonom (vol. %) v vzorcu tal iz Snežne jame v šestem sklopu meritev	29
Slika 16: Povprečni volumski deleži vode v tleh z označenim standardnim odklonom (vol. %) v vzorcu tal iz doline reke Dragonje v prvem sklopu meritev	30
Slika 17: Povprečni volumski deleži vode v tleh z označenim standardnim odklonom (vol. %) v vzorcu tal iz doline reke Dragonje v drugem sklopu meritev	31
Slika 18: Povprečni volumski deleži vode v tleh z označenim standardnim odklonom (vol. %) v vzorcu tal iz doline reke Dragonje v tretjem sklopu meritev	32
Slika 19: Povprečni volumski deleži vode v tleh z označenim standardnim odklonom (vol. %) v vzorcu tal iz doline reke Dragonje v četrtem sklopu meritev	33
Slika 20: Povprečni volumski deleži vode v tleh z označenim standardnim odklonom (vol. %) v vzorcu tal iz doline reke Dragonje v petem sklopu meritev	33
Slika 21: Povprečni volumski deleži vode v tleh z označenim standardnim odklonom (vol. %) v vzorcu tal iz doline reke Dragonje v šestem sklopu meritev	34
Slika 22: Povprečni volumski deleži vode v mivki z označenim standardnim odklonom (vol. %) v prvem sklopu meritev	35
Slika 23: Povprečni volumski deleži vode v mivki z označenim standardnim odklonom (vol. %) v drugem sklopu meritev	36
Slika 24: Povprečni volumski deleži vode v mivki z označenim standardnim odklonom (vol. %) v tretjem sklopu meritev	36
Slika 25: Povprečni volumski deleži vode v mivki z označenim standardnim odklonom (vol. %) v četrtem sklopu meritev	37

Slika 26: Povprečni volumski deleži vode v mivki z označenim standardnim odklonom (vol. %) v petem sklopu meritev	38
Slika 27: Povprečni volumski deleži vode v mivki z označenim standardnim odklonom (vol. %) v šestem sklopu meritev	38

KAZALO PRILOG

- A Določanje vode v tleh z gravimetrično metodo na različnih globinah tal – Snežna jama
- B Določanje vode v tleh z gravimetrično metodo na različnih globinah tal – Dragonja
- C Določanje vode z gravimetrično metodo na različnih globinah – mivka
- Č Meritve volumskega deleža vode v tleh (vol. %) – Snežna jama
- D Meritve volumskega deleža vode v tleh (vol. %) – Dragonja
- E Meritve volumskega deleža vode v tleh (vol. %) – mivka
- F Statistični parametri meritev volumskega deleža vode v tleh (vol. %) – Snežna jama
- G Statistični parametri meritev volumskega deleža vode v tleh (vol. %) – Dragonja
- H Statistični parametri meritev volumskega deleža vode v tleh (vol. %) – mivka
- I Delež organske snovi (%) v vzorcu tal iz lokacije Snežna jama (Kočevski Rog)
- J Delež organske snovi (%) v dveh vzorcih tal iz doline reke Dragonje in njuno povprečje

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

Okrajšava Pomen

TDR Time Domain Reflectometry

FD Frequency Domain

Simbol	Ime simbola	Enota
θ	volumski delež vode v tleh	%
V_v	volumen vode	cm ³
V_c	celoten volumen	cm ³
V_t	volumen trdnih delcev	cm ³
V_p	volumen por	cm ³
t	čas	s (sekunda)
L	dolžina	m (meter)
v	hitrost	m/s
c	hitrost elektromagnetnega valovanja	3x10 ⁸ m/s
κ	dielektrična konstanta medija	–
κ_a	navidezna dielektrična konstanta medija	–
σ	električna prevodnost	S/m
V	električna napetost	V (volt)
V_i	začetna električna napetost	V (volt)
V_f	končna električna napetost	V (volt)
R	upornost	Ω (ohm)
C	kapaciteta	F (farad)
A	površina	m ²
S	razmik	m (meter)

1 UVOD

Tla navidezno delujejo kot preprost sistem, vendar so v resnici zelo kompleksna heterogena mešanice snovi v trdnem, tekočem in plinastem stanju, kjer mineralni delci raznih oblik, velikosti in kemijskih sestav, oblikujejo skupaj z organsko snovjo večje ali manjše agregate, med katerimi so prazni prostorčki (pore). Ti so izmenično zapolnjeni z zrakom in talno vodo (Zupanc in Pintar, 2001), katerih razmerje med drugim vpliva na dihanje korenin in aktivnost mikroorganizmov ter oksidacijsko-redukcijski potencial tal (Hillel, 1998). Osnovna vloga tal je, da nudijo oporo rastlinam in zadržujejo vodo in v njej raztopljene hranilne snovi, ki jih rastline črpajo preko koreninskega sistema. Rastline so v naravnih in obdelovalnih okoliščinah izpostavljene tako pomanjkanju kot tudi presežkom vode, kar slabo učinkuje na njihovo celotno stanje. Tovrstni stres je sestavni del zunanjih dejavnikov, ki negativno vplivajo na njih in s tem znižujejo kmetijsko pridelavo (Taiz in Zeiger, 1998).

Vsebnost vode v tleh je osnovni parameter, ki opredeljuje hidrološki status in transport vode v nenasičenem območju ter ima velik vpliv na ostale talne procese. Fizikalni, kemijski in biološki procesi, ki potekajo v tleh, so dejansko neobhodno povezani s tem elementom, saj je vsa rastlinska pridelava v prvi vrsti odvisna od razpoložljivosti vode. Vedenje o količini vode v tleh je pomembno ne le za uravnavanje rastlinske pridelave (osuševanje ali namakanje tal), temveč tudi pri reševanju problemov z onesnaževanjem tal in podtalnice (procesi presnove in prenos onesnažil). Vse to je privedlo do razvoja temeljitih raziskav na področju preučevanja tal, usmerjenih v merjenje vsebnosti vode v tleh na podlagi različnih metod. Njeno vsebnost lahko določimo z različnimi metodami. Osnovna med njimi je gravimetrična metoda. Lahko pa jo določamo tudi s posrednim merjenem z uporabo naprav na osnovi Time Domain Reflectometry (TDR) in Frequency Domain (FD) tehnike. Za agronomsko stroko postajajo vedno bolj pomembne posredne metode, ker omogočajo neprestano spremljanje razpoložljivosti vode v koreninski coni rastlin. Vsaka od metod ima svoje prednosti in pomanjkljivosti, ki jih je potrebno oceniti pred njihovo uporabo.

1.1 NAMEN RAZISKAVE

Voda v tleh predstavlja življenjsko pomembno povezavo v hidrološkem ciklu, ki nadzoruje izmenjave med atmosfero in podtalnico. Hkrati pa je njena razpoložljivost ključnega pomena za količino in kakovost pridelka. S poskusom smo analizirali odzivanje posameznih posrednih elektromagnetnih naprav za merjenje volumskega deleža vode, z namenom, da bi ugotovili, katera je najbolj natančna in verodostojna. Vsem napravam smo ponudili enake pogoje za delovanje brez motečih zunanjih dejavnikov okolja. Želeli smo ugotoviti, katera naprava se dejansko najbolj približuje standardu oz. gravimetrični meritvi. Rezultati bodo služili aplikativni interpretaciji meritev količine vode v tleh z obravnavanimi napravami.

1.2 DELOVNA HIPOTEZA

Predvidevali smo, da bodo naprave z univerzalno talno kalibracijo, ki služijo za merjenje količine vode v tleh, v enakem talnem okolju kazale med seboj primerljive rezultate. Predvidevali smo tudi, da se bodo rezultati naprav približali rezultatom, dobljenih po gravimetrični metodi v dopustnem intervalu ± 3 vol. %, kar je v literaturi navedeno kot še dopustno odstopanje.

2 PREGLED OBJAV

2.1 VODA V TLEH IN NJENE OBLIKE

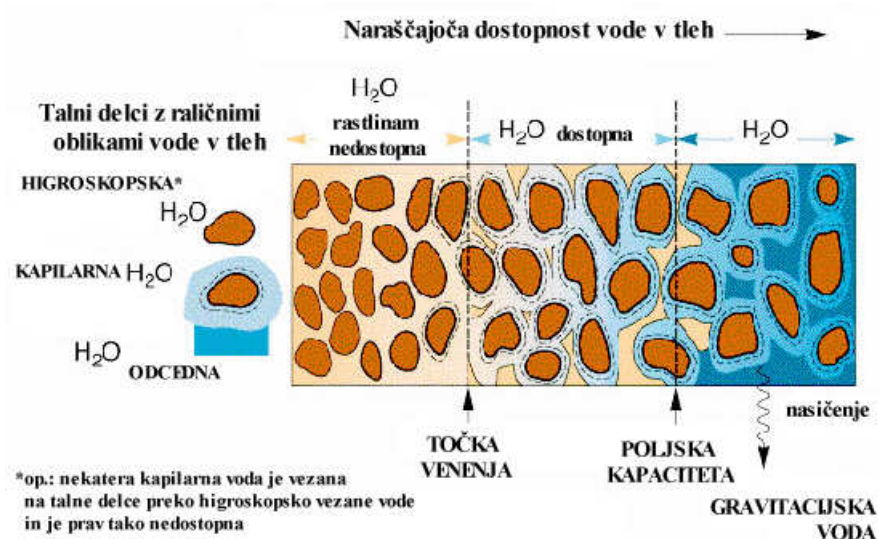
Voda predstavlja temeljni vir življenja za organizme. V naravi se nahaja v vseh treh agregatnih stanjih (trdno, tekoče, plinasto) in se neprestano giblje med njimi. Molekularna struktura vode povzroča, da se njene lastnosti ločujejo od ostalih snovi in tako bistveno vplivajo tudi na talne procese. Ker se v tleh nahaja v sistemu talnih por, vpliva na mnoge fizikalne, kemične in biološke procese. Poleg tega vpliva tudi na mnoge lastnosti tal, kot so: zračnost, toplotno stanje, mikrobiološka aktivnost, itd.. Voda ima veliko nalog v tleh, med drugim deluje kot topilo in kot nosilec raztopljenih snovi. Kot snov je nujna za rast in razvoj rastlin in je eden ključnih dejavnikov rodovitnosti tal (Ćirić, 1986).

Voda v tleh se na površino talnih delcev veže na dva različna načina. Eden izmed njiju je adsorpcija molekul vode na površino talnih delcev. Pri tem poteka vezava vode na trde delce preko Van der Valsovih sil, ki delujejo na kratke razdalje z elektrostatičnim privlačevanjem dipolnih molekul vode na električno nabito površino koloidnih delcev. Drugi način je zadrževanje vode v tleh z menisknimi silami, ki se pojavijo na mestu kontakta dveh delcev. Manjši kot je delež vode v tleh večja je moč vezave. To silo imenujemo sila vpijanja oz. sorpcije in jo v praksi večinoma izražamo v enotah tlaka (N/m^2 , bar). Tekstura in struktura tal imata pomembno vlogo za dostopnost vode kot medija za rast in razvoj rastlin. Tla v glavnem sestavljajo pesek, melj in glina. Ti delci se med seboj močno razlikujejo po sposobnosti vezave vode na svojo površino. Tako tla, ki vsebujejo več glin, lahko zadržijo več vode. Podobna ugotovitev velja za delež organske snovi v tleh (Hillel, 1998).

V naravi obstaja stalno kroženje vode med hidrosfero in atmosfero. Padavine padajo na tla v obliki različnih agregatnih stanj. Del teh padavin odteče po površju (površinski odtok) in se izlivajo v reke, jezera in morja. Drugi del pronica v tla (Hočevar in Petkovšek, 1984). Kroženje vode v tleh se prične, ko se večina por zapolni z vodo. Takšna tla imenujemo nasičena tla oz. z vodo saturirana tla. Pod vplivom gravitacijskih sil voda odteče preko večjih oz. transmisijskih por, ki imajo premer večji od 0,05 mm, v podtalnico. To vodo označujemo kot gravitacijska voda. Ko ta odteče, obdržijo tla vodo, ki jo imenujemo poljska kapaciteta tal za vodo (preglednica 1). To je zgornja vrednost vsebnosti vode v tleh, ki jo lahko tla zadržujejo brez gravitacijskih izgub. Manjše pore od 0,05 mm lahko zadržujejo vodo zaradi kapilarnih sil. Gibanje vode pod vplivom kapilarnih sil poteka v vseh smereh in je izredno pomembno za enakomernjšo porazdelitev vlage v tleh. Pod vplivom kapilarnih sil se voda giblje iz bolj zasičenih v manj zasičene dele poroznega prostora (Brilly in Šraj, 2000). Kapilarna oz. dostopna voda je na razpolago koreninam rastlin. 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, kar imenujemo točka venenja (Ćirić, 1986). Vodne konstante tal so prikazane na sliki 1.

Preglednica 1: Orientacijske vrednosti poroznosti (%) in poljske kapacitete (vol. %) za različna tla (Brilly in Šraj, 2000).

Vrsta tal	Poroznost (%)	Poljska kapaciteta (vol. %)
Glinasta tla	50 – 60	85 – 90
Težka ilovnata tla	45 – 50	70 – 80
Navadna ilovnata tla	45 – 50	60 – 70
Lahka ilovnata tla	40 – 45	50 – 60
Ilovnata peščena tla	40 – 45	40 – 50
Peščena tla	30 – 35	25 – 30



Slika 1: Vodne konstante tal (Zupanc in Pintar, 2001).

2.1.1 Namakanje in spiranje polutantov

Elektromagnetne naprave za merjenje vlažnosti zemljišča so zelo uporabne pri nadzoru namakanja in s tem pripomorejo k intenzivni kmetijski pridelavi. Ko je voda v tleh vezana z večjo silo, kot jo zmorejo premagovati korenine rastlin, se lahko ob morebitnih večjih količinah padavin, po daljšem sušnem obdobju, večji delež neporabljenih hranil spere skozi talni profil. Po drugi strani nestrokovno namakanje s preveliko porabo vode lahko negativno vpliva na okolje tako, da odcedna voda iz talnega profila spira hranila in ostanke sredstev za varstvo rastlin, ki povzročajo onesnaževanje podtalnice. Zato je pomembno, da količine dodane vode z namakanjem niso prevelike in ustrezajo dejanskim potrebam ter lastnostim tal. Po drugi strani pa ni gospodarno, če rastlinam v razmerah, ko je dovolj vode, dodajamo manj vode, kot je zanje optimalno (Pintar, 2003).

Onesnaževanje okolja, predvsem z dušikom, zaradi presežkov uporabe mineralnih gnojil v kmetijstvu postaja vedno resnejša težava v večini evropskih držav. Smernice so zato usmerjene v zaščito podtalnice (Sevenster in de Walle, 1998). Če infiltrirana voda vsebuje polutante, ki niso porabljeni s strani rastlin, vezani na tla ali v reakciji z njimi, potem lahko take raztopine vodijo do onesnaževanja podtalnice. Še posebej resno nevarnost za njeno onesnaževanje predstavljajo pesticidi, ki so dolgo obstojni na kemično in biološko degradacijo (Hillel, 1998). Na izpiranje dušika in drugih polutantov, ki onesnažujejo podtalnico, lahko vplivamo s preverjanjem količine vode v tleh oz. njihovih zadrževalnih sposobnosti za vodo (Sevenster in de Walle, 1998). K stalnemu spremljanju teh podatkov lahko pripomorejo tudi metode na osnovi TDR in FD za posredno merjenje vsebnosti vode v tleh.

2.1.2 Dielektrične lastnosti vode

Dielektrična konstanta snovi je mera nagnjenosti njenih molekul k orientiranju v polju elektrostatičnih sil in zaznamuje njeno dielektrično obnašanje. Ta predstavlja faktor, s katerim naraste kapaciteta kondenzatorja, če v njegovo električno polje namesto vakuum ali zraka vstavimo drug medij. Po definiciji imata vakuum in zrak dielektrično konstanto enako 1. Poimenovanje dielektrična konstanta (κ) je lahko zavajajoče, ker vrednost ni konstantna, ampak se lahko spreminja s frekvenco, temperaturo, vsebnostjo vode, itd., kar moramo upoštevati pri uporabi elektromagnetnih metod, zaradi dielektričnih izgub, ki so posledica mehanizmov absorpcije, molekularnih rotacij in vibracij (Dirksen, 1999).

Sprememba vsebnosti vode v tleh (vlaženje ali sušenje) s seboj prinese tudi spremembo talne navidezne dielektrične konstante, κ_a . V mineralnih delcih tal se ta giblje med 3 in 5. Nasprotno je dielektrična konstanta vode okoli 80, odvisno od temperature (preglednica 2). Molekula vode je polarna oz. bipolarna, kajti ima pozitivno in negativno stran zaradi orientacije vodikovih atomov glede na vez s kisikom. To je tudi vzrok, da je vrednost dielektrične konstante za talno sestavo široko določena s frakcijskim volumnom prisotne vode. Več kot je prisotne vode v tleh, višja je dielektrična konstanta (Jackson in Schmutge, 1989, cit. po Hillel, 1998). Ker je dielektrična konstanta vode toliko večja od ostalih talnih komponent, je razumljivo določanje vsebnosti vode preko merjenja navidezne dielektrične konstante mokrih tal (Hoekstra in Delaney, 1974, cit. po Noborio, 2001).

Preglednica 2: Dielektrična konstanta talnih komponent. Podatki so povzeti po Curtis in Defandorf, 1929, cit. po Noborio, 2001.

Snov	Dielektrična konstanta (κ)
Zrak	1
Voda	80 (pri 20 °C)
Led	3 (pri -5 °C)
Bazalt	12
Granit	7-9
Peščenjak	9-11
Suha ilovica	3,5
Suh pesek	2,5

2.2 METODE MERJENJA VODE V TLEH

S postavitvijo dragih namakalnih sistemov skuša agronomska stroka optimirati rast in razvoj gojenih rastlin, kadar v času vegetacije primanjkuje vode v tleh. Po drugi strani se bori proti pretirani namočenosti zemljišča in vodni eroziji z melioracijskimi ukrepi, usmerjenimi k izboljšanju obdelovalnih pogojev. Hillel (1998) iz tega zaključuje, da potreba po določitvi deleža vode v tleh pogosto izvira iz različnih agronomsko-ekoloških in hidroloških raziskav, kar vodi k boljšemu razumevanju in interpretaciji kemičnih, mehaničnih in bioloških povezav znotraj tal.

Metode za merjenje vlažnosti zemljišča lahko razdelimo na posredne in neposredne. Prve izmerijo delež vode na osnovi pretvorbe izbranih fizikalnih lastnosti tal, ki so odvisne od njihove vsebnosti vode, medtem ko z drugimi neposredno merimo omenjeno vrednost (Otošec, 1980).

2.2.1 Neposredne metode

Temeljijo na oblikah odstranitve oz. ločitve vode iz tal, pri čemer neposredno izmerimo delež odstranjene vode. Ločitev dosežemo na več načinov: s segrevanjem, z ekstrakcijo in nadomestitvijo vode s topilom ali s kemično reakcijo. Količina odstranjene vode je določena s spremembo mase po segrevanju, s kemično fizikalno analizo izvlečenega topila ali s kvantitativnimi meritvami produktov reakcije (Topp in Ferré, 2002).

2.2.1.1 Gravimetrična metoda

Poroznost tal poda skupno vsebnost volumna, ki ga je voda ali druga tekočina sposobna napolniti. Dejanski delež volumna poroznega medija, napolnjenega z vodo, imenujemo vsebnost vode. Ta se izračuna iz celotnega volumna talnega vzorca in je tako pri nasičenosti tal enak poroznosti.

$$\theta = \frac{V_v}{V_c} = \frac{V_v}{V_t + V_p} \quad \dots(1)$$

kjer je θ volumski delež vode v tleh in V_v je volumen vode, ki se nahaja v celotnem volumnu V_c . Slednjega sestavljata volumen trdnih delcev (V_t) in volumen por (V_p) (Charbeneau, 2000).

Gravimetrična metoda je splošno uporabljena kot standard za ostale neposredne in posredne metode, kljub njeni dolgotrajnosti in spreminjanju vzorca (destruktivnosti) skozi postopek meritve (Dirksen, 1999). Za analizo vsebnosti vode vzamemo s Kopeckijevim cilindrom neporušen vzorec tal, ga stehtamo in postavimo v sušilnik na temperaturo 105 °C za 24 ur. Na ta način dosežemo, da se v vzorcu zadrži le higroskopsko vezana voda, ki je za potrebe kmetijstva nezanimiva. Po izteku 24 ur vzorec tal ponovno stehtamo in izračunamo razliko med masami, kar nam predstavlja vsebnost vode, ki jo lahko izražamo v odstotkih mase ali volumna (Charbeneau, 2000).

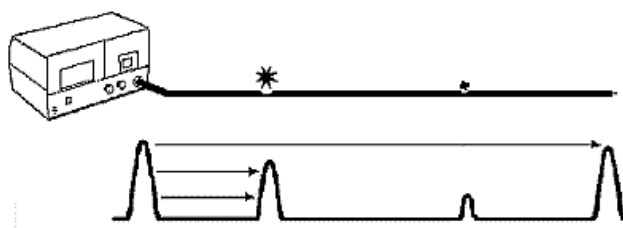
Uporaba volumskega deleža je ustrežnejša od masnega, ker ga lahko neposredno vnesemo v izračune za količino vode, ki priteče v tla z dežjem ali namakanjem in se iz tal izgubi z evapotranspiracijo in drenažo. Volumsko razmerje je tudi enakovredno globinskemu razmerju tal, ki ustreza debelini plasti vode na enoto globine tal (Hillel, 1998).

2.2.2 Posredne metode

Posredne metode merijo določeno fizikalno ali kemično lastnost tal, ki je odvisna od vsebnosti talne vode. Te lastnosti vključujejo določitev dielektrične konstante tal, električne prevodnosti tal, toplotne kapacitete, magnetne dovzetnosti, itd.. V nasprotju s posrednimi metodami le-te ne povzročajo spreminjanja vzorca skozi postopke meritve. Do manjše porušitve vzorca pride le pri namestitvi sonde v vzorec oz. talni profil. Ker omenjene fizikalne parametre v veliki meri obvladuje voda, predstavljajo po kalibraciji dobro merilo za vsebnost vode v tleh. Natančnost in točnost metod je v prvi vrsti odvisna od moči povezovalnega razmerja med merjeno količino in vsebnostjo vode (Topp in Ferré, 2002).

2.2.2.1 TDR - Time Domain Reflectometry (merjenje časa odboja)

Začetki TDR tehnike so bili povezani z razvojem kvalitetnega televizijskega in telefonskega signala. Osnovni pogoj za njegovo dosego je bila kakovostna prenosna linija brez motenj. TDR določi število in vrsto napak preko analize podanega grafa, ki opozarja na obseg nezveznosti oz. napake ali poškodbe kabla (slika 2). Postopoma se je tehnika razvijala in nadgradila, kar je privedlo do uporabe te metodologije za merjenjem vsebnosti vode v tleh.



Slika 2: Grafično prikazana velikost nezveznosti oz. napake ali poškodbe kabla na osciloskopu (sowacs..., 2004).

TDR je postala ena najbolj razširjenih metod posrednega ugotavljanja vsebnosti vlage v tleh (Dirksen, 1999; Noborio, 2001). Za razliko od gravimetrične metode, ki velja za najbolj natančno, a vključuje odvzem vzorcev, TDR metoda ni destruktivna. Določi dielektrično konstanto medija, κ , z merjenjem časa, ki ga potrebuje elektromagnetni val za širjenje vzdolž elektromagnetne linije (elektrode), ki je obkrožena z medijem. Elektrode so navadno v obliki dveh ali treh vzporednih jeklenih ali medeninastih palic, ki služijo kot prevodniki, medtem ko tla, okoli in med njimi služijo kot dielektrični medij (Topp in Devis, 1985, cit. po Dirksen, 1999). Naprava proizvaja visokofrekvenčni elektromagnetni signal, ki potuje preko elektrod in se na mestih s spremenjeno upornostjo deloma odbije. Preostali del signala potuje naprej do konca elektrod. Mesta odboja so predvsem na začetku (točka A) in koncu elektrod (točka B). Na tem mestu se signal odbije in preostanek se vrne nazaj v TDR sprejemnik (slika 3). Naprava meri čas med poslanim in sprejetim signalom. Za določeno linijsko dolžino je časovni interval obratno sorazmeren s hitrostjo širjenja signala v tleh (v), saj se hitrost zmanjša s povečanjem vsebnosti vode, torej se čas poveča. Trajanje potovanja signala (t) od začetka do konca elektrod se določi z osciloskopom po naslednji enačbi:

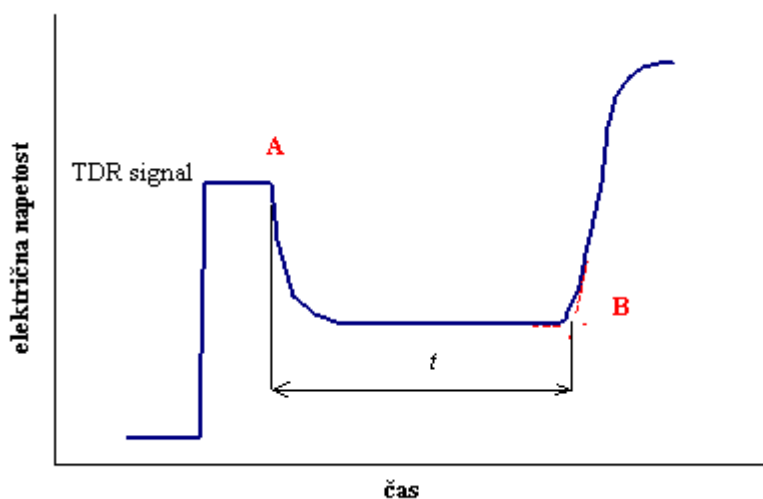
$$t = \frac{2L\sqrt{\kappa}}{c} \quad \dots(2)$$

kjer t predstavlja trajanje potovanja signala (s), L dolžino TDR elektrode (m), κ dielektrično konstanto medija in c hitrost elektromagnetnega valovanja v prostoru (m/s) (3×10^8).

Tako je dielektrična konstanta izračunana iz

$$\kappa = \left(\frac{tc}{2L} \right)^2 \quad \dots(3)$$

Osciloskop zabeleži iz nastalega elektromagnetnega valovanja obliko vala (angl. waveform) (slika 3).



Slika 3: Oblika vala elektromagnetnega valovanja kot ga zabeleži osciloskop TDR naprave. Slika je povzeta po Dirksen-u (1999).

Analiza grafa nakazuje, da ročaj sond povzroči izrazit odboj pri točki A (slika 3), katerega lahko natančno določimo s presekom tangent na grafu. Korekcijo lahko opravimo za vsako sondo posebej z izvedbo meritve v zraku in vodi, kar imenujemo tudi normalizacija senzorja. To naredimo zato, ker obstajajo manjše razlike med posameznimi senzorji za ti vrednosti in s tem dosežemo primerljivost med sondami. Začetna točka odboja v ročaju sonde je stalna in neodvisna od medija, ki jo obdaja (Maheshwarla in sod., 1995, cit. po Noborio, 2001). Oblika grafa se spreminja glede na vsebnost vode, saj je v mokrih tleh odboj impulza na koncu elektrod manj izrazit (položnejši) kot v suhih tleh. Določene sonde imajo na kratki razdalji od začetka elektrod vstavljen elektronski element, ki ustvari lahko zaznavni odboj na grafu. Analizo je možno opraviti tudi ročno na ekranu prenosnega računalnika, vendar je ta precej zamudna in pri večjem številu meritev naporna. Na

razpolago imamo tudi popolnoma avtomatizirane sonde, ki samodejno vzpostavijo in analizirajo krivulje (Dirksen, 1999).

Za določanje volumske vsebnosti vode se domneva, da vsaka talna komponenta (tla, voda in zrak) neodvisno prispeva k celotnemu času potovanja impulza v vsakem segmentu. Prispevek vsake komponente je v razmerju s količino komponente in njeno dielektrično konstanto (Evelt, 2001). Dirksen in Hilhorst (1994) sta dokazala, da vsebuje informacija, ki jo s seboj prinaša odbiti signal, več kot le uporabne podatke za merjenje vsebnosti vode in električne prevodnosti, kar je med drugim tudi predmet nadaljnjih raziskav na področju izpopolnjevanja sond.

2.2.2.1.1 Kalibracija

Skoraj nemogoče je imeti samo eno kalibracijsko razmerje, zaradi komplementarne povezave med elektromagnetnim impulzom in talnimi komponentami, vendar velika večina tal daje podobna razmerja (Topp in Ferré, 2002). Specifična kalibracija je namenjena pridobivanju natančnih podatkov o vsebnosti vode v določenih tleh, kjer talna sestava povzroča elektromagnetne vplive na meritve in s tem zapisovanje nenatančnih rezultatov. V tleh z visokim deležem organske snovi, gline, raztopljenih soli in grobega peska je potrebna njim prilagojena kalibracija. To ne velja v primeru, kadar spremljamo relativne spremembe v vsebnosti talne vode, kjer lahko uporabljamo kalibracije proizvajalcev, ki v tem primeru posreduje ustrezne rezultate.

S pomočjo kalibracijske krivulje za določen tip tal lahko pridobljeno navidezno dielektrično konstanto medija (κ_a) pretvorimo v volumsko vsebnost vode v tleh. Odvisnost κ_a od volumske vsebnosti vode je ugotavljal Topp (1980, cit. po Dirksen 1999) za številne talne enote ter predlagal naslednjo enačbo:

$$\theta = (-530 + 292 \cdot \kappa_a - 5.5 \cdot \kappa_a^2 + 0.043 \cdot \kappa_a^3) \cdot 10^{-4} \quad \dots(4)$$

kjer je θ volumska vsebnost vode v tleh (vol. %) in κ_a navidezna dielektrična konstanta medija.

Ta enačba je sprva prikazala zadovoljive rezultate v različnih tleh širom sveta in je v veliki meri prispevala k razširjenosti, hitremu porastu in razvoju TDR metode. Topp in sod. (Topp, 1980, cit. po Dirksen, 1999) so pričakovali, da bo empirična enačba ustrezno opisala odvisnost, ne glede na talno enoto, gostoto tal (1,14 - 1,44 g/cm³), temperaturo (10 - 36 °C) ali slanost. Izkazalo pa se je, da tako imenovana "Topp-ova enačba" (enačba 4) podcenjuje volumsko vsebnost vlage v organskih tleh, medtem ko jo v nabrekajočih in nenabrekajočih glinenih tleh precenjuje (Noborio, 2001). Pepin in sod. (1995, cit. po Dirksen, 1999) so ugotovili, da je temperaturni efekt meritev dielektrične konstante večji pri mokrih tleh s fino teksturo. Tako je za tla s predvideno nizko gostoto, specifičnimi

mineralnimi lastnostmi, glino, visokim deležem organske snovi, itd., potreben specifičen postopek kalibracije na talno enoto.

Kalibracija meritev volumske vsebnosti vode s TDR v izbranih tleh poteka tako, da izmerimo κ_a v vrsti vzorcev tal z znano volumsko vsebnostjo vode in s primerno gostoto. Vzorci tal naj bi obsegali širši razpon volumske vsebnosti vlage v tleh. Tako pridobimo kalibracijsko krivuljo, kjer je κ_a v odvisnosti od volumske vsebnosti vode v izbranih tleh, ali obratno (Topp in Ferré, 2002). Jakobsen in Schjønning (1995, cit. po Noborio, 2001) sta analizirala odziv več kalibracijskih enačb in ugotovila, da je "Topp-ova enačba" najboljša izbira v primeru, če je dovoljena 2-3 % napaka pri meritvah količine vode v tleh.

V nasprotju s "Topp-ovo enačbo", ki je bila pridobljena z urejanjem eksperimentalnih podatkov, je "De Loor-ova enačba" osredotočena na teoretični model in vsebuje samo fizikalne parametre. Ta se prilagaja različnim talnim gostotam, vplivom vezane vode in nenavadnim mineralnim lastnostim. Dirksen in Dasberg (1993, cit. po Dirksen, 1999) sta testirala "De Loor-ovo enačbo" na široki različici tal in ugotovila veliko širše območje uporabnosti v primerjavi s "Topp-ovo enačbo".

2.2.2.1.2 Sonde TDR

Sonde lahko namestimo v tla s pritiskanjem ali jih zakopljemo pod poljubnim kotom. Če jih nameščamo horizontalno v tla, je najbolj občutljivi predel tal zgornjih 30 cm. Pod tem slojem ni težav, saj se z globino vlažnost manj sunkovito spreminja. Vsebnost vode kot funkcija globine se lahko natančneje meri s krajšimi senzorji vstavljenimi vodoravno v navpični talni izkop. Eksperimenti so dokazali, da nevzporedno vstavljanje elektrod ni tako kritično za rezultate meritev vsebnosti vode, kljub temu se strmi k čim bolj vzporednem vstavljanju (Evelt in Ruthardt, 2001).

Teoretično naj bi dolžina elektrod ne vplivala na natančnost meritev volumskega deleža vode. Dejansko pa je določanje točk odboja na grafu TDR in računanje dielektrične konstante v veliki meri podvrženo majhnim napakam pri določitvi navidezne dolžine elektrod. Ta vpliv se še poveča pri uporabi elektrod, krajših od 10 cm, kar je hkrati tudi priporočena najkrajša dolžina elektrod. V laboratorijskih poskusih je najmanjša dovoljena dolžina elektrod 5 cm. Zgornja meja dolžine je načeloma neomejena, dokler TDR naprave niso podvržene visoki ionski prevodnosti in dielektričnim izgubam v tleh. Zmanjšanje elektromagnetnih impulzov v prevodnem mediju rahlo vpliva na njihovo hitrost širjenja. Dejansko meritve vsebnosti vode izvajamo le dotlej, ko lahko na grafu natančno določimo odboj impulza od konca elektrod. Le-ta postane težje določljiv oz. položnejši z naraščanjem dolžine elektrod sonde, vsebnosti vode, glinosti in slanosti tal (Noborio, 2001). Dalton in Van Genuchten (1986, cit. po Dirksen in Hilhorst, 1994) sta zmanjšanje signala uspešno omilila z uporabo zaščitnih izolacijskih oblog za elektrode. S tem lahko opravimo meritve vsebnosti vode tudi v medijih z zelo visoko električno prevodnostjo. Debelejša

obloga omogoča meritve v medijih z električno prevodnostjo nad 15 dS/m, vendar je zaradi zmanjšane odzivnosti elektrod obvezna nova kalibracija. Ker TDR med drugim meri zmanjšanje električne napetosti, ki je posledica ionske prevodnosti tal, z namenom določanja njihove električne prevodnosti, σ (S/m), izolacija elektrod brez specifične kalibracije ni možna. Elektromagnetni impulz se zmanjša zaradi električne prevodnosti med elektrodama sonde.

V težkih, kamnitih in gozdnih tleh je zelo priporočljiva uporaba predhodnih vodil za vstavljanje sond, ki omilijo poškodbe elektrod, vendar so Rothe in sod. (1997, cit. po Noborio, 2001) ugotovili, da sonde vstavljene s prehodnimi vodniki v pilotne luknje, vedno pokažejo višje vrednosti vsebnosti vode v primerjavi s tistimi, ki jih neposredno potisnemo v tla. To razlagajo s 5-20 % višjo gostoto tal okoli elektrod, vstavljenih s pomočjo vodil. Če zračni mehurčki obkrožajo manj kot 1/12 celotnega obsega elektrod, potem je njihov vpliv zanemarljiv pri merjenju dielektrične konstante tal in je po raziskavah, ki jih je opravil Knight (1997, cit. po Noborio, 2001) višji pri sondah s tremi elektrodami kot pri tistih z dvema. Topp in Devis (1985 cit po Dirksen, 1999) predlagata na polju uporabo sond z dolžino elektrod med 10 in 100 cm. Višja kot je delovna frekvenca TDR naprave, krajše so lahko elektrode in daljši je lahko kabel sond. Vpliv razmika med elektrodama in njihove dolžine še ni popolnoma preučen.

Knight (1992, cit. po Dirksen, 1999) nakazuje, da merilni obseg senzorja z dvema elektrodama ni dovolj dobro omejen. Potencialni vir napake pri meritvah s TDR izhaja iz zračnih razpok oz. mehurčkov ali nereprezentativne heterogenosti okoli elektrod senzorja. Če je premer elektrod manjši v primerjavi z razmikom med njima, pride do tako imenovanega "kožnega efekta" in visoko-energetske gostote okoli elektrod. Za zmanjšanje vpliva motenj in nezveznosti v bližini elektrod se priporoča zajetno širok premer elektrod, medtem ko naj bi razmerje medsebojne oddaljenosti elektrod in njihovega premera ne presevalo faktorja 10, ob predpostavki, da je prva vrednost večja od druge ($l/d \leq 10$). Dejansko je 95 % energije elektromagnetnega pulza omejenega na približno 1,5-kratni faktor razmika med elektrodama. To moramo upoštevati pri meritvah na polju, zaradi interakcije med atmosfero in tlemi (evapotranspiracije). White in sod. (1994, cit. po Topp in Ferré, 2002) so ugotovili, da se sonde s premerom elektrod 6 mm in razmikom 50 mm zelo dobro obnašajo v različnih tipih tal.

Noborio in sod. (1996 cit. po Noborio, 2001) so eksperimentirali s sondo, ki je poleg vsebnosti vode in električne prevodnosti, merila še temperaturo ter temperaturno prevodnost, kar bi bilo v prihodnje potrebno še dodatno preučiti in razviti. Na tržišču je več različnih sond, ki delujejo na principu TDR.

2.2.2.2 FD - Frequency Domain (merjenje frekvence)

Osnove metode segajo v trideseta leta prejšnjega stoletja in so še dandanes tako rekoč nespremenjene, saj predvidevajo določanje vsebnosti talne vode z merjenjem relativne dielektrične konstante pri določeni frekvenci (Smith-Rose, 1933, cit. po Dirksen, 1999). Razvoj mikroelektronike je bistveno vplival na napredek naprav, ki delujejo na principu merjenja frekvence. Še pred desetimi leti je bilo njihovo ciljno področje nadzorovanje gospodarnega namakanja, vendar lahko danes njihove izpopolnjene različice uporabljamo tudi za natančno merjenje vsebnosti vode v tleh (Starr in Paltineanu, 2002).

Za določanje volumskega deleža vode v tleh se uporabljajo tla, ki obdajajo sondo, kot sestavni del kondenzatorja. S tem dosežemo polarizacijo vodnih dipolov v dielektričnem mediju, kot odgovor na frekvenco vsiljenega električnega polja (Starr in Paltineanu, 2002). Kondenzator je zasnovan tako, da uporablja medij kot dielektrik. Posledica tega je, da lahko določimo dielektrično konstanto slednjega v povezavi z merjenjem časa, v katerem se kondenzator napolni. Razmerje med časom (t), potrebnim za polnjene kondenzatorja iz začetne električne napetosti, (V_i), do električne napetosti (V), in s končno električno napetostjo (V_f), lahko računsko definiramo kot:

$$\frac{V - V_f}{V_i - V_f} = e^{-\frac{t}{RC}} \quad \dots(5)$$

kjer predstavljata R upornost in C kapaciteto kondenzatorja (slika 4). V primeru, da je razmerje upornosti in električne napetosti konstantno, lahko čas izrazimo še drugače:

$$t = -RC \ln \left(\frac{V - V_f}{V_i - V_f} \right) \quad \dots(6)$$

Preprost kondenzator sestavljata vzporedni kovinski plošči s površino A in razmikom S . Ker sta obe vrednosti stalni, se njegova kapaciteta sorazmerno povečuje z dielektrično konstanto (κ) medija, ki je nameščen med ploščama. Velja:

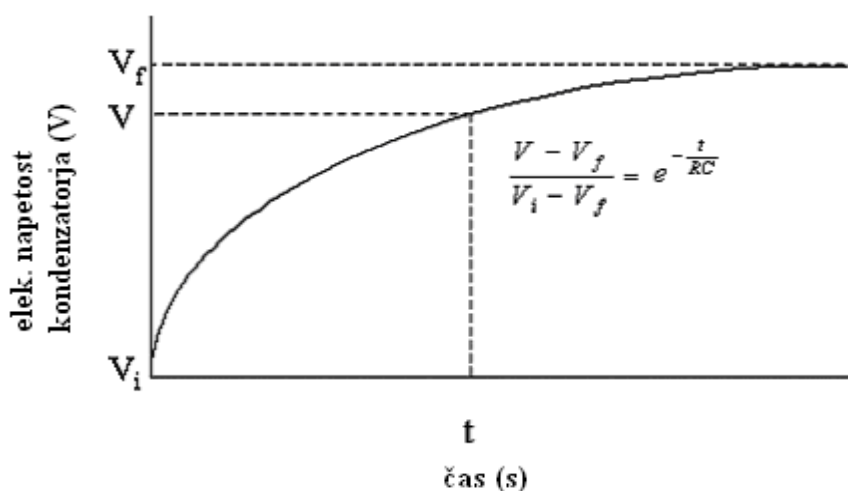
$$C = \frac{\kappa A}{S} \quad \dots(7)$$

Potemtakem je čas potreben za polnjene kondenzatorja enak enostavni linearni funkciji dielektrične konstante medija, ki obdaja kondenzator:

$$\kappa = \frac{t}{\frac{RA}{S} \ln \left(\frac{V - V_f}{V_i - V_f} \right)} \quad \dots(8)$$

Potrebno je opozoriti na dejstvo, da talne sonde vsekakor ne moremo enačiti z vzporednimi kovinskimi ploščami kondenzatorjev. To pa ne pomeni, da prikazano linearno razmerje več ne drži (Wacker, 2002).

Indukcija celotnega krogotoka je konstantna, zato se nihalna frekvenca odziva izključno na spremembe kapacitete. Zaradi tega razmerje med nihavno frekvenco in vsebnostjo vode v tleh določamo empirično s kalibracijo (Robinson in sod., 1998, cit. po Starr in Paltineanu, 2002).



Slika 4: Sprememba električne napetosti kondenzatorja v odvisnosti od časa (Wacker, 2002).

2.2.2.2.1 Sonda FD

FD metoda je usmerjena v merjenje kapacitete med elektrodama senzorja. Ti sistemi uporabljajo eno samo merilno frekvenco. Dielektrični senzor je sestavljen iz para elektrod, vzporedne žice ali valjastih kovinskih obročev, ki so povezani z oscilatorjem. Ko je sonda vstavljena v tla ali v merilno PVC cev, nameščeno na polju in jo aktiviramo s pomočjo radijskih frekvenc, sistem tla-voda-zrak okoli PVC cevi ustvarja dielektričnost kondenzatorja, le-ta pa zaključí oscilacijski krog. Spremembe v vsebnosti vode v tleh povzročijo premik oz. spremembo frekvenca. Za zanesljivo oceno vsebnosti vode je zelo pomembno, da je stik med merilno PVC cevjo in poroznim sistemom dober (Zupanc in Pintar, 2001).

Posamezne FD sonde merijo vsebnost vode v tleh pri stalni frekvenci, ki sovpada z določenim območjem širokega frekvenčnega delovanja TDR naprav. Glede na različno sestavo sond se delovno območje giblje med 38 do največ 150 Mhz. Dejanska delovna frekvenca kapacitetnih sond je nižja od omenjene najvišje vrednosti. Z nižanjem frekvence se povečuje vpliv ionske prevodnosti, tako da privzetega dela dielektrične konstante ne moremo več zanemariti, ker ta izkrivlja meritve vsebnosti vode. To je razlog za občutljivost FD senzorjev na visoko talno električno prevodnost in slanost tal. Ker obstaja obratno sorazmerje med električno prevodnostjo in frekvenco, lahko z uporabo delovnih frekvenc med 100 in 150 MHz zmanjšamo vpliv nizke reakcije tal in slanosti talne raztopine na meritve vsebnosti vode v tleh (Gardner in sod., 1991, cit. po Starr in Paltineanu, 2002). Dodatno sta Dirksen in Hilhorst (1994) ugotovila, da občutljivost FD naprav na talni tip povzroča večjo potrebo po specifični kalibraciji in interpretaciji podatkov.

Sonde so prilagojene na različno oblikovanje elektrod in se delijo po zunanjem izgledu in načinu delovanja. Nekatere sonde so sestavljene iz večjega števila elektrod, ki so namenjene predvsem površinski namestitvi ali talnemu zakopu. Odlikujejo se po oblikovni in uporabniški preprostosti ter možnosti prenosa. Motnje pri njihovem neposrednem nameščanju lahko privedejo do zračnih mehurčkov vzdolž senzorjev ali spremembe strukturne gostote in hidravličnih lastnosti tal v območju delovanja senzorjev, kar ni zaželeno zaradi nepravilnosti rezultatov (Starr in Paltineanu, 2002). Bolj razširjene so sonde, ki jih sestavlja več parov valjastih kovinskih obročev, vgrajenih v podporno PVC cev, ki so med seboj ločeni z neprevodnimi plastičnimi obročki, ki so postavljeni na določen interval in tako ločujejo globino meritve. Sonde vstavimo v PVC cev, ki skupaj s tlemi tvori zunanji rob polja delovanja kondenzatorja. Znotraj cevi je območje delovanja določeno z intervali širokimi 10 cm in signal zajema obseg do 15 cm v premer. *In situ* poljske meritve na določenih intervalih so omejene z globino, ki pri namestitveni proceduri še vedno zagotavlja dober stik med tlemi in cevjo. Lahko imamo tudi trajno nameščene sonde. Gardner in sod. (1991 cit. po Starr in Paltineanu, 2002) poročajo, da so tovrstne sonde zaradi robustnosti zelo priporočljive za meritve na polju. Če je cev pravilno vstavljena, tako da se v čim večji meri omeji nastanek zračnih mehurjev med cevjo in tlemi, potem lahko podajo zelo natančne podatke za vsebnost vode. Evett (2001) navaja, da je vstavljanje PVC cevi s svedrom zelo dolgotrajen in naporen postopek, ker zahteva veliko natančnosti in previdnosti.

2.2.2.2.2 Primerjava med TDR in FD metodo

FD metoda je operacijsko preprostejša kot TDR metoda, vendar v preteklosti niso dosegli natančnih vrednosti dielektrične konstante. Vsebnost vode je lahko zanesljivo določena samo s kalibracijo za vsako uporabo posebej. Pretvorba iz dielektrične konstante v vsebnost vode je veliko bolj talno-specifična kot pri TDR, zaradi uporabe relativno nizke delovne frekvence s strani FD. Pred specifično talno kalibracijo je nujna normalizacija

senzorjev v vodi in zraku. Potencialno so lahko FD sonde bolj natančne od TDR. Sonde so lahko prenosne za periodična merjenja ali pa stalne za neprestani nadzor vsebnosti vode v tleh (Dirksen, 1999).

Pri relativno nizki frekvenci FD, 20 MHz, z naraščajočo specifično površino talnih delcev razmerje med dielektrično konstanto medija in vsebnostjo vode hitreje narašča. Nasprotno pa to razmerje rahlo pada, pri višjih frekvencah, ki jih doseže TDR. S spremembo specifične površine, vsebnosti vode, gostote, ionske sestave, itd. postane talni sistem kompleksnejši, tako da tudi ostali faktorji, poleg polarizacije vodnih molekul, začnejo igrati pomembno vlogo (De Loor, 1990, cit. po Dirksen, 1999; Campbell 1990, cit. po Dirksen, 1999).

3 MATERIAL IN METODE DELA

3.1 OPIS UPORABLJENIH MERILNIH NAPRAV

Elektromagnetne naprave uporabljajo empirično kalibracijsko razmerje med vsebnostjo vode v tleh in odzivom sonde, ki ga lahko merimo: čas, frekvenca, upornost ali analiza grafa. Vedno bolj so v rabi, ker so meritve skoraj istočasne, vzdrževanje ni potrebno in z avtomatizacijo lahko vzpostavimo neprestano spremljanje sprememb vsebnosti vode v tleh, tudi na daljavo.

Uporabili smo štiri naprave za posredno merjenje vsebnosti vode v tleh: Diviner 2000, ki deluje na principu FD, ter TDR 100, sondi CS 616 in Trime P2Z (priključena na Trime Mux 6), ki delujejo na principu TDR. Zadnji dve nam je skupaj s shranjevalcem podatkov CR23X posredovala Amsterdamska Univerza Vrije, medtem ko nam je Gozdarski Inštitut Slovenije omogočil uporabo TDR 100. Diviner 2000 smo imeli na razpolago na Katedri za urejanje kmetijskega prostora in agrohidrologijo. Podatke o količini vode v tleh, dobljene s posameznimi sondami, smo primerjali s količino vode, ki smo jo določili z gravimetrično metodo.

3.1.1 Sonda Trime P2Z

Sonda Trime P2Z (IMKO, Nemčija) temelji na TDR metodi za merjenje dielektrične konstante določenega poroznega medija. Kovinske elektrode so valovni vodniki za prenos TDR signala, ki predhodno potuje skozi kabel. Naprava sproži visokofrekvenčni impulz, velikosti do 1 GHz, ki se razprši vzdolž valovnega vodnika, kar povzroča elektromagnetno polje okoli elektrod sonde. Na koncu slednje se impulz odbije nazaj do izvora signala. Vsebnost vode je izračunana po kvadratni kalibracijski enačbi proizvajalca v notranjosti naprave in je prikazana analogno. Trime ima univerzalno kalibracijo za širok razpon snovi, vendar je možna tudi specifična kalibracija. Proizvajalec navaja natančnost univerzalne kalibracije $\pm 1\%$ do električne prevodnosti tal 10 dS/m. Meritve si zaradi razdelilca Trime-Mux 6 sledijo ciklično, ena za drugo, v sistemu šestih sond. Po opravljeni meritvi se sonda avtomatsko izključi in program sproži vključitev naslednje, dokler cikel šestih meritev ni zaključen. To je zelo priporočljivo pri meritvah, kjer so sonde nameščene blizu ena od druge, saj zaradi časovnega sosledja meritev ni elektromagnetnih motenj. Po končanem sklopu meritev se naprava izklopi za obdobje, ki je v programu določeno kot razmak med meritvami. Vsaka sonda je posebej tovarniško kalibrirana in tako ustreza točno določeni namestitvi na razdelilcu, kar je označeno z razpoznavno plastično označbo na sondi (Trime-mux 6 ..., 2002). Dolžina elektrod znaša 16 cm, z medsebojno razdaljo 4 cm (slika 5). Napravo smo skupaj s sondo CS 616 uporabili v povezavi s shranjevalcem podatkov CR23X (Campbell Scientific, ZDA), ki beleži in prikazuje rezultate ter programira

meritve. Notranja baterija omogoča do 300 ciklov meritev. Možno jo je polniti tudi s pomočjo sončnih celic, kar zagotavlja zbiranje podatkov na daljavo (CR23X micrologger ..., 2003).

3.1.2 Sonda CS 616

Sonda CS 616 (Campbell Scientific, ZDA) deluje po principu TDR metode in je zasnovana za merjenje volumske vsebnosti vode v tleh ali v drugih poroznih medijih. Sestavljata jo dve 30 cm dolgi elektrodi iz nerjavečega jekla, z medsebojno razdaljo 3,6 cm (slika 5). Ti sta vgrajeni v ročaj sonde, ki jo kabel povezuje s shranjevalcem podatkov CR23X (PC208W Datalogger ..., 1999). Ta služi kot vir energije za sprožitev impulza, ki ga lahko programira na želen časovni interval meritev. Hkrati beleži informacije, ki mu jih posreduje sonda. Podatek o vsebnosti vode izhaja iz merilne občutljivosti sonde na dielektrično konstanto medija, ki obdaja njene elektrode. Princip metode temelji na tem, da se elektromagnetni impulz širi vzdolž elektrod s hitrostjo, ki je odvisna od dielektrične konstante snovi, ki obdaja sondo. Z naraščanjem vsebnosti vode se zmanjša hitrost širjenja, ker je za polarizacijo vodnih molekul potreben čas. Doveden signal potuje do konca elektrod, se tam odbije in potuje nazaj do ročaja elektrod. V ročaju se zabeleži odboj in se sproži naslednji impulz. V bistvu se meri čas potovanja dovedenega signala vzdolž dvakratne dolžine elektrod. Frekvenca impulzov med elektrodama v zraku je okoli 70 MHz. Ta frekvenca se spremeni glede na vsebnost vode in je zlahka zaznana s strani shranjevalca podatkov. Ta izmerjeno frekvenco oz. periodo empirično analizira in jo s pomočjo kalibracijske enačbe proizvajalca pretvori v volumski delež vode. Standardni pogoji za meritve s CS 616 so: merilno območje od 0 do 50 vol. % vode, električna prevodnost medija $\leq 0,5$ dS/m in gostota tal $\leq 1,55$ g/cm³. Kadar se držimo pogojev delovanja je bolj priporočljiva od linearne uporaba kvadratne kalibracijske enačbe, ki posreduje natančnejše meritve, vendar je na splošno razlika med njima 1,2 vol. % vode. V obe vstavljamo vrednosti za potovalni čas signala, ki je med drugim edina spremenljiva komponenta enačbe. Pri normalizaciji sond dosežemo, da je čas potovanja impulza v zraku 14 μ s, medtem ko je v vodi 42 μ s. Meritve zajemajo območje, ki je omejeno z obsegom 10-15 cm od elektrod (CS 616 ..., 2003).



Slika 5: Sonde Trime P2Z (zgoraj) in CS 616 (spodaj).

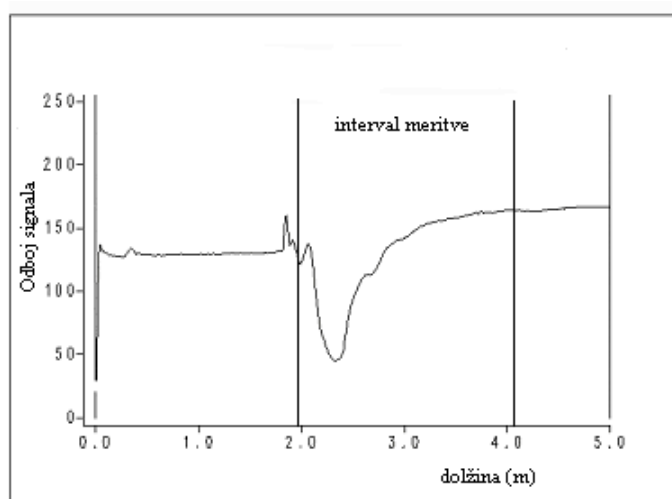
3.1.2 TDR 100

Kot pove že samo ime, deluje tudi TDR 100 (Campbell Scientific, ZDA) na principu TDR. Od prejšnjih dveh sond se razlikuje po tem, da elektrodi nista vgrajeni v tog ročaj, ampak slednjega nadomeščata krokodilji vponki (slika 6). Ti sta nameščeni na del elektrod, ki ostane izven tal, katere predhodno vstavimo s pomočjo priloženih vodov. Elektrode so nerjaveče kovinske palice z ošiljenimi konicami in so lahko različnih dolžin. V našem primeru smo uporabljali 10 in 20 cm dolgi različici ter pri vsaki od sond smo opravili meritev pri ožjem in širšem intervalu meritve.



Slika 6: Meritve s TDR 100.

Tovrstna oblika sond se ne da vkopati v tla in jo vstavljamo lahko le pravokotno na talno površino. Za meritve je poleg naprave nujno potreben prenosni računalnik, saj se le-te izvajajo posamezno z analizo grafa izrisanega na zaslonu računalnika. Na grafu določimo območje preučevanja oz. interval meritve, ki je odločilen za natančnost rezultatov (slika 7). Naprava na vsakih 100 μ s preračuna odboje, kar nam omogoča izrisanje grafa z 250-imi točkami odboja, pri spreminjajoči električni prevodnosti medija. TDR 100 ima 2-4 urno delovanja brez napajanja na električno omrežje (TDR 100 ..., 2002).



Slika 7: Graf izrisan na ekranu prenosnega računalnika pri meritvah s TDR 100 z območjem intervala meritve, kot ga priporoča proizvajalec Campbell Scientific (TDR 100 ..., 2002).

3.2.4 Diviner 2000

Diviner 2000 (Sentek, Avstralija) je prenosna naprava oz. nadzorovalni sistem za ugotavljanje vsebnosti vode na enakomernih 10 cm dolgih intervalih. Deluje na principu FD metode. Sestavlja jo valjasta sonda, zaslon in okrogle PVC cevi (premera 5 cm) namenjene vstavljanju sonde. Meritve zajemajo obseg 5-10 cm od roba cevi in segajo vse do globine 160 cm, kolikor je tudi dolžina nosilne palice sonde. Ta ima na dnu nameščen zaobljen senzor s kapico (slika 8), na vrhu pa se nahaja kabel za povezavo z zaslonom, ki služi prenosu in shranjevanju do 999 meritev ter kot vir energije za delovanje naprave. Dodatno je na palici, na kateri je nameščena sonda, graviran meter za pomoč pri ugotavljanju njene trenutne globine. V PVC cev ročno nameščamo sondo, ki deluje pri visoki frekvenci (100 MHz) in povzroča specifično polarizacijo vodnih molekul na enoto volumna (Diviner 2000 ..., 2000).



Slika 8: Sonda Diviner 2000.

Oprema je lahka in preprosta za uporabo ter zagotavlja sprotno spremljanje meritev. Kalibracijska enačba je matematična povezava med meritvami frekvence Diviner 2000 in volumsko vsebnostjo vode, pridobljene z gravimetrično metodo. Naprava ni sposobna natančnih meritev vsebnosti vode za vse vrste tal, ker univerzalna kalibracija proizvajalca posreduje relativne podatke, medtem ko lahko z lastno specifično kalibracijo dobimo natančnejše vrednosti. Poleg kalibracije je pomembna še normalizacija sensorja sonde, ker se vsak senzor odziva nekoliko drugače na vodo in zrak. Z vnosom vrednosti obeh parametrov v kalibracijsko enačbo je moč standardizirati vse meritve senzorjev, kar med drugim omogoča primerjavo meritev med sondami.

Diviner 2000 meri hitrosti odzemanja in pritekanja vode v tla pri različnih globinah, kar odlično zrcali vodno porabo rastlin. Poleg tega lahko dodatno identificira aktivno koreninsko cono rastlin. Omogoča grafično predstavitev območja namakanja ali infiltracije padavin. Podatki lahko posredujejo hitrost porabe in globino rastlinam dostopne vode v tleh. Diviner 2000 nam poda še druge pomembne podatke:

- vsakodnevno vodno porabo rastlin
- vzorce ekstrakcije iz različnih plasti talnega profila
- globino in distribucijo koreninske cone
- globino, distribucijo in učinkovitost fronte vlažnosti po namakanju ali padavinah
- spremembe v talni teksturi oz. strukturi.



Slika 9: Vstavljene PVC cevi za opravljanje meritev z napravo Diviner 2000. Cevi so lahko do zgornjega roba vkopane v tla.

3.2 METODE DELA

3.2.1 Vzorčenje tal

Za analizo vsebnosti vode v tleh smo tla vzorčili na dveh različnih lokacijah, in sicer: na območju Snežne jame (Kočevski rog) in Škrilin (dolina reke Dragonje). V obeh primerih so gozdna tla, ki smo jih odvzeli do globine 40 cm. Do začetka poskusa smo tla pustili v plastičnih kontejnerjih v rastlinjaku.

3.2.2 Priprava vzorcev na analizo

Pred začetkom meritev smo vzorce tal iz kontejnerjev razporedili na PVC folijo. Vzorec iz Snežne jame je bil pretirano omočen, zato smo ga pustili, da se suši nekaj dni. Podobno smo naredili za mivko, ki smo jo uporabljali kot kontrolni medij, saj ima znane izmerjene lastnosti. Tla iz doline Dragonje so bila suha in sprijeta v večje grude. Zaradi velikih talnih delcev (grud) smo morali vzorca drobiti v terilnici, s čimer smo porušili vzorec do takšne mere, da smo ga lahko presejali skozi 5 mm sito. S tem smo tudi ločili skelet in večje organske delce iz vzorcev ter hkrati pripomogli k boljši homogenizaciji tal.

3.2.3 Priprava zabojev za meritve

Z lesenimi letvicami različnih dolžin smo oblikovali zaboje, v katere smo namestili PVC folijo velikosti 250 cm x 200 cm, da bi preprečili izhlapevanje vode iz vzorca med meritvami. Skupno smo imeli tri zaboje, dva manjša (50 cm x 55 cm x 30 cm) in enega večjega (90 cm x 55 cm x 30 cm). Slednjega smo napolnili z vzorcem tal iz Snežne jame, medtem ko sta bila preostala dva napolnjena z mivko in z vzorcem tal iz doline reke Dragonje. Polnitev je potekala tako, da smo z lopato v zaboj najprej nasuli zemljo do višine 10 cm, nakar smo jo zgostili (homogenizirali) z leseno letvijo, ki smo jo položili na zemljo in postopoma po celi površini obtežili z lastno težo. Postopek smo ponovili na intervalih po 10 cm vse do zapolnitve zaboja.

3.2.4 Izvajanje meritev

Med postopkom homogenizacije smo na sredino zabojev namestili vstopno PVC cev za meritve z Diviner 2000. S tem smo zagotovili boljši stik med cevjo in tlemi ter se izognili zračnim mehurčkom, ki so zaradi oviranja meritev nezaželeni. Na začetku meritev smo le-te izvajali z vsemi sondami, nameščenimi hkrati v en zaboj, kar smo kasneje opustili zaradi medsebojnih interferenc. Tako smo meritve izvajali z vsako napravo posebej v izbranem vzorcu tal. Meritve smo tako opravili po naslednjem zaporedju: Diviner 2000, TDR 100 (10 in 20 cm sonda), CS 616 in Trime P2Z. Med meritvami smo odprti del zaboja pokrili s folijo in s tem preprečili izhlapevanje vode iz vzorca. Po opravljenih meritvah smo vzeli vzorce za gravimetrično določanje vode. Tla iz zabojev smo enakomerno razporedili na folijo in jih z grabljami premešali. Na osnovi rezultatov gravimetrične metode smo se odločili za nadaljnjo sušenje oz. vlaženje tal, s čemer smo želeli doseči različne stopnje navlaženosti, kar naj bi nam potrdile tudi primerjane naprave. Meritve smo z vsako napravo (po pet ponovitev) izvedli v šestih ciklih pri različnih stopnjah navlaženosti medija.

Preglednica 3: Povprečna gravimetrično določena vlažnost tal (vol. %) oz. substrata pri meritvah količine vode v tleh z različnimi napravami.

Meritve	Povprečna vlažnost tal (vol. %)					
	1	2	3	4	5	6
Snežna jama	10,47	10,98	15,90	21,10	22,31	37,13
Dragonja	12,92	13,53	21,01	34,11	42,37	42,57
Mivka	3,73	4,23	9,17	15,85	16,42	30,53

3.2.5 Gravimetrično določanje vsebnosti vode

Na površini vzorca in na globini 15 cm smo na naključno izbranih mestih vzeli vzorce tal s Kopeckijevimi cilindri. V velikem zaboju skupaj deset (5+5) in majhnem zaboju šest (3+3) vzorcev. Ta meritev nam je služila kot standard. Vsak posamezen vzorec smo iz cilindra stresli v PVC vrečko, s tem smo preprečili izhlapevanje vode na poti v laboratorij. Mokre vzorce smo stehali in jih dali v sušilnik na temperaturo 105 °C za 24 ur. Po pretečenem času je sledilo ponovno tehtanje suhega vzorca. Iz razlik v masi mokrega in suhega vzorca smo izračunali vsebnost vode v vzorcu.

3.2.6 Obdelava podatkov

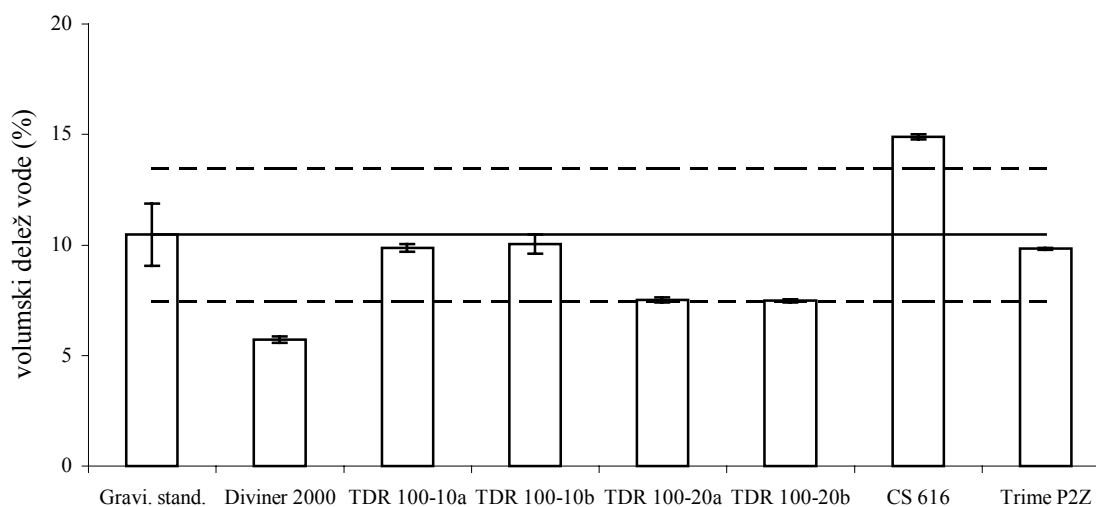
Po opravljenih elektromagnetnih meritvah smo za vsak tip tal in za vsako vsebnost vode posebej, vzeli vzorce za gravimetrično določanje vsebnosti vode. Ta meritev nam je služila kot referenčna vrednost volumskega deleža vode, s katerim smo primerjali dobljene povprečne rezultate preučevanih elektronskih naprav. Pri vrednotenju rezultatov smo uporabili opisno statistiko (povprečje, standardni odklon, variacija) in smo za njihovo predstavitev izbrali stolpce.

4 REZULTATI

V vseh vzorcih tal smo z različnimi napravami izmerili delež vsebnosti vode in jih primerjali z rezultati dobljenimi z gravimetričnimi meritvami. Odstopanje od standarda smo prikazali v vol. % vode. Izmerjeni podatki so prestavljeni grafično in v preglednicah v prilogah.

4.1 VOLUMSKI DELEŽ VODE V TLEH IZ SNEŽNE JAME

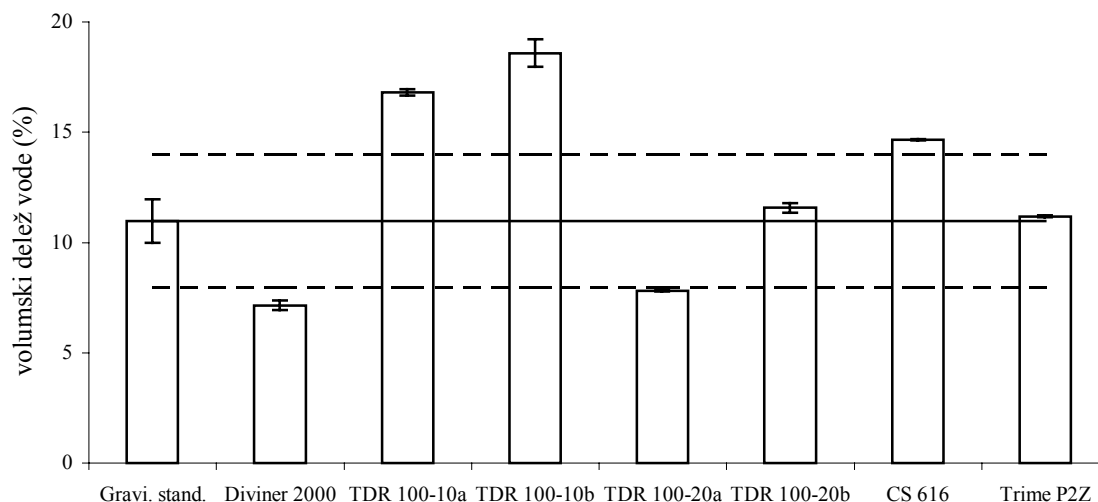
V prvem sklopu meritev količine vode v tleh iz Snežne jame je bila vrednost le-te po gravimetrični metodi 10,5 vol. % s standardnim odklonom $\pm 1,40$ vol. %. Najbolj natančne meritve smo izmerili s TDR 100-10b, ki je od standarda odstopal za 0,4 vol. %. Tudi TDR 100-10a in sonda Trime P2Z sta se z 0,6 vol. % odstopanjem približali standardu. Diviner 2000 je z odstopanjem 4,7 vol. % bil najmanj natančen. Standardni odklon od povprečja je bil pri večini naprav zanemarljivo majhen. Izjema je le TDR 100-10b z vrednostjo $\pm 0,44$ (slika 10). Natančnejši podatki so prikazani v prilogah A – H.



Slika 10: Povprečni volumski deleži vode v tleh z označenim standardnim odklonom (vol. %) v vzorcu tal iz Snežne jame v prvem sklopu meritev. Pri napravi TDR 100 smo razpolagali z 10 cm (10) in 20 cm (20) dolgimi elektrodami. Hkrati pomenita oznaki: a - ožje določen interval meritve, b - širše določen interval meritve. Sredinska polna črta prikazuje povprečno vrednost gravimetrične meritve, medtem ko črtkani črti zaznamujeta še zadovoljivo odstopanje od slednje za ± 3 vol. % vode.

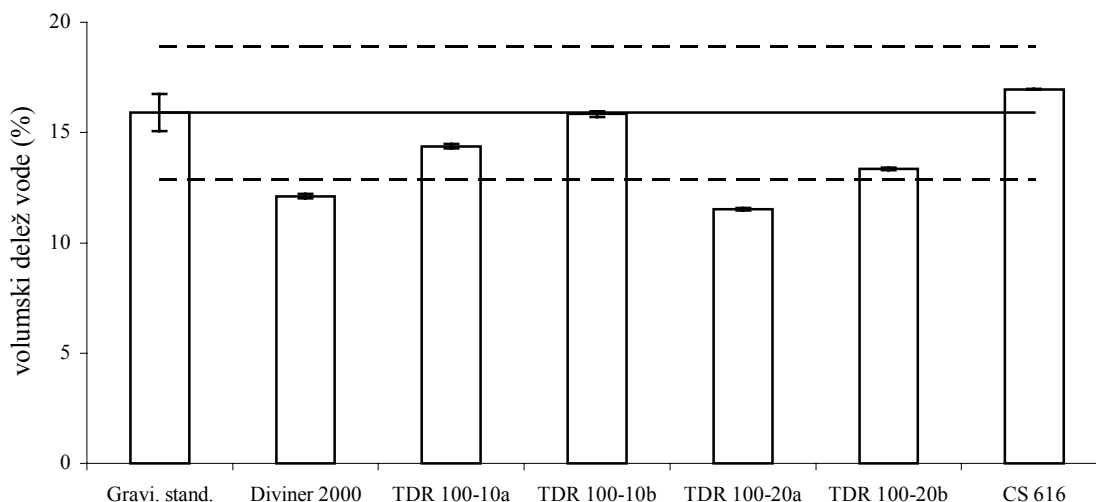
V drugem sklopu meritev količine vode v tleh iz Snežne jame je bila vrednost le-te po gravimetrični metodi 11 vol. % s standardnim odklonom $\pm 0,98$ vol. %. Gravimetričnemu

povprečju se je z odstopanjem 0,2 vol. % najbolj približala sonda Trime P2Z. Nekoliko večje odstopanje smo izmerili s TDR 100-20b (0,6 vol. %). Najbolj se je od točne vrednosti z odstopanjem 7,6 vol. % oddaljil TDR 100-10b. Standardni odklon od povprečja je bil pri večini naprav zanemarljivo majhen. Izjema je le TDR 100-10b z vrednostjo $\pm 0,62$ (slika 11). Natančnejši podatki so prikazani v prilogah A – H.



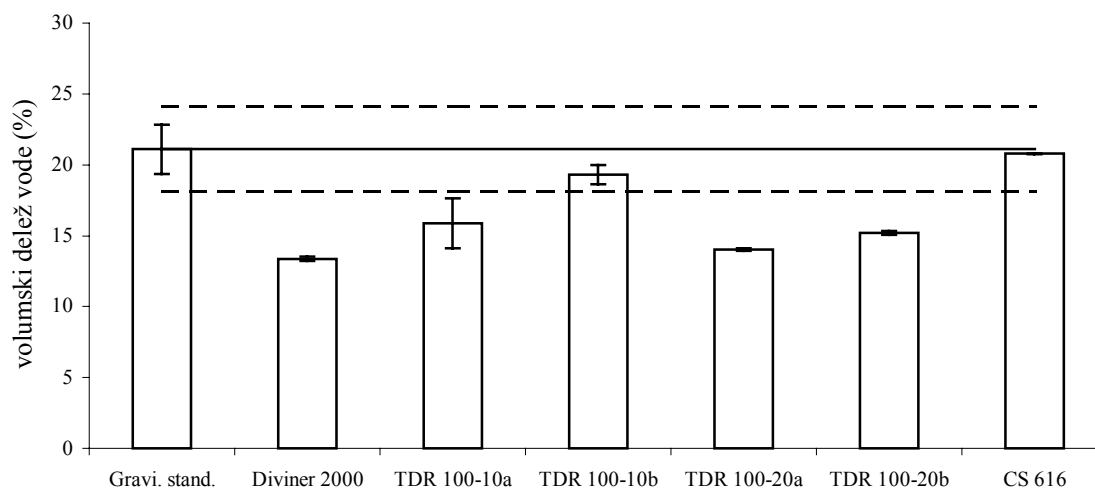
Slika 11: Povprečni volumski deleži vode v tleh z označenim standardnim odklonom (vol. %) v vzorcu tal iz Snežne jame v drugem sklopu meritev. Za podrobno razlago grafikona glej sliko 10.

V tretjem sklopu meritev količine vode v tleh iz Snežne jame je bila vrednost le-te po gravimetrični metodi 15,9 vol. % s standardnim odklonom $\pm 0,84$ vol. %. Najboljše so se izkazale meritve z napravo TDR 100-10b, saj so se ujemale s standardom. Sonda CS 616 je odstopala za 1,7 vol. %. Od standarda najbolj odstopajo meritve s TDR 100-20a, z odklonom 4,4 vol. %. Standardni odklon od povprečja je bil pri večini naprav zanemarljivo majhen (slika 12). Natančnejši podatki so prikazani v prilogah A – H.



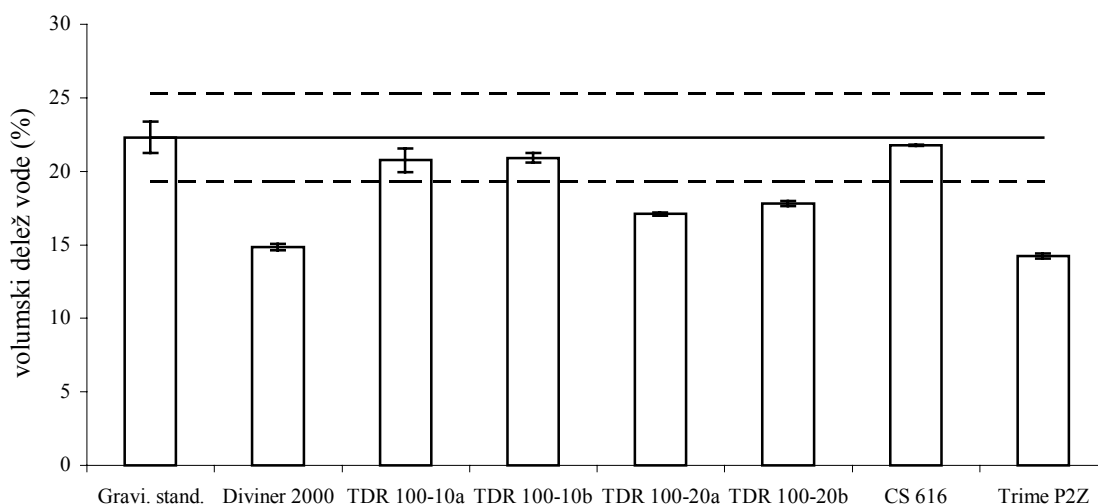
Slika 12: Povprečni volumski deleži vode v tleh z označenim standardnim odklonom (vol. %) v vzorcu tal iz Snežne jame v tretjem sklopu meritev. Podatkov za sondo Trime P2Z ni na razpolago. Za podrobno razlago grafikona glej sliko 10.

V četrtem sklopu meritev količine vode v tleh iz Snežne jame je bila vrednost le-te po gravimetrični metodi 21,1 vol. % s standardnim odklonom $\pm 1,74$ vol. %. V tem primeru so se meritve z Diviner 2000, z odstopanjem 7,7 vol. % od standarda, izkazale kot najslabše. Najmanjše odstopanje smo zabeležili pri sondi CS 616 z 0,3 vol. %. Standardni odklon od povprečja je bil pri večini naprav zanemarljivo majhen (slika 13). Natančnejši podatki so prikazani v prilogah A – H.



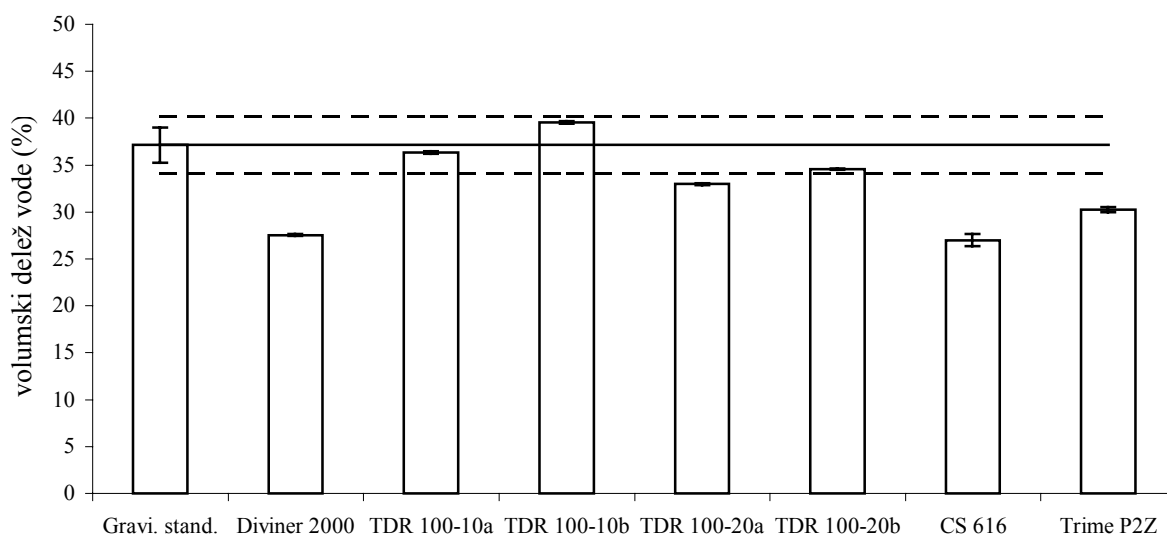
Slika 13: Povprečni volumski deleži vode v tleh z označenim standardnim odklonom (vol. %) v vzorcu tal iz Snežne jame v četrtem sklopu meritev. Podatkov za sondo Trime P2Z ni na razpolago. Za podrobno razlago grafikona glej sliko 10.

V petem sklopu meritev količine vode v tleh iz Snežne jame je bila vrednost le-te po gravimetrični metodi 22,3 vol. % s standardnim odklonom $\pm 1,07$ vol. %. Meritve s sondo CS 616 so se izkazale kot najboljše, saj so od standarda odstopale le za 0,5 vol. %. Standardu sta se zelo približali tudi napravi TDR 100-10a in TDR 100-10b, saj odstopata za 1,6 vol. % in 1,4 vol. %. Kot najmanj natančne meritve so se izkazale tiste s sondo Trime P2Z (8,1 vol. %). Standardni odklon od povprečja je bil pri večini naprav zanemarljivo majhen. Izjema je le TDR 100-10a z vrednostjo $\pm 0,79$ (slika 14). Natančnejši podatki so prikazani v prilogah A – H.



Slika 14: Povprečni volumski deleži vode v tleh z označenim standardnim odklonom (vol. %) v vzorcu tal iz Snežne jame v petem sklopu meritev. Za podrobno razlago grafikona glej sliko 10.

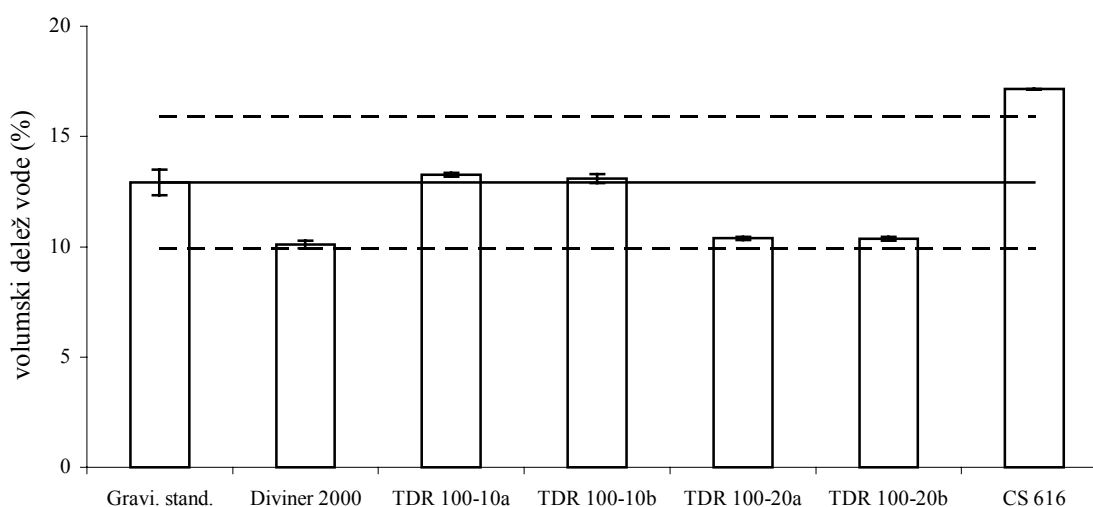
V šestem sklopu meritev količine vode v tleh iz Snežne jame je bila vrednost le-te po gravimetrični metodi 37,1 vol. % s standardnim odklonom $\pm 1,87$ vol. %. Meritve z Diviner 2000 so tokrat pristale na zadnjem mestu, z 9,6 vol. % nižjo vrednostjo od vrednosti določene z gravimetrično metodo. Natančneje smo vsebnost vode določili s TDR 100-10a, ki je odstopal za 0,8 vol. %. Standardni odklon od povprečja je bil pri večini naprav zanemarljivo majhen (slika 15). Natančnejši podatki so prikazani v prilogah A – H.



Slika 15: Povprečni volumski deleži vode v tleh z označenim standardnim odklonom (vol. %) v vzorcu tal iz Snežne jame v šestem sklopu meritev. Za podrobno razlago grafikona glej sliko 10.

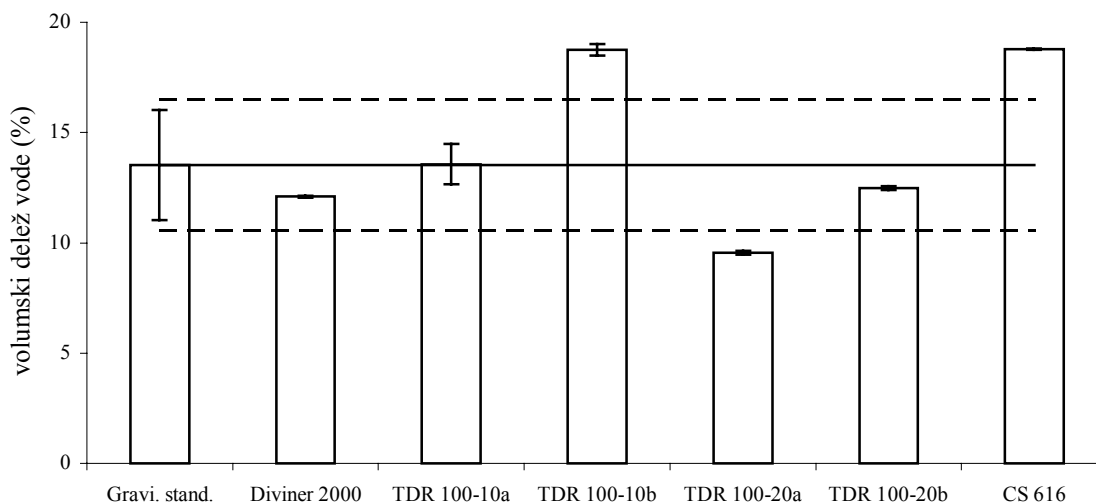
4.2 VOLUMSKI DELEŽ VODE V TLEH IZ DOLINE REKE DRAGONJE

V prvem sklopu meritev vode v tleh iz doline reke Dragonje je bila vrednost le-te po gravimetrični metodi 12,9 vol. % s standardnim odklonom $\pm 0,59$ vol. %. Gravimetričnemu povprečju sta se najbolj približali TDR 100-10b (0,2 vol. %) in TDR 100-10a (0,3 vol. %). Najbolj nenatančne so se izkazale meritve s sondo CS 616, saj so presegle vrednost standarda za 6,2 vol. %. Standardni odklon od povprečja je bil pri večini naprav zanemarljivo majhen (slika 16). Natančnejši podatki so prikazani v prilogah A – H.



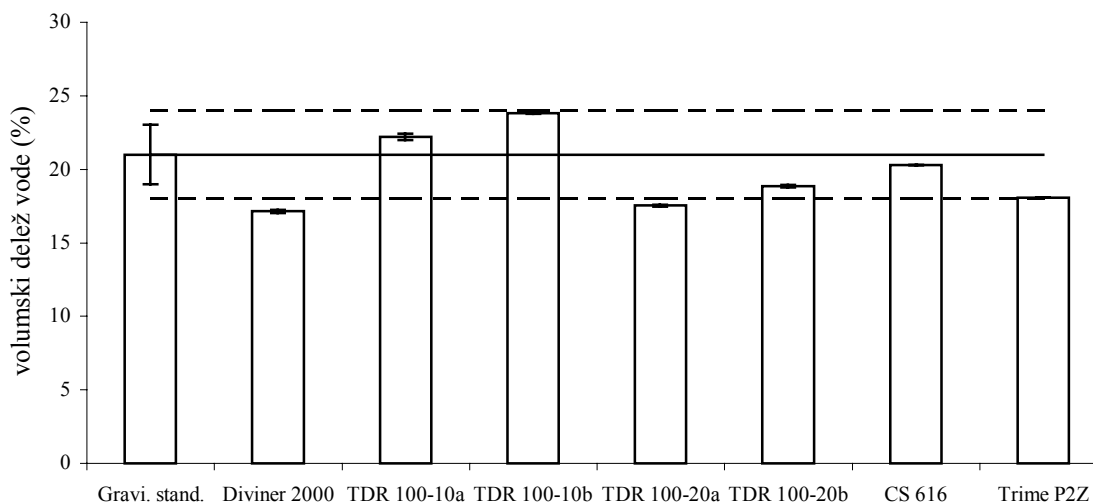
Slika 16: Povprečni volumski deleži vode v tleh z označenim standardnim odklonom (vol. %) v vzorcu tal iz doline reke Dragonje v prvem sklopu meritev. Podatkov za sondo Trime P2Z ni na razpolago. Za podrobno razlago grafikona glej sliko 10.

V drugem sklopu meritev količine vode v tleh iz doline reke Dragonje je bila vrednost le-te po gravimetrični metodi 13,5 vol. % s standardnim odklonom $\pm 2,49$ vol. %. Meritve s TDR 100-10a niso odstopale od povprečja vode v tleh, določenega z gravimetrično metodo. Sonda CS 616 in TDR 100-10b sta imeli podobna odstopanja, zaporedoma 5,2 vol. % in 5,3 vol. %. Standardni odklon od povprečja je bil pri večini naprav zanemarljivo majhen. Izjema je le TDR 100-10a z vrednostjo $\pm 0,91$ (slika 17). Natančnejši podatki so prikazani v prilogah A – H.



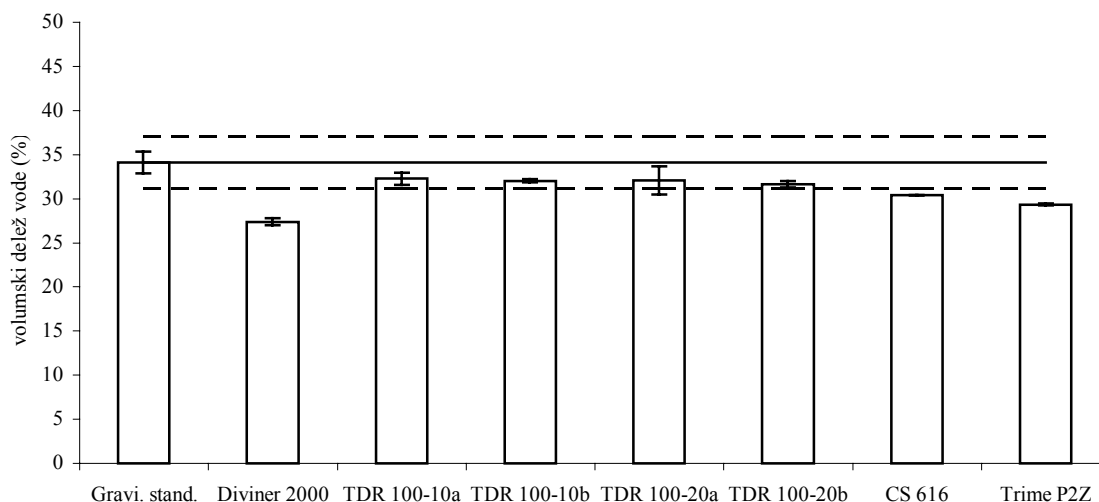
Slika 17: Povprečni volumski deleži vode v tleh z označenim standardnim odklonom (vol. %) v vzorcu tal iz doline reke Dragonje v drugem sklopu meritev. Podatkov za sondo Trime P2Z ni na razpolago. Za podrobno razlago grafikona glej sliko 10.

V tretjem sklopu meritev količine vode v tleh iz doline reke Dragonje je bila vrednost le-te po gravimetrični metodi 21 vol. % s standardnim odklonom $\pm 2,03$ vol. %. Sonda CS 616 je pokazala najnatančnejše meritve s samo 0,3 vol. % odstopanjem od standarda. Prav tako, se je kot natančna, izkazala naprava TDR 100-10a (1,2 vol. %). Diviner 2000 je s 3,9 vol. % med vsemi napravami najbolj odstopal. Standardni odklon od povprečja je bil pri večini naprav zanemarljivo majhen (slika 18). Natančnejši podatki so prikazani v prilogah A – H.



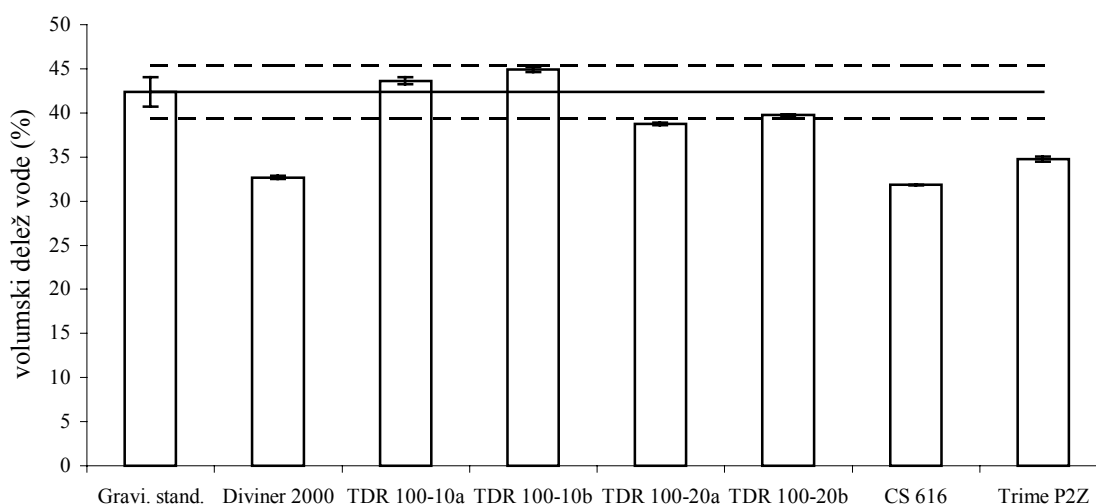
Slika 18: Povprečni volumski deleži vode v tleh z označenim standardnim odklonom (vol. %) v vzorcu tal iz doline reke Dragonje v tretjem sklopu meritev. Za podrobno razlago grafikona glej sliko 10.

V četrtem sklopu meritev količine vode v tleh iz doline reke Dragonje je bila vrednost le-te po gravimetrični metodi 34,1 vol. % s standardnim odklonom $\pm 1,25$ vol. %. Vse naprave so pokazale nižjo vrednost od gravimetričnega povprečja. TDR 100-10a (1,8 vol. %), TDR 100-10b (2,8 vol. %) in TDR 100-20a (2 vol. %) so izmerile dokaj podobne vrednosti vsebnosti vode. Največje odstopanje smo ugotovili pri meritvah z Diviner 2000 (6,7 vol. %). Standardni odklon od povprečja je bil pri večini naprav zanemarljivo majhen. Izjema je le TDR 100-20a z vrednostjo $\pm 1,61$ (slika 19). Natančnejši podatki so prikazani v prilogah A – H.



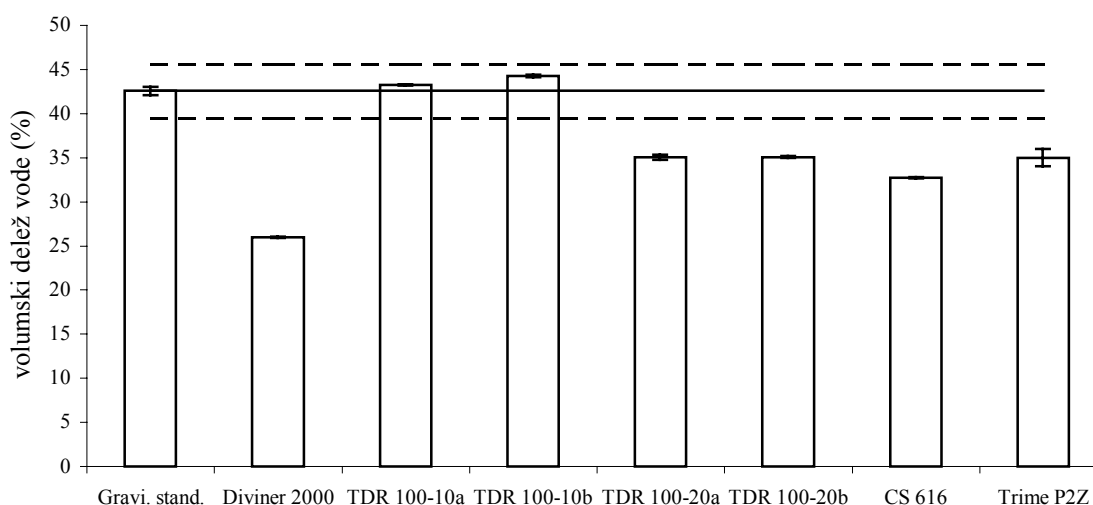
Slika 19: Povprečni volumski deleži vode v tleh z označenim standardnim odklonom (vol. %) v vzorcu tal iz doline reke Dragonje v četrtem sklopu meritev. Za podrobno razlago grafikona glej sliko 10.

V petem sklopu meritev vode v tleh iz doline reke Dragonje je bila vrednost le-te po gravimetrični metodi 42,4 vol. % s standardnim odklonom $\pm 1,65$ vol. %. Naprava TDR 100-10a in TDR 100-10b sta se najbolj približali vrednosti standarda. TDR 100-10a je od njega odstopal za 1,3 vol. %. Najmanj zanesljivi so bili podatki za meritve s sondo CS 616 z razliko kar 10,6 vol. %. Standardni odklon od povprečja je bil pri večini naprav zanemarljivo majhen (slika 20). Natančnejši podatki so prikazani v prilogah A – H.



Slika 20: Povprečni volumski deleži vode v tleh z označenim standardnim odklonom (vol. %) v vzorcu tal iz doline reke Dragonje v petem sklopu meritev. Za podrobno razlago grafikona glej sliko 10.

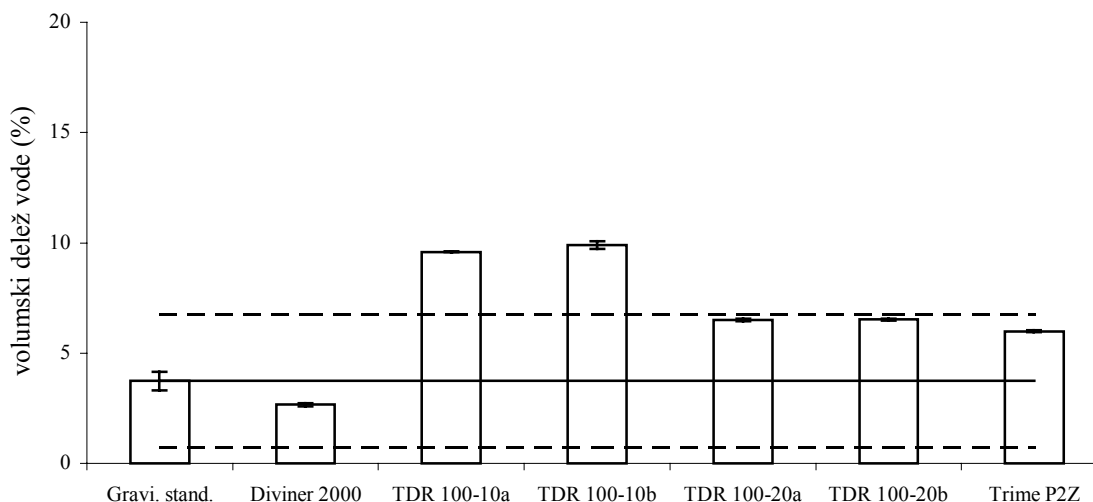
V šestem sklopu meritev količine vode v tleh iz doline reke Dragonje je bila vrednost le-te po gravimetrični metodi 42,6 vol. % s standardnim odklonom $\pm 0,45$ vol. %. Kot zelo natančni sta se izkazali TDR 100-10a in TDR 100-10b, ki od standarda odstopata za 0,7 vol. % in 1,7 vol. %. Daleč najmanj natančne meritve smo dosegli z Diviner 2000 (16,6 vol. %). Standardni odklon od povprečja je bil pri večini naprav zanemarljivo majhen. Izjema je le sonda Trime P2Z z vrednostjo $\pm 0,97$ (slika 21). Natančnejši podatki so prikazani v prilogah A – H.



Slika 21: Povprečni volumski deleži vode v tleh z označenim standardnim odklonom (vol. %) v vzorcu tal iz doline reke Dragonje v šestem sklopu meritev. Za podrobno razlago grafikona glej sliko 10.

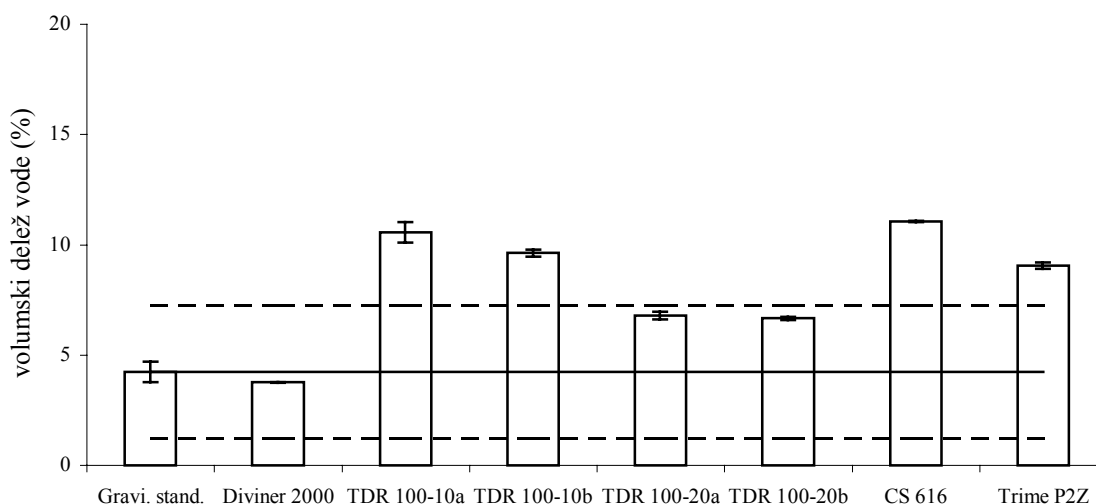
4.3 VOLUMSKI DELEŽ VODE V MIVKI

V prvem sklopu meritev količine vode v mivki je bila vrednost le-te po gravimetrični metodi 3,7 vol. % s standardnim odklonom $\pm 0,41$ vol. %. Najbolj natančen je z razliko 1,1 vol. % bil Diviner 2000, medtem ko sta se najslabše odrezali TDR 100-10a (5,9 vol. %) in TDR 100-10b (6,2 vol. %). Standardni odklon od povprečja je bil pri večini naprav zanemarljivo majhen (slika 22). Natančnejši podatki so prikazani v prilogah A – H.



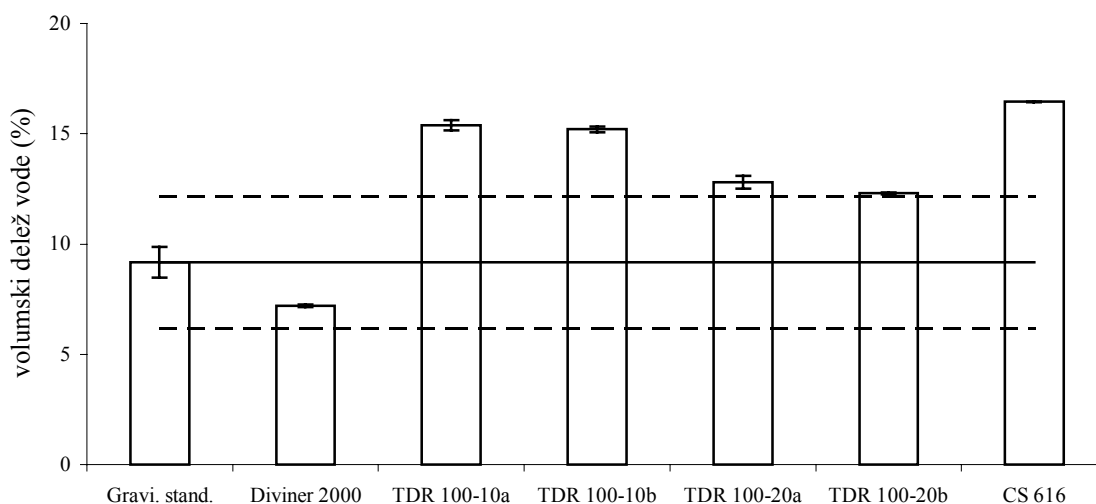
Slika 22: Povprečni volumski deleži vode v mivki z označenim standardnim odklonom (vol. %) v prvem sklopu meritev. Podatkov za sondo CS 616 ni na razpolago. Za podrobno razlago grafikona glej sliko 10.

V drugem sklopu meritev količine vode v mivki je bila vrednost le-te po gravimetrični metodi 4,2 vol. % s standardnim odklonom $\pm 0,46$ vol. %. Ponovno sta se najslabše odrezali TDR 100-10a (6,6 vol. %) in TDR 100-10b (6,3 vol. %). Diviner 2000 je z razliko 0,5 vol. % pristal najbližje vrednosti, ki smo jo izmerili z gravimetrično metodo. Standardni odklon od povprečja je bil pri večini naprav zanemarljivo majhen. Izjema je le sonda TDR 100-10a z vrednostjo $\pm 0,47$ (slika 23). Natančnejši podatki so prikazani v prilogah A – H.



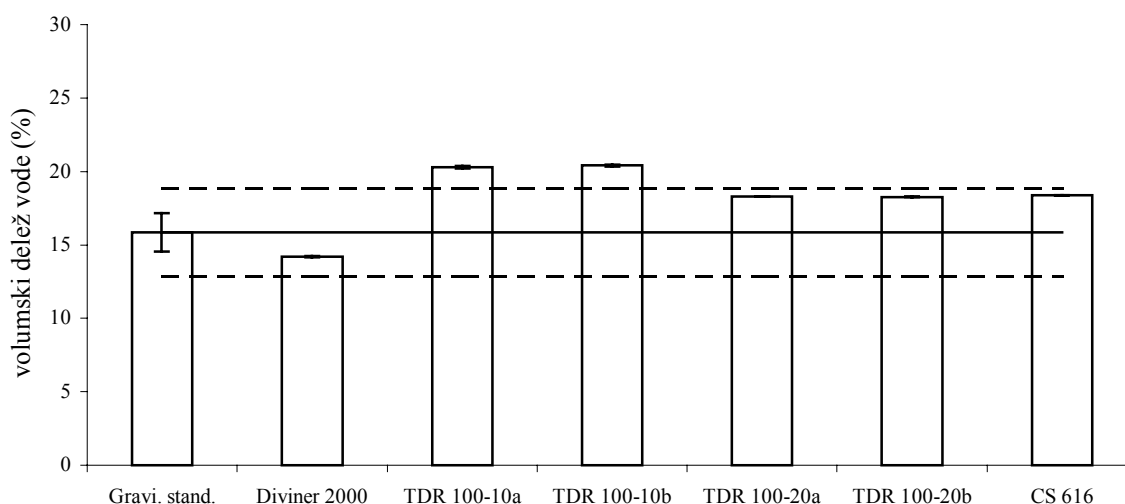
Slika 23: Povprečni volumski deleži vode v mivki z označenim standardnim odklonom (vol. %) v drugem sklopu meritev. Za podrobno razlago grafikona glej sliko 10.

V tretjem sklopu meritev količine vode v mivki je bila vrednost le-te po gravimetrični metodi 9,2 vol. % s standardnim odklonom $\pm 0,70$ vol. %. Tudi tokrat se je najboljše izkazal Diviner 2000 z 2 vol. % nižjo vrednostjo v primerjavi s standardom. Najmanj natančne vrednosti smo pridobili s sondo CS 616 (7,3 vol. %). Standardni odklon od povprečja je bil pri večini naprav zanemarljivo majhen (slika 24). Natančnejši podatki so prikazani v prilogah A – H.



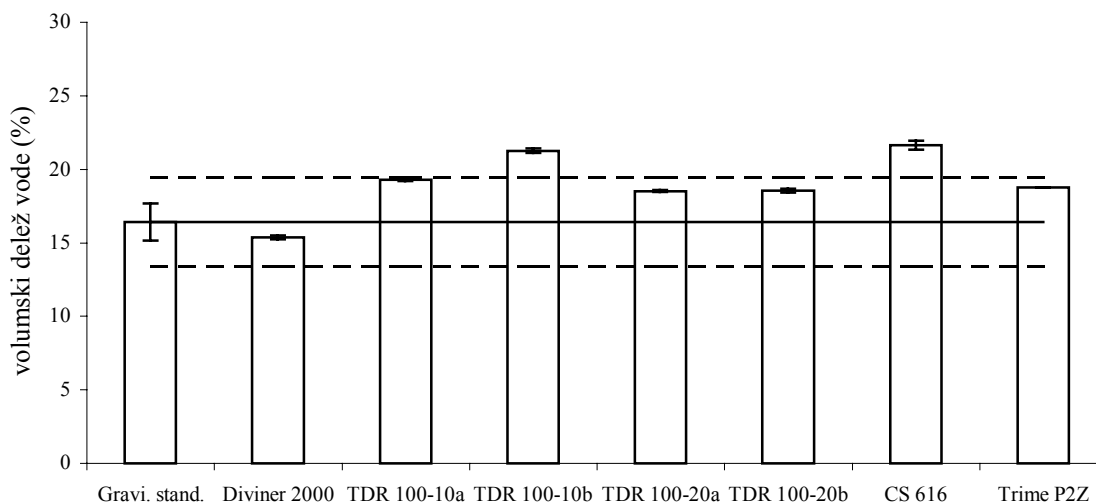
Slika 24: Povprečni volumski deleži vode v mivki z označenim standardnim odklonom (vol. %) v tretjem sklopu meritev. Podatkov za sondo Trime P2Z ni na razpolago. Za podrobno razlago grafikona glej sliko 10.

V četrtem sklopu meritev količine vode v mivki je bila vrednost le-te po gravimetrični metodi 15,9 vol. % s standardnim odklonom $\pm 1,32$ vol. %. TDR 100-10a (4,5 vol. %) in TDR 100-10b (4,6 vol. %) sta izmerili največjo odstopanje od standarda, nasprotno se je slednjemu najbolj približal Diviner 2000 (1,7 vol. %). Standardni odklon od povprečja je bil pri večini naprav zanemarljivo majhen (slika 25). Natančnejši podatki so prikazani v prilogah A – H.



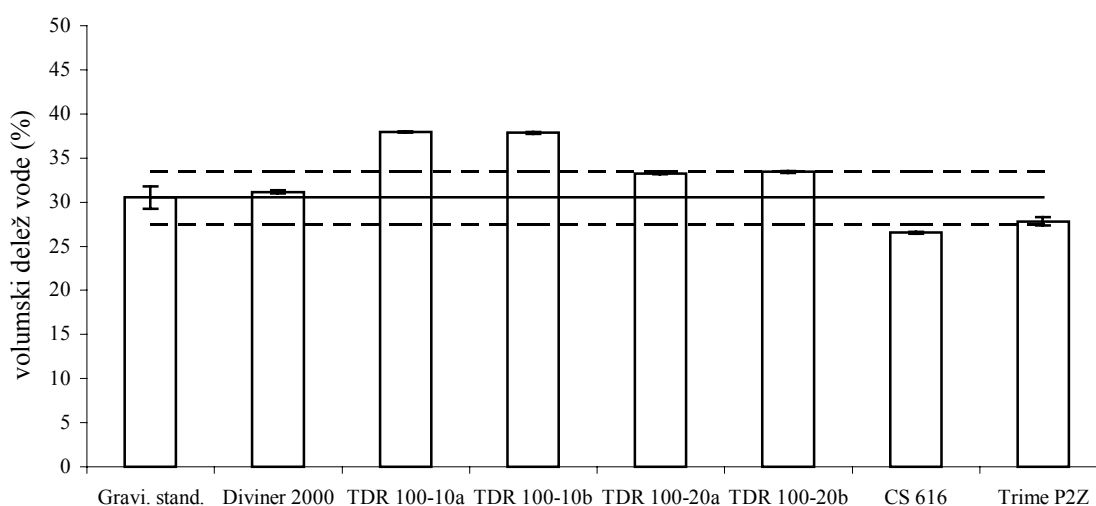
Slika 25: Povprečni volumski deleži vode v mivki z označenim standardnim odklonom (vol. %) v četrtem sklopu meritev. Podatkov za sondo Trime P2Z ni na razpolago. Za podrobno razlago grafikona glej sliko 10.

V petem sklopu meritev količine vode v mivki je bila vrednost le-te po gravimetrični metodi 16,4 vol. % s standardnim odklonom $\pm 1,26$ vol. %. Ponovno je bil najboljši Diviner 2000 z odstopanjem 1,5 vol. %. TDR 100-10a je bil z razliko 5,2 vol. % najslabši. Standardni odklon od povprečja je bil pri večini naprav zanemarljivo majhen (slika 26). Natančnejši podatki so prikazani v prilogah A – H.



Slika 26: Povprečni volumski deleži vode v mivki z označenim standardnim odklonom (vol. %) v petem sklopu meritev. Za podrobno razlago grafikona glej sliko 10.

V šestem sklopu meritev količine vode v mivki je bila vrednost le-te po gravimetrični metodi 30,5 vol. % s standardnim odklonom $\pm 1,26$ vol. %. Diviner 2000 je presegel standard le za 0,6 vol. % vode. TDR 100-10a in TDR 100-10b sta po rezultatih podobno odstopala, in sicer 7,4 ter 7,3 vol. % vode. Standardni odklon od povprečja je bil pri večini naprav zanemarljivo majhen (slika 27). Natančnejši podatki so prikazani v prilogah A – H.



Slika 27: Povprečni volumski deleži vode v mivki z označenim standardnim odklonom (vol. %) v šestem sklopu meritev. Za podrobno razlago grafikona glej sliko 10.

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

Širok pomen vode za tla je za številna področja agronomskih raziskav pomemben parameter. V zadnjih letih prihajajo vedno bolj v ospredje naprave za posredno merjenje vsebnosti vode v tleh, ki imajo določene prednosti pred neposrednimi. Proizvajalci zagotavljajo za svoje naprave učinkovito delovanje že z programirano univerzalno kalibracijo v poroznih medijih.

V literaturi se pojavljajo primerjave dveh do največ treh naprav (Evelt, 2001) v povezavi z gravimetričnim standardom. Večinoma pa so takšni preizkusi podvrženi subjektivnim interesom proizvajalcev. Tako so bile v naši raziskavi vključene naprave različnih proizvajalcev, na podlagi dveh osnovnih principov delovanja, TDR in FD. Vse naprave imajo programirano univerzalno kalibracijo, katere nismo spreminjali, ker smo želeli ugotoviti, kako se obnašajo v različnih tleh. Hkrati nas je zanimalo, katere naprave so najbolj natančne oz. so se najbolj približe podatkom pridobljenih z gravimetrično metodo, upoštevajoč dejstvo, da so vse naprave uporabljale nespecifično talno kalibracijo.

5.1 IZVEDBA POSKUSA

Pri izvedbi meritev smo naleteli na nekaj težav, ki so vplivale na njihov potek. Težave so se pojavile še preden smo vzorce tal pripravili na meritve in so nas spremljale vse do konca.

Oba vzorca tal sta bila zelo grudičasta in predvsem različno omočena. Vzorec iz doline reke Dragonje je bil zelo močno izsušen in v močni kompaktni grudičasti strukturi. Tla iz Snežne jame so bila zelo močno navlažena in so se zato sprijemala in blatila. Zaradi tega smo jih sušili na raztegnjeni PVC foliji in jih večkrat na dan premešali z grabljami, da so se enakomerno sušila. Kot vir energije za sušenje smo izkoristili visoko dnevno temperaturo v rastlinjaku. Pred začetkom meritev smo oba vzorca tal v terilnici pod pritiskom zdrobili na manjše delce ter jih nato presejali skozi sito. S tem smo ločili skelet in večje organske ostanke, kar je privedlo do lažje in učinkovitejše zgostitve, vstavljanja sond in jemanja vzorcev s Kopeckijevimi cilindri. Posledično smo zmanjšali tudi delež talnih makropor, napolnjenih z zrakom, saj bi le-te v okolici sond prispevale k slabšim meritvam, zaradi električne prevodnosti oz. upornosti, ki se v zraku bistveno razlikuje od tiste v vodi.

Prvotno smo se odločili za istočasno uporabo vseh naprav v posameznem zaboju, kar se je izkazalo kot neproduktivno, vendar bi s tem dobili najbolj primerljive rezultate. Prostorska tesnost med sondami je botrovala medsebojnim motnjam (interferencam) pri meritvah. V priloženih navodilih za uporabo se navaja priporočena najmanjša medsebojna razdalja med sondama CS 616 vsaj 22,86 cm pri hkratnih meritvah. Za Diviner 2000 je potrebno upoštevati razdaljo 10 cm od sond ostalih naprav. Za preostale naprave pa proizvajalci ne

navajajo najmanjše razdalje med sondami. Zaradi interferenc smo se zato odločili, da bomo meritve opravljali z vsako napravo posebej v izbranem talnem vzorcu.

Različna geometrija sond nas je privedla do uporabe specifičnih tehničnih določil pri njihovi namestitvi. TDR 100 je imel 10 in 20 cm dolge sonde, kar nam je omogočalo nameščanje navpično v zaboje. Trime P2Z je imel 16 cm dolge sonde in prav tako ni bilo težav pri njihovi namestitvi. Sondo CS 616 je bilo zaradi dolžine 30 cm nemogoče namestiti navpično, zaradi enake globine zaboja, kajti konice elektrod bi se stikale z dnom zaboja, kar bi onemogočalo potek meritev. Tako smo jih v skladu z navodili proizvajalca namestili pod kotom 45° in si s tem zagotovili merjenje vsebnost vode v zgornjem 20 cm sloju tal. PVC cev za sondo Diviner 2000 smo nameščali že pri zgoščevanju tal, da bi dosegli popoln stik s tlemi. Tako smo se izognili vrtanju luknje s priloženim svedrom, kar bi bistveno poslabšalo stik s tlemi in podaljšalo nameščanje cevi. S tem smo si zagotovili zmanjšanje deleža zračnih mehurčkov v okolici cevi in tako boljše rezultate.

Pri izvajanju meritev je bil vrhni sloj zemlje v zaboju pokrit s PVC folijo, da smo v čim večji meri omilili evaporacijo, ki je bila prisotna zaradi doseženih visokih temperatur v rastlinjaku (do 25°C). Če bi pustili vrh zaboja nezaščiten, bi se stanje navlaženosti v zgornjih nekaj centimetrih bistveno spremenilo v primerjavi s spodnjimi plastmi. Temu smo se želeli izogniti, saj so meritve potekale več dni zaporedoma. Pri jemanju vzorcev s Kopeckijevimi cilindri na površini tal, bi s tem dosegli nižje vrednosti od dejanskih.

Homogenizacija je privedla do različne zgotovitve talnih vzorcev. Povprečje zgotovitve je za Snežno jamo $1,02\text{ g/cm}^3$, dolino Dragonje $1,08\text{ g/cm}^3$ in mivko $1,37\text{ g/cm}^3$. Po podatkih iz literature (Hillel, 1998) se večinoma vrednost za gostoto tal giblje od $1,15$ do $1,55\text{ g/cm}^3$. Nizka gostota pa je tudi vzrok za večjo poroznost medija. To nihanje je lahko posledica rušenja in presajanja prvotne oblike vzorca tal. Sama teža telesa, cca. 70 kg, ni bila zadostna, da bi v zaboju dosegli povprečno vrednost za neporušen vzorec. Predvidevamo, da bi daljše obdobje stiskanja z večjo obtežitveno težo pripomoglo k boljši zgotitvi vzorcev tal.

Vzorčenje tal je potekalo v mesecu novembru in takrat so bila tla že nekoliko zamrznjena in sprijeta, kar je vplivalo na velikost vzorca in posledično tudi na velikost zabojev. Večjo količino talnih vzorcev bi si zagotovili, če bi vzorčenje potekalo mesec prej ali v pomladnih mesecih. V teh obdobjih bi imeli ugodnejše pogoje za reprezentativno vzorčenje. Dodatno bi bilo potrebno preučiti razmere, v katerih je potekal poskus (vlažnost, zračenje, ustreznost folije kot nosilca tal, itd.), da bi jih lahko primerjali z razmerami na prostem, za katere so načeloma naprave izdelane, saj so bolj namenjene praktični uporabi na polju kot pa v laboratoriju. V naših pogojih tako ni bilo prisotne neenakomerne talne sestave, skeleta, večjih organskih ostankov, itd., ker smo želeli imeti pogoje brez zunanjih okoljskih dejavnikov (motenj).

5.2 PRIMERJAVA NAPRAV ZA MERJENJE KOLIČINE VODE V TLEH

Odgovora na vprašanje, katera naprava je najbolj natančna, ne moremo kar takoj posredovati. Za vse termine meritev nismo imeli na razpolago vseh naprav. V prvih dveh terminih nismo mogli izvajati meritev s sondo Trime P2Z, zaradi programske neskladnosti z matičnim merilcem, vendar smo napako naknadno uspeli odpraviti. Uporabljali smo univerzalno kalibracijo, kajti zanimalo nas je, kako natančno bomo določili vsebnost vode v vzorcu tal, brez specifične kalibracije. Znano je, da je le-ta priporočljiva v primeru, če tla vsebujejo velik delež organske snovi, gline, grobega peska ali soli, ker te komponente povzročajo elektromagnetne motnje ter določene spremembe v razmerju dielektrične konstante tal in s tem vplivajo na natančnost meritev (Topp in Ferré, 2002). V osnovi smo preučevali gozdna tla z visokim deležem organske snovi, saj so povprečno tla iz Dragonje imela 3,06 % in iz Snežne jame 3,54 % organske snovi do globine 40 cm (prilogi I in J). Hkrati so tla iz doline reke Dragonje imela zelo velik delež gline, kar smo ugotovili s prstnim poskusom.

Poleg kalibracije je zelo pomemben dejavnik ustrezno vstavljanje sond in PVC cevi v medij. Če vstavljamo TDR sonde pravokotno v tla je večja nevarnost, da v njih povzročimo razpoke in s tem nabiranje zračnih mehurčkov v okolici sond in cevi (Topp in Ferré, 2002). Mehurčki lahko nastanejo tudi med sušenjem tal, ko ta pokajo (Hillel, 1998). Zaradi tega je bolje, če jih postavimo pod kotom 45°, vendar moramo v tem primeru imeti daljše sonde. Hkrati je zelo težko določiti točno določen kot vstavljanja. Sonde lahko postavimo tudi vzporedno s tlemi, če izkopljemo luknjo v talni profil in jih razporedimo na enakomerne intervale, s čemer lahko merimo fronto vlažnosti. V ta namen so zaradi robustnosti najbolj priporočljive sonde Trime P2Z. Za čim lažjo namestitve naj bi bile elektrode čim ožje, vendar je njihova slabost v slabi mehnični trdnosti (Topp in Ferré, 2002). FD je zelo občutljiv na zračne mehurčke in za dobre rezultate je zelo pomembna namestitve cevi s čim boljšim stikom s tlemi in najmanjšimi motnjami za tla, kar lahko vodi do spremembe njihove strukture in gostote. Gardner in sod. (1991, cit. po Starr in Paltineanu, 2002) navajajo, da v primeru pravilne namestitve, tako da ne pride do zračnih mehurčkov po dolžini cevi, lahko take sonde posredujejo zelo natančne rezultate. Poleg tega navajajo, da je vpliv temperature na meritve v območju od 10 do 30 °C zanemarljiv.

V primeru primerjave rezultatov meritev količine vode v tleh s posrednimi metodami v primerjavi z gravimetrično je zelo pomembno, da zaradi variabilnosti okolja upoštevamo toleranco ± 3 vol. %. Ta toleranca pomeni, da naprave, ki dajejo rezultate o količini vode v tleh v intervalu ± 3 vol. % okoli povprečnega rezultata, dobljenega z gravimetrično metodo, ocenimo kot dobre. To je med drugim tudi mejna toleranca za meritve s tovrstnimi napravami v večini talnih tipov (Topp in Devis, 1985, cit. po Topp in Ferré, 2002), ki smo jo upoštevali pri interpretaciji povprečnih rezultatov posameznih naprav za vse talne vzorce. Hkrati nam je to dopustno odstopanje služilo tudi kot merilo za rangiranje natančnosti in verodostojnosti naprav.

Pri meritvah vzorca tal iz Snežne jame se je boljše od FD metode izkazala naprava TDR 100 z 10 cm dolgimi sondami, kjer smo določili širši interval meritve v primerjavi s priporočili proizvajalca. To opozarja na pomen primerne določitve intervala za posamezen tip tal. Kljub pomenu interpretacije grafa odbojnega signala TDR sonde, smo v literaturi zasledili zelo malo raziskav opravljenih na to temo. Evett in Ruthardt (2001) navajata, da je še posebej pomembna interpretacija oblike grafa in določitve območja meritev. Za določitev intervala smo si pomagali s presečiščem tangent na grafu, ki naj bi najboljše ponazarjale začetni in končni odboj impulza. Dejansko se je pri tem vzorcu tal izkazalo, da je za doseganje natančnejših podatkov potrebno nekoliko razširiti območje interpretacije grafa, kar je v nasprotju s priporočili proizvajalca (slika 7). Preden smo določili območje interpretacije smo morali opraviti več testnih meritev in primerjav. Menimo, da je k natančnosti pripomoglo tudi dejstvo, da lahko sami določimo interval meritve. To ne velja za sonde CS 616 in Trime P2Z, kjer je interpretacija podatkov avtomatska. Dodatno menimo še, da je v skladu z navedbami Noboria (2001) 10 cm različica sond TDR 100, zaradi oblike, dolžine in razmika med elektrodama, bolj prilagojena za meritve v tovrstnem vzorcu. Najslabše se je izkazal Diviner 2000, ki je v vseh območjih vsebnosti vode v tleh prikazal najmanjše vrednosti. Za doseg natančnejših rezultatov bi bilo nujno izvesti specifično kalibracijo, vendar pa je iz rezultatov razvidno, da je za spremljanje naraščanja vlažnosti dovolj dobra univerzalna kalibracija proizvajalca (Starr in Paltineanu, 2002).

Naprava TDR 100 z 10 cm dolgimi sondami in ožjim merilnim intervalom se je izkazala kot najboljša tudi v talnem vzorcu iz doline reke Dragonje, ki je med drugim vseboval tudi velik delež gline. Menimo, da so vzroki podobni tistim, ugotovljenim za tla iz Snežne jame (visok delež organske snovi), vendar z razliko, da se je v tem primeru priporočilo proizvajalca o obsegu merilnega intervala izkazalo za primernejše od razširjenega. Najslabše se je izkazal Diviner 2000 in s tem potrdil raziskave opravljene s strani Dirksena in Hilhorsta (1994), ki sta ugotovila, da pri meritvah v različno navlaženih glinenih tleh FD metoda kaže slabše rezultate od sonde Trime P2Z v primerjavi z gravimetričnim standardom. Pri FD metodi se priporoča specifična kalibracija, ker je njihova delovna frekvenca večinoma pod 100 MHz. Pri tej frekvenci se lahko spremeni dielektrična konstanta talnih delcev in je s tam ocena vsebnosti vode v tleh bolj pod vplivom gostote tal, slanosti, deleža gline in organske snovi ter nenazadnje temperature tal (Starr in Paltineanu, 2002).

Vsebnost vode smo poleg v tleh, merili tudi v znanem poroznem mediju, mivki. Takšno odločitev smo sprejeli po pregledu literature, kjer Noborio (2001) navaja, da so uporabljene naprave namenjene merjenju vsebnosti vode v poroznih medijih, torej ne samo v tleh. Mivka nam je služila tudi kot kontrola za delovanje naprav. Pri vseh meritvah se je kot najboljša naprava izkazal Diviner 2000. Predvidevamo, da je na to vplivalo več različnih razlogov, med drugim tudi to, da mivka ne vsebuje "motečih" talnih komponent (organska snov, vsebnost gline in soli, itd.), ki bi omejevale njeno natančnost. Hkrati je zagotavljala najboljši stik s PVC cevjo, zaradi zelo drobnih in finih delcev, ki so v največji meri zmanjšali pojav zračnih mehurčkov, kar je poglavitno za uspeh meritev s to napravo.

Vpliv sprotnega nameščanja cevi med postopkom homogenizacije se je izkazal kot najbolj učinkovit prav pri tem mediju. Najslabše se je izkazala sonda CS 616, ki je večinoma merila večje vrednosti od vrednosti dobljenih z gravimetrično metodo, kar je bilo še posebej izrazito pri manjših vsebnostih vode. Potemtakem je zanimivo, da je prav slednja prikazala najmanjšo izmerjeno vrednost pri največjem doseženem deležu vode v mivki, kar je najverjetneje posledica manjše dovzetnosti standardne kalibracije za tovrstni medij.

Pri praktični uporabi naprav smo med njimi zaznali razlike v dejanskem delovanju in opravljanju meritev. O prednostih in slabostih ne bi mogli govoriti, vendar je vseeno nujno izpostaviti določena spoznanja. Če začnemo pri TDR 100, lahko povemo, da je določanje območja meritev v navodilih za uporabo predstavljeno v nezadovoljivem obsegu, saj je uporabnik prisiljen v pregled dodatne literature, če želi dejansko razumeti in izkoristiti potencial naprave. Poleg tega je pri vstavljanju elektrod z vodili, zelo težko doseči njihovo priporočeno vzporednost, še posebej pri daljših različicah sond. Zaradi analize grafov so bile meritve s to napravo najbolj zamudne. Pri interpretaciji grafov se lahko pripeti, da so ti v določenih primerih nerazpoznavni oz. ne moremo iz njih določiti vsebnosti vode zaradi razpršenega signala, čeprav se to v našem primeru ni nikoli zgodilo. Sonde CS 616 in Trime P2Z bomo obravnavali skupaj zaradi podobnosti njunega principa delovanja. Pri vstavljanju sond nismo pri nobenem mediju ali različni vsebnosti vode imeli večjih težav. Sonda Trime P2Z je bila zaradi togosti in debeline elektrod najmanj problematična za nameščanje, kjer je eden od glavnih poudarkov vzporedna namestitvev elektrod. Iz tega lahko sklepamo, da je za meritve na polju to dejanska prednost pred CS 616. Obe sondi sta bili priklopljeni na shranjevalnik podatkov CR23X. Za programiranje slednjega je potrebno veliko predhodnega znanja in poznavanja podobnih naprav. Diviner 2000 je meritve opravil v kratkem časovnem obdobju in z zelo dobro resolucijo. Nekoliko je sicer okoren za prenašanje, zaradi dolžine 180 cm, po drugi strani pa je ta dolžina prednost, če želimo na polju izvajati meritve do globine 160 cm.

V zadnjih letih je bil napredek pri razvoju TDR in FD metod zelo velik, tako da imamo danes svobodo pri izbiri primerne naprave za naše potrebe. Odločitev naj bi načeloma temeljila na zahtevah posameznika.

5.3 SKLEPI

Naša primerjava različnih naprav za posredno merjenje volumskega deleža vode v tleh je potrdila, da na meritve naprav vplivajo različni dejavniki, kot so: vrsta medija in njegova vsebnost vode, vsebnost organske snovi in gline, gostota, stik medija s sondami ter univerzalna kalibracija določene naprave.

Z našim poskusom smo prišli do ugotovitve, da je smotrno izbrati napravo glede na namen in predvsem ciljno okolje uporabe. S spreminjanjem lastnosti medija se spreminja tudi natančnost meritev vsebnosti vode v njem. Splošno smo ugotovili, da se je TDR 100 zaradi

neavtomatskega (ročnega) določanja intervala meritev izkazal kot najboljša naprava v gozdnih tleh iz Kočevskega Roga in iz doline reke Dragonje. Sondi CS 616 in Trime P2Z sta izmerili slabše rezultate zaradi nezmožnosti interpretacije grafa odbojev TDR metode, saj so naprave izmerjene parametre avtomatsko spreminjale v volumski delež vode preko univerzalne kalibracije proizvajalca opreme. Diviner 2000 se je izkazal kot najslabša naprava za merjenje vode v talnih vzorcih. Nasprotno je, zaradi učinkovitega stika PVC cevi z medijem, v mivki prikazal najboljše rezultate.

V nalogi smo delno potrdili hipotezo, da naprave z univerzalno talno kalibracijo, ki služijo za merjenje količine vode v tleh, kažejo v enakem talnem okolju med seboj primerljive rezultate in da se ti približujejo rezultatom, dobljenim po gravimetrični metodi znotraj dopustnega intervala, ki po literaturi znaša ± 3 vol. %. V prihodnje bi bilo koristno preučevati obnašanje naprav v odvisnosti od posameznih dejavnikov v še bolj nadzorovanih pogojih poskusa.

6 POVZETEK

Gravimetrična metoda je splošno uporabljena kot standard za ostale neposredne metode, vendar ni primerna za rutinska merjenja, ker je zamudna in predvsem destruktivna za vzorčena tla. V zadnjem desetletju so elektromagnetne metode postale zelo priljubljene za določanje in nadzorovanje vsebnosti vode v tleh. V ta namen obstaja veliko naprav, ki temeljijo na različnih principih delovanja. Osredotočili smo se na Time Domain Reflectometry in Frequency Domain. S TDR je dejanska dielektrična konstanta tal izpeljana preko merjenja hitrosti širjenja elektromagnetnega impulza, ki potuje vzdolž sensorja vstavljenega v tla. Pri tem je univerzalna kalibracijska enačba ustrezna za mnoga tla. Medtem ko TDR meri dejansko dielektrično konstanto skozi širok obseg precej visokih frekvenc, se lahko ta meri tudi pri stalni frekvenci, kar imenujemo FD metoda. Pogosto izbira med njima ni preprosta, ker imata obe prednosti in slabosti, ki so lahko odločilne v posameznem okolju

Poskus smo izvajali na talnih vzorcih iz Snežne jame v Kočevskem Rogu in iz Škrlin v dolini reke Dragonje, v katerem smo ugotavljali natančnost in verodostojnost elektromagnetnih naprav za merjenje vsebnosti vode v tleh.

Za poskus smo izbrali gozdna tla, ki so vsebovala zelo veliko organske snovi in glinice, kar sta zelo "moteča" dejavnika pri meritvah z našimi napravami. Vzorčenje tal je potekalo v mesecu novembru. Za meritve smo uporabili štiri naprave za posredno merjenje vsebnosti vode v tleh, in sicer: sonde CS 616 in Trime P2Z, TDR 100 (10 in 20 cm dolge elektrode) ter Diviner 2000. Te smo preizkušali v rastlinjaku, v katerega smo namestili tri zaboje, v katerih smo poleg v gozdnih tleh preizkušali tudi delovanje naprav v mivki. Le-ta naj ne bi vsebovala "motečih" talnih komponent in nam je zato predstavljala kontrolni vzorec. Meritve smo opravili v šestih zaporednih ciklih, in sicer smo izvedli več zaporednih meritev, katere smo ponovili vsak teden pri različni navlaženosti preučevanih medijev. Po vsakem sosledju meritev smo odvzeli gravimetrične vzorce, ki so nam služili kot referenčna vrednost volumskega deleža vode v tleh, s katerim smo primerjali dobljene rezultate. Te smo statistično obdelali in ugotovili obnašanje naprav v različnih razmerah vlažnosti tal in hkrati ocenili njihovo natančnost.

TDR 100 z 10 cm dolgimi elektrodami je v gozdnih tleh, z visoko vsebnostjo organske snovi in glinice, dajal najbolj natančne rezultate glede na povprečja gravimetrične metode. Iz tega sledi, da je v takšnih tleh koristna možnost ročnega določanja intervala meritve, ker lahko interpretiramo graf odbojev, česar sonde CS 616 in Trime P2Z nimata na razpolago. Slabši rezultati slednjih so verjetno posledica prav neposredne pretvorbe izmerjenih časovnih parametrov v volumski delež vode. Dejansko so na natančnost vseh naprav vplivale značilne lastnosti preučevanih tal. Za natančnejše rezultate bi naprave potrebovale specifično kalibracijo, ne pa kot v našem primeru, univerzalno kalibracijo proizvajalca.

V kontrolnem mediju, mivki, se je v nasprotju s predhodnim obnašanjem v gozdih tleh, najbolje izkazal Diviner 2000, ki deluje na osnovi FD metode. V primerjavi z ostalimi TDR napravami je prikazal največjo verodostojnost rezultatov. Očitno je bil vpliv talnih komponent na delovanje FD merilca preveč moteč oz. je manj učinkovit stik PVC cevi s tlemi zmanjševal natančnost.

Zaradi teženj po bolj varčnem in učinkovitem upravljanju z vodo je pričakovati, da bodo raziskave na področju merjenja vsebnosti vode v tleh v prihodnje doprinesle k razvoju vedno bolj zanesljivih in stroškovno dostopnih naprav. Nadaljnje raziskave so sedaj usmerjene k odkrivanju novih tehnik oz. nadgraditvi obstoječih, da se bi izognili nezaželeni zahtevi po talno specifični kalibraciji. V raziskovalne namene se kaže kot obetajoča kombinacija volumskega in tenzijskega *in situ* merjenja pri številnih študijah masnega transporta.

7 VIRI

- Brilly M., Šraj M. 2000. Osnove hidrologije. 2. dopolnjena izdaja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko: 234 str.
- Charbeneau R. J. 2000. Groundwater hydraulics and pollutant transport. New Jersey, Upper Saddle River, Prentice-Hall, Inc.: 593 str.
- CR23X micrologger Overview. 2003. Logan, Campbell Scientific, Inc.: 24 str. (Navodilo za uporabo)
- CS 616 and CS 625 Water Content Reflectometers Instruction Manual. 2003. Logan, Campbell Scientific, Inc.: 38 str. (Navodilo za uporabo)
- Ćirić M. 1986. Pedologija. 2. izdanje. Sarajevo, SOUR "Svjetlost", OOUR Zavod za udžbenike i nastavna sredstva: 311 str.
- Dirksen C., Hilhorst M. A. 1994. Calibration of new frequency domain sensor for water soil content and bulk electrical conductivity V: Symp. On TDR in environmental, infrastructure, and mining applications, 7-9 sep.1994. Evaston. III., U.S. Bureau of Mines Spec. Publ.: 143-153
- Dirksen C. 1999. Soil physics measurements. Reiskirchen, GeoScience Publisher: 154 str.
- Diviner 2000 User Guide Version 1.2. 2000. Stepney, Australia, Sentek Pty Ltd: 70 str. (Navodilo za uporabo)
- Evelt S. R., Ruthardt B. B. 2001, A primer on TDR probe construction. Transactions of ASAE, 41, 2: 329-351
- Evelt S. R. 2001. The TACQ computer program for automatic time domain reflectometry measurements: 2. waveform interpretation methods. Transactions of ASAE, 43, 6: 1947-1956
- Hillel D. 1998. Environmental soil physics. San Diego, Academic Press: 794 str.
- Hočevar A., Petkovšek Z. 1984. Meteorologija. Osnove in nekatere aplikacije. 2. popravljena izdaja. Ljubljana, Partizanska knjiga TOZD Založba: 219 str.
- Noborio K. 2001. Measurement of soil water content and electrical conductivity by time domain reflectometry: a review. Computers and Electronics in Agriculture, 31: 213-237

Otorepec S. 1980. Agrometeorologija. Beograd, Novolit: 230 str.

PC208W Datalogger Support Software Instruction Manual. 1999. Logan, Campbell Scientific, Inc.: 68 str. (Navodilo za uporabo)

Pintar M. 2003. Osnove namakanja: s poudarkom na vrtninah in sadnih vrstah v severovzhodni Sloveniji. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano: 49 str.

Sevenster J., de Walle F. B. 1998. Agriculture and the environment. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers: 211 str.

Sowacs.com. The central resource for soil moisture measurement. 2004. (junij 2004)

Starr J. L., Paltineanu I. C. 2002. Capacitance devices. V: Method of soil analysis. Dane J. H., Topp G. C. 2002 (eds.). Wisconsin, Madison, Soil Science Society of America, Inc.: 463-474

Taiz L., Zeiger E. 1998. Plant physiology. Second edition. Massachusetts, Sunderland, Sinauer Associates Inc., Publisher: 792 str.

TDR 100 Introduction Manual. 2002. Logan, Campbell Scientific, Inc.: 42 str. (Navodilo za uporabo)

Topp G. C., Ferré P. A. 2002. The soil solution phase. V: Method of soil analysis. Dane J. H., Topp G. C. 2002 (eds.). Wisconsin, Madison, Soil Science Society of America, Inc.: 417-447

Trime-mux 6 Operating Manual. 2002 Giesbeek, Eijkelkamp: 43 str. (Navodilo za uporabo)

Zupanc V., Pintar M. 2001. Melioracije in urejanje kmetijskih zemljišč. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 66 str. (gradivo za vaje)

Wacker B. T. 2002. What is TDR and FD exactly?
[http://www.sowacs.com/sensor/what is tdr and fd.html](http://www.sowacs.com/sensor/what_is_tdr_and_fd.html) (maj 2004)

ZAHVALA

Na tem mestu se želim iskreno zahvaliti mentorici doc. dr. Marini Pintar za vso pomoč in nasvete pri oblikovanju diplomske naloge ter asist. dr. Vesni Zupanc in tehničnemu sodelavcu Petru Korparju za njun nepogrešljiv prispevek za izpeljavo poskusa.

Zahvaljujem se Urški Vilhar, Christiaan van der Tolu in Zaliki Črepinšek za izposajo tehničnih naprav in njihovo prijaznost.

Največjo zahvalo namenjam moji družini, ki mi je vedno stala ob strani in me spodbujala na vseh področjih ter mi omogočila izobraževanje.

Dodatno se zahvaljujem vsem prijateljem, ki so me napolnili s pozitivno energijo, smehom in dobrim razpoloženjem, kar mi je vedno znova pomagalo pri premagovanju novih izzivov.

PRILOGE

Priloga A

Določanje vode v tleh z gravimetrično metodo na različnih globinah tal – Snežna jama

Št. vzorca	Globina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SJ 1	0 cm	125,59	117,56	14,27	103,29	8,03	7,77	8,03	1,03			
SJ 2		127,35	117,91	13,86	104,05	9,44	9,07	9,44	1,04			
SJ 3		132,77	123,22	14,51	108,71	9,55	8,78	9,55	1,09			
SJ 4		136,11	125,65	18,82	106,83	10,46	9,79	10,46	1,07			
SJ 5		131,10	121,15	18,80	102,35	9,95	9,72	9,95	1,02			
SJ 6	15 cm	138,40	126,86	18,40	108,46	11,54	10,64	11,54	1,08			
SJ 7		141,29	129,48	13,85	115,63	11,81	10,21	11,81	1,16			
SJ 8		127,72	117,82	13,94	103,88	9,90	9,53	9,90	1,04			
SJ 9		133,92	122,82	19,89	102,93	11,10	10,78	11,10	1,03			
SJ 10		141,41	128,51	18,94	109,57	12,90	11,77	12,90	1,10			
										10,47	1,07	59,78
SJ 11	0 cm	125,84	115,55	14,37	101,18	10,29	10,17	10,29	1,01			
SJ 12		138,35	117,95	13,98	103,97	20,40	19,62	10,40	1,04			
SJ 13		131,28	121,23	14,61	106,62	10,05	9,43	10,05	1,07			
SJ 14		125,59	115,97	18,96	97,01	9,62	9,92	9,62	0,97			
SJ 15		134,69	123,91	18,94	104,97	10,78	10,27	10,78	1,05			
SJ 16	15 cm	136,94	125,19	18,48	106,71	11,75	11,01	11,75	1,07			
SJ 17		132,40	120,29	13,94	106,35	12,11	11,39	12,11	1,06			
SJ 18		127,26	116,85	14,03	102,82	10,41	10,12	10,41	1,03			
SJ 19		142,28	129,88	20,11	109,77	12,40	11,30	12,40	1,10			
SJ 20		138,24	126,30	19,07	107,23	11,94	11,13	11,94	1,07			
										10,98	1,05	60,50
SJ 21	0 cm	134,26	117,89	14,31	103,58	16,37	15,80	16,37	1,04			
SJ 22		128,82	112,98	13,86	99,12	15,84	15,98	15,84	0,99			
SJ 23		122,16	108,22	14,53	93,69	13,94	14,88	13,94	0,94			
SJ 24		138,32	121,80	18,96	102,84	16,52	16,06	16,52	1,03			
SJ 25		133,71	118,56	18,90	99,66	15,15	15,20	15,15	1,00			
SJ 26	15 cm	132,16	116,19	18,44	97,75	15,97	16,34	15,97	0,98			
SJ 27		133,62	116,87	13,85	103,02	16,75	16,26	16,75	1,03			
SJ 28		132,26	116,07	13,94	102,13	16,19	15,85	16,19	1,02			
SJ 29		140,54	123,98	20,07	103,91	16,56	15,94	16,56	1,04			
SJ 30		134,47	118,78	19,01	99,77	15,69	15,73	15,69	1,00			
										15,90	1,01	62,06
SJ 31	0 cm	127,78	107,58	14,32	93,26	20,20	21,66	20,20	0,93			
SJ 32		128,70	108,28	13,89	94,39	20,42	21,63	20,42	0,94			
SJ 33		127,40	106,80	14,43	92,37	20,60	22,30	20,60	0,92			
SJ 34		135,26	110,34	19,06	91,28	24,92	27,30	24,92	0,91			
SJ 35		127,79	109,40	18,87	90,53	18,39	20,31	18,39	0,91			
SJ 36	15 cm	133,27	111,67	18,48	93,19	21,60	23,18	21,60	0,93			
SJ 37		129,29	109,34	14,05	95,29	19,95	20,94	19,95	0,95			
SJ 38		128,54	106,06	14,17	91,89	22,48	24,46	22,48	0,92			
SJ 39		136,28	114,67	20,38	94,29	21,61	22,92	21,61	0,94			
SJ 40		134,61	113,76	19,38	94,38	20,85	22,09	20,85	0,94			
										21,10	0,93	64,87

se nadaljuje

Priloga A – nadjevanje

Določanje vode v tleh z gravimetrično metodo na različnih globinah tal – Snežna jama

Št. vzorca	Globina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
SJ 41	0 cm	141,30	119,09	14,47	104,62	22,21	21,23	22,21	1,05						
SJ 42		136,94	115,45	14,03	101,42	21,49	21,19	21,49	1,01						
SJ 43		133,20	112,04	14,65	97,39	21,16	21,73	21,16	0,97						
SJ 44		141,65	120,41	18,98	101,43	21,24	20,94	21,24	1,01						
SJ 45		143,26	119,65	19,00	100,65	23,61	23,46	23,61	1,01						
SJ 46	15 cm	140,31	117,77	18,64	99,13	22,54	22,74	22,54	0,99						
SJ 47		137,55	114,00	13,97	100,03	23,55	23,54	23,55	1,00						
SJ 48		134,50	113,69	14,08	99,61	20,81	20,89	20,81	1,00						
SJ 49		142,35	119,29	19,93	99,36	23,06	23,21	23,06	0,99						
SJ 50		141,98	118,60	19,17	99,43	23,38	23,51	23,38	0,99						
													22,31	1,00	62,15
SJ 51	0 cm	157,11	121,09	14,24	106,85	36,02	33,71	36,02	1,07						
SJ 52		159,24	122,05	13,79	108,26	37,19	34,35	37,19	1,08						
SJ 53		161,50	122,57	14,42	108,15	38,93	36,00	38,93	1,08						
SJ 54		176,21	136,03	18,79	117,24	40,18	34,27	40,18	1,17						
SJ 55		164,40	125,87	18,76	107,11	38,53	35,97	38,53	1,07						
SJ 56	15 cm	159,66	123,23	18,36	104,87	36,43	34,74	36,43	1,05						
SJ 57		153,04	117,62	13,74	103,88	35,42	34,10	35,42	1,04						
SJ 58		149,94	114,48	13,85	100,63	35,46	35,24	35,46	1,01						
SJ 59		166,79	128,13	19,49	108,64	38,66	35,59	38,66	1,09						
SJ 60		154,92	120,49	18,85	101,64	34,43	33,87	34,43	1,02						
										37,13	1,07	59,73			

Opombe:

- 1 = masa vlažnega vzorca + podstavek (g)
- 2 = masa suhega vzorca + podstavek (g)
- 3 = masa podstavka (g)
- 4 = masa suhega vzorca (g)
- 5 = masa vode (g)
- 6 = masni odstotek vode (%)
- 7 = volumski odstotek vode (%)
- 8 = gostota tal (g/cm^3)
- 9 = povprečni volumski odstotek vode (%) vzorcev
- 10 = povprečna gostota tal (g/cm^3) vzorcev
- 11 = povprečna poroznost (%)

Priloga B

Določanje vode v tleh z gravimetrično metodo na različnih globinah tal - Dragonja

Št. vzorca	Globina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
D 1	0 cm	133,77	121,01	20,04	100,97	12,76	12,64	12,76	1,01			
D 2		138,43	124,46	14,63	109,83	13,97	12,72	13,97	1,10			
D 3		141,48	127,75	19,09	108,66	13,73	12,64	13,73	1,09			
D 4	15 cm	142,91	129,48	19,72	109,76	13,43	12,24	13,43	1,10			
D 5		128,24	116,73	15,29	101,44	11,51	11,35	11,51	1,01			
D 6		122,20	110,06	14,52	95,54	12,14	12,71	12,14	0,96			
										12,92	1,04	60,62
D 7	0 cm	145,66	131,32	19,81	111,51	14,34	12,86	14,34	1,12			
D 8		137,84	124,11	14,44	109,67	13,73	12,52	13,73	1,10			
D 9		130,61	118,03	19,02	99,01	12,58	12,71	12,58	0,99			
D 10	15 cm	133,00	119,52	19,48	100,04	13,48	13,47	13,48	1,00			
D 11		134,29	120,52	15,20	105,32	13,77	13,07	13,77	1,05			
D 12		130,85	117,59	14,33	103,26	13,26	12,84	13,26	1,03			
										13,53	1,05	60,45
D 13	0 cm	146,59	123,43	19,85	103,58	23,16	22,36	23,16	1,04			
D 14		145,24	121,75	14,49	107,26	23,49	21,90	23,49	1,07			
D 15		140,08	117,67	19,05	98,62	22,41	22,72	22,41	0,99			
D 16	15 cm	134,56	116,12	19,50	96,62	18,44	19,09	18,44	0,97			
D 17		128,99	108,07	15,31	92,76	20,92	22,55	20,92	0,93			
D 18		121,37	103,76	14,41	89,35	17,61	19,71	17,61	0,89			
										21,01	0,98	63,01
D 19	0 cm	163,74	130,19	19,70	110,49	33,55	30,36	33,55	1,10			
D 20		167,48	132,21	14,37	117,84	35,27	29,93	35,27	1,18			
D 21		164,53	130,19	18,96	111,23	34,34	30,87	34,34	1,11			
D 22	15 cm	170,78	133,43	19,36	114,07	37,35	32,74	37,35	1,14			
D 23		151,59	119,52	15,20	104,32	32,07	30,74	32,07	1,04			
D 24		151,49	119,42	14,28	105,14	32,07	30,50	32,07	1,05			
										34,11	1,11	58,30
D 25	0 cm	176,42	135,07	19,80	115,27	41,35	35,87	41,35	1,15			
D 26		178,25	134,19	14,52	119,67	44,06	36,82	44,06	1,20			
D 27		176,79	136,20	19,09	117,11	40,59	34,66	40,59	1,17			
D 28	15 cm	175,84	132,65	19,54	113,11	43,19	38,18	43,19	1,13			
D 29		173,79	131,42	15,31	116,11	42,37	36,49	42,37	1,16			
D 30		170,72	128,06	14,44	113,62	42,66	37,55	42,66	1,14			
										42,37	1,16	56,30
D 31	0 cm	183,63	139,53	19,55	119,98	44,10	36,76	44,10	1,20			
D 32		171,48	130,17	14,32	115,85	41,31	35,66	41,31	1,16			
D 33		176,49	133,93	18,89	115,04	42,56	37,00	42,56	1,15			
D 34	15 cm	178,95	135,92	19,32	116,60	43,03	36,90	43,03	1,17			
D 35		167,29	127,23	15,10	112,13	40,06	35,73	40,06	1,12			
D 36		175,25	130,88	14,23	116,65	44,37	38,04	44,37	1,17			
										42,57	1,16	56,21

Priloga C

Določanje vode z gravimetrično metodo na različnih globinah - mivka

Št. vzorca	Globina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
P 1	0 cm	166,78	162,80	15,60	147,20	3,98	2,70	3,98	1,47			
P 2		156,31	152,30	13,77	138,53	4,01	2,89	4,01	1,39			
P 3		160,00	156,90	13,53	143,37	3,10	2,16	3,10	1,43			
P 4		161,65	157,80	14,37	143,43	3,85	2,68	3,85	1,43			
P 5		162,22	158,16	14,33	143,83	4,06	2,82	4,06	1,44			
P 6	15 cm	155,01	150,85	15,44	135,41	4,16	3,07	4,16	1,35			
P 7		170,10	166,87	15,39	151,48	3,23	2,13	3,23	1,51			
P 8		151,89	148,75	14,71	134,04	3,14	2,34	3,14	1,34			
P 9		157,67	153,66	13,75	139,91	4,01	2,87	4,01	1,40			
P 10		158,44	154,66	19,08	135,58	3,78	2,79	3,78	1,36			
										3,73	1,41	46,69
P 11	0 cm	164,59	161,14	15,65	145,49	3,45	2,37	3,45	1,45			
P 12		160,83	156,93	13,85	143,08	3,90	2,73	3,90	1,43			
P 13		156,59	152,70	13,59	139,11	3,89	2,80	3,89	1,39			
P 14		157,65	153,56	14,45	139,11	4,09	2,94	4,09	1,39			
P 15		157,82	153,93	14,41	139,52	3,89	2,79	3,89	1,40			
P 16	15 cm	154,59	149,78	15,55	134,23	4,81	3,58	4,81	1,34			
P 17		155,10	150,66	15,47	135,19	4,44	3,28	4,44	1,35			
P 18		153,13	148,78	14,81	133,97	4,35	3,25	4,35	1,34			
P 19		151,79	147,00	13,86	133,14	4,79	3,60	4,79	1,33			
P 20		159,29	154,58	19,23	135,35	4,71	3,48	4,71	1,35			
										4,23	1,38	47,99
P 21	0 cm	159,61	150,34	15,66	134,68	9,27	6,88	9,27	1,35			
P 22		156,16	147,46	13,86	133,60	8,70	6,51	8,70	1,34			
P 23		155,95	146,96	13,58	133,38	8,99	6,74	8,99	1,33			
P 24		153,22	145,10	14,47	130,63	8,12	6,22	8,12	1,31			
P 25		156,27	147,14	14,38	132,76	9,13	6,88	9,13	1,33			
P 26	15 cm	158,50	148,14	15,53	132,61	10,36	7,81	10,36	1,33			
P 27		153,13	144,13	15,41	128,72	9,00	6,99	9,00	1,29			
P 28		155,09	146,28	14,78	131,50	8,81	6,70	8,81	1,32			
P 29		151,25	142,30	13,81	128,49	8,95	6,97	8,95	1,28			
P 30		174,47	164,09	19,18	144,91	10,38	7,16	10,38	1,45			
										9,17	1,33	49,76
P 31	0 cm	163,96	149,37	15,43	133,94	14,59	10,89	14,59	1,34			
P 32		159,75	145,47	13,83	131,64	14,28	10,85	14,28	1,32			
P 33		173,70	157,37	13,35	144,02	16,33	11,34	16,33	1,44			
P 34		156,85	142,84	14,45	128,39	14,01	10,91	14,01	1,28			
P 35		164,87	150,20	14,40	135,80	14,67	10,80	14,67	1,36			
P 36	15 cm	163,93	146,50	15,56	130,94	17,43	13,31	17,43	1,31			
P 37		160,42	143,92	15,45	128,47	16,50	12,84	16,50	1,28			
P 38		164,44	147,64	14,69	132,95	16,80	12,64	16,80	1,33			
P 39		162,28	144,95	13,83	131,12	17,33	13,22	17,33	1,31			
P 40		166,96	150,41	19,18	131,23	16,55	12,61	16,55	1,31			
										15,85	1,33	49,87

se nadaljuje

Priloga C – nadaljevanje

Določanje vode z gravimetrično metodo na različnih globinah – mivka

Št. vzorca	Globina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
P 41	0 cm	166,86	150,60	15,77	134,83	16,26	12,06	16,26	1,35			
P 42		159,70	145,29	13,94	131,35	14,41	10,97	14,41	1,31			
P 43		165,25	150,00	13,68	136,32	15,25	11,19	15,25	1,36			
P 44		165,39	149,95	14,56	135,39	15,44	11,40	15,44	1,35			
P 45		166,98	150,30	14,49	135,81	16,68	12,28	16,68	1,36			
P 46	15 cm	165,09	148,54	15,63	132,91	16,55	12,45	16,55	1,33			
P 47		163,24	147,22	15,54	131,68	16,02	12,17	16,02	1,32			
P 48		164,91	147,95	14,86	133,09	16,96	12,74	16,96	1,33			
P 49		169,08	150,94	13,92	137,02	18,14	13,24	18,14	1,37			
P 50		183,23	164,73	19,29	145,44	18,50	12,72	18,50	1,45			
										16,42	1,35	48,91
P 51	0 cm	189,55	158,97	15,55	143,42	30,58	21,32	30,58	1,43			
P 52		184,23	155,73	13,70	142,03	28,50	20,07	28,50	1,42			
P 53		185,18	152,92	13,49	139,43	32,26	23,14	32,26	1,39			
P 54		189,07	156,64	14,36	142,28	32,43	22,79	32,43	1,42			
P 55		192,78	162,13	14,28	147,85	30,65	20,73	30,65	1,48			
P 56	15 cm	189,17	159,42	15,43	143,99	29,75	20,66	29,75	1,44			
P 57		187,22	155,96	15,30	140,66	31,26	22,22	31,26	1,41			
P 58		185,48	155,03	14,66	140,37	30,45	21,69	30,45	1,40			
P 59		185,41	156,40	13,73	142,67	29,01	20,33	29,01	1,43			
P 60		194,92	164,56	19,11	145,45	30,36	20,87	30,36	1,45			
										30,53	1,43	46,11

Priloga Č

Meritve volumskega deleža vode (vol. %) – Snežna jama

Št. poskusa	Diviner 2000	TDR 100-10a	TDR 100-10b	TDR 100-20a	TDR 100-20b	CS 616	Trime P2Z
1	5,63	9,76	9,81	7,56	7,52	14,77	9,82
	5,56	9,85	10,07	7,59	7,40	14,77	9,87
	5,75	10,01	9,92	7,66	7,58	14,97	9,82
	5,75	10,06	9,64	7,42	7,47	14,98	9,78
	5,95	9,66	10,79	7,39	7,41	14,99	9,85
2	7,43	16,97	18,34	7,80	11,40	14,70	11,18
	7,35	16,76	18,16	7,86	11,46	14,67	11,13
	6,89	16,94	19,52	7,81	11,94	14,66	11,18
	7,08	16,61	18,00	7,79	11,47	14,64	11,19
	7,02	16,77	18,89	7,83	11,58	14,63	11,26
3	12,07	14,36	16,07	11,42	13,33	16,97	*
	12,11	14,28	15,80	11,51	13,35	16,98	*
	12,11	14,55	15,84	11,53	13,34	16,98	*
	12,29	14,30	15,74	11,57	13,47	16,96	*
	12,00	14,42	15,73	11,56	13,28	16,94	*
4	13,18	14,89	20,07	14,13	15,13	20,81	*
	13,57	19,00	20,03	14,14	15,45	20,82	*
	13,49	15,14	18,88	14,01	15,18	20,78	*
	13,37	15,25	18,88	13,96	15,17	20,75	*
	13,26	15,14	18,66	13,96	15,08	20,74	*
5	14,55	20,45	20,68	17,27	18,00	21,73	14,00
	14,79	22,14	21,47	17,03	17,95	21,78	14,17
	15,12	20,44	20,90	17,13	17,70	21,78	14,31
	14,91	20,53	20,67	16,98	17,70	21,79	14,36
	14,91	20,18	20,83	17,11	17,66	21,77	14,43
6	27,66	36,45	39,57	32,84	34,49	27,70	29,97
	27,55	36,33	39,72	32,93	34,45	27,74	30,04
	27,39	36,30	39,39	33,04	34,61	26,60	30,27
	27,61	36,13	39,64	33,06	34,57	26,50	30,47
	27,55	36,50	39,48	33,06	34,56	26,48	30,57

Priloga D

Meritve volumskega deleža vode (vol. %) – Dragonja

Št. poskusa	Diviner 2000	TDR 100-10a	TDR 100-10b	TDR 100-20a	TDR 100-20b	CS 616	Trime P2Z
1	10,40	13,32	13,35	10,33	10,34	17,13	*
	9,97	13,27	12,88	10,49	10,33	17,16	*
	10,00	13,14	13,20	10,29	10,32	17,15	*
	10,07	13,19	12,91	10,40	10,50	17,15	*
	10,04	13,36	13,17	10,39	10,28	17,16	*
2	12,14	12,96	18,88	9,53	12,57	18,74	*
	12,14	13,14	18,72	9,44	12,56	18,79	*
	12,03	13,20	18,91	9,54	12,37	18,82	*
	12,07	15,17	18,94	9,68	12,41	18,78	*
	12,11	13,36	18,32	9,52	12,46	18,80	*
3	17,01	22,40	23,94	17,51	18,90	20,26	18,06
	17,19	22,37	23,77	17,51	18,76	20,28	18,07
	17,23	21,97	23,76	17,47	18,76	20,29	18,07
	17,06	22,01	23,89	17,60	18,94	20,30	18,07
	17,19	22,31	23,82	17,57	18,86	20,30	18,07
4	26,67	33,44	32,27	34,93	31,73	30,38	29,20
	27,50	32,20	31,94	31,17	31,66	30,39	29,27
	27,50	31,91	32,22	31,37	31,28	30,41	29,46
	27,66	31,66	31,80	31,19	31,45	30,42	29,41
	27,55	32,18	31,94	31,76	32,22	30,43	29,41
5	32,45	44,20	44,70	38,84	39,74	31,79	34,36
	32,99	43,37	44,86	38,53	39,56	31,81	34,61
	32,57	43,40	44,68	38,62	39,84	31,83	34,85
	32,75	43,86	45,34	38,89	39,79	31,84	35,09
	32,69	43,39	45,02	38,82	39,77	31,85	34,81
6	25,91	43,25	44,21	35,03	35,07	32,61	34,03
	25,97	43,34	44,15	34,93	35,02	32,68	34,28
	26,08	43,18	44,23	34,99	35,08	32,74	34,64
	25,97	43,13	44,34	34,80	35,25	32,76	35,79
	25,91	43,25	44,46	35,58	34,99	32,77	36,23

Priloga E

Meritve volumskega deleža vode (vol. %) – mivka

Št. poskusa	Diviner 2000	TDR 100-10a	TDR 100-10b	TDR 100-20a	TDR 100-20b	CS 616	Trime P2Z
1	2,60	9,61	10,14	6,46	6,57	*	5,92
	2,69	9,59	9,75	6,52	6,56	*	5,96
	2,74	9,58	9,92	6,51	6,52	*	6,02
	2,69	9,56	9,99	6,59	6,51	*	6,02
	2,58	9,61	9,70	6,43	6,46	*	6,05
2	3,76	9,76	9,51	7,09	6,56	11,06	8,87
	3,78	10,55	9,70	6,66	6,66	11,06	9,07
	3,78	10,93	9,74	6,74	6,72	11,09	8,99
	3,76	10,87	9,75	6,66	6,71	11,06	9,08
	3,75	10,71	9,42	6,76	6,67	11,03	9,29
3	7,16	15,43	15,17	12,33	12,24	16,44	*
	7,24	15,25	15,03	12,73	12,27	16,45	*
	7,27	15,15	15,17	13,03	12,34	16,46	*
	7,24	15,76	15,27	13,04	12,28	16,45	*
	7,13	15,31	15,35	12,92	12,34	16,46	*
4	14,23	20,23	20,43	18,30	18,30	18,36	*
	14,19	20,21	20,44	18,30	18,27	18,37	*
	14,19	20,31	20,34	18,27	18,24	18,37	*
	14,19	20,42	20,32	18,29	18,24	18,36	*
	14,15	20,34	20,48	18,28	18,26	18,36	*
5	15,53	19,26	21,28	18,40	18,62	21,79	18,74
	15,49	19,40	21,40	18,56	18,45	21,79	18,75
	15,16	19,35	21,28	18,51	18,65	21,79	18,76
	15,36	19,20	21,37	18,51	18,64	21,79	18,76
	15,32	19,27	21,00	18,59	18,40	21,11	18,76
6	31,09	38,02	37,98	33,36	33,65	26,35	26,98
	31,21	37,93	37,74	33,21	33,32	26,50	27,88
	31,44	37,97	37,89	33,24	33,38	26,59	28,08
	30,97	38,07	37,77	33,18	33,38	26,60	28,03
	31,03	37,87	37,94	33,20	33,36	26,60	28,14

Priloga F

Statistični parametri meritev volumskega deleža vode v tleh (vol. %) – Snežna jama

Št. poskusa	Diviner 2000	TDR 100-10a	TDR 100-10b	TDR 100-20a	TDR 100-20b	CS 616	Trime P2Z	Gravi. stand.
Povprečje (vol. %)								
1	5,73	9,87	10,05	7,52	7,48	14,90	9,83	10,47
2	7,15	16,81	18,58	7,82	11,57	14,66	11,19	10,98
3	12,12	14,38	15,84	11,52	13,35	16,97	*	15,90
4	13,37	15,88	19,30	14,04	15,20	20,78	*	21,10
5	14,86	20,75	20,91	17,10	17,80	21,77	14,25	22,31
6	27,55	36,34	39,56	32,99	34,54	27,00	30,26	37,13
Variacija (vol. %)								
1	0,0220	0,0281	0,1976	0,0132	0,0057	0,0133	0,0012	1,9665
2	0,0519	0,0217	0,3875	0,0008	0,0470	0,0008	0,0022	0,9666
3	0,0115	0,0118	0,0191	0,0036	0,0049	0,0003	*	0,7005
4	0,0256	3,0516	0,4720	0,0080	0,0208	0,0013	*	3,0287
5	0,0434	0,6229	0,1077	0,0123	0,0255	0,0005	0,0292	1,1542
6	0,0103	0,0209	0,0169	0,0096	0,0042	0,4295	0,0682	3,5080
Standardni odklon (vol. %)								
1	0,1484	0,1675	0,4446	0,1150	0,0757	0,1152	0,0342	1,4023
2	0,2279	0,1471	0,6225	0,0277	0,2168	0,0274	0,0466	0,9832
3	0,1071	0,1087	0,1383	0,0597	0,0702	0,0167	*	0,8369
4	0,1601	1,7469	0,6870	0,0892	0,1441	0,0354	*	1,7403
5	0,2083	0,7892	0,3281	0,1108	0,1597	0,0235	0,1710	1,0743
6	0,1016	0,1445	0,1298	0,0979	0,0647	0,6553	0,2611	1,8730
Minimum (vol. %)								
1	5,56	9,66	9,64	7,39	7,40	14,77	9,78	8,03
2	6,89	16,61	18,00	7,79	11,40	14,63	11,13	9,62
3	12,00	14,28	15,73	11,42	13,28	16,94	*	13,94
4	13,18	14,89	18,66	13,96	15,08	20,74	*	18,39
5	14,55	20,18	20,67	16,98	17,66	21,73	14,00	20,81
6	27,39	36,13	39,39	32,84	34,45	26,48	29,97	34,43
Maksimum (vol. %)								
1	5,95	10,06	10,79	7,66	7,58	14,99	9,87	12,90
2	7,43	16,97	19,52	7,86	11,94	14,70	11,26	12,40
3	12,29	14,55	16,07	11,57	13,47	16,98	*	16,75
4	13,57	19,00	20,07	14,14	15,45	20,82	*	24,92
5	15,12	22,14	21,47	17,27	18,00	21,79	14,43	23,61
6	27,66	36,50	39,72	33,06	34,61	27,74	30,57	40,18
Razpon meritev (vol. %)								
1	0,39	0,40	1,15	0,27	0,18	0,22	0,09	4,87
2	0,54	0,36	1,52	0,07	0,54	0,07	0,13	2,78
3	0,29	0,27	0,34	0,15	0,19	0,04	*	2,81
4	0,39	4,11	1,41	0,18	0,37	0,08	*	6,53
5	0,57	1,96	0,80	0,29	0,34	0,06	0,43	2,80
6	0,27	0,37	0,33	0,22	0,16	1,26	0,60	5,75

Priloga G

Statistični parametri meritev volumskega deleža vode v tleh (vol. %) – Dragonja

Št. pskusa	Diviner 2000	TDR 100-10a	TDR 100-10b	TDR 100-20a	TDR 100-20b	CS 616	Trime P2Z	Gravi. stand.
Povprečje (vol. %)								
1	10,10	13,26	13,10	10,38	10,35	17,15	*	12,92
2	12,10	13,57	18,75	9,54	12,47	18,79	*	13,53
3	17,14	22,21	23,84	17,53	18,84	20,29	18,07	21,01
4	27,38	32,28	32,03	32,08	31,67	30,41	29,35	34,11
5	32,69	43,64	44,92	38,74	39,74	31,82	34,74	42,37
6	25,97	43,23	44,28	35,07	35,08	32,71	34,99	42,57
Variacija (vol. %)								
1	0,0303	0,0082	0,0405	0,0058	0,0072	0,0001	*	0,9281
2	0,0023	0,8245	0,0661	0,0075	0,0079	0,0009	*	0,3463
3	0,0091	0,0423	0,0060	0,0027	0,0067	0,0003	0,0000	6,1811
4	0,1600	0,4708	0,0407	2,5873	0,1267	0,0004	0,0120	4,1066
5	0,0414	0,1387	0,0740	0,0244	0,0114	0,0006	0,0752	1,5643
6	0,0048	0,0064	0,0151	0,0901	0,0102	0,0045	0,9314	2,7361
Standardni odklon (vol. %)								
1	0,1742	0,0907	0,2012	0,0762	0,0847	0,0122	*	0,5885
2	0,0476	0,9080	0,2571	0,0867	0,0891	0,0297	*	2,4862
3	0,0953	0,2057	0,0777	0,0522	0,0817	0,0167	0,0045	2,0265
4	0,4000	0,6862	0,2017	1,6085	0,3559	0,0207	0,1098	1,2507
5	0,2035	0,3725	0,2720	0,1560	0,1070	0,0241	0,2742	1,6541
6	0,0694	0,0797	0,1228	0,3002	0,1008	0,0669	0,9651	0,4468
Minimum (vol. %)								
1	9,97	13,14	12,88	10,29	10,32	17,13	*	11,51
2	12,03	12,96	18,72	9,44	12,37	18,74	*	12,58
3	17,01	21,97	23,76	17,47	18,76	20,26	18,06	17,61
4	26,67	31,91	31,94	31,17	31,28	30,38	29,20	32,07
5	32,45	43,37	44,68	38,53	39,56	31,79	34,36	40,59
6	25,91	43,18	44,15	34,93	35,02	32,61	34,03	40,06
Maksimum (vol. %)								
1	10,40	13,32	13,35	10,49	10,34	17,16	*	13,97
2	12,14	13,20	18,91	9,54	12,57	18,82	*	14,34
3	17,23	22,40	23,94	17,51	18,90	20,29	18,07	23,49
4	27,50	33,44	32,27	34,93	31,73	30,41	29,46	37,35
5	32,99	44,20	44,86	38,84	39,84	31,83	34,85	44,06
6	26,08	43,34	44,23	35,03	35,08	32,74	34,64	44,37
Razpon meritev (vol. %)								
1	0,43	0,18	0,47	0,20	0,02	0,03	*	2,46
2	0,11	0,24	0,19	0,10	0,20	0,08	*	1,76
3	0,22	0,43	0,18	0,04	0,14	0,03	0,01	5,88
4	0,83	1,53	0,33	3,76	0,45	0,03	0,26	5,28
5	0,54	0,83	0,18	0,31	0,28	0,04	0,49	3,47
6	0,17	0,16	0,08	0,10	0,06	0,13	0,61	4,31

Priloga H

Statistični parametri meritev volumskega deleža vode v tleh (vol. %) – mivka

Št. poskusa	Diviner 2000	TDR 100-10a	TDR 100-10b	TDR 100-20a	TDR 100-20b	CS 616	Trime P2Z	Gravi. stand.
Povprečje (vol. %)								
1	2,66	9,59	9,90	6,50	6,52	*	5,99	3,73
2	3,77	10,56	9,62	6,78	6,66	11,06	9,06	4,23
3	7,21	15,38	15,20	12,81	12,29	16,45	*	9,17
4	14,19	20,30	20,40	18,29	18,26	18,36	*	15,85
5	15,37	19,30	21,27	18,51	18,55	21,65	18,75	16,42
6	31,15	37,97	37,86	33,24	33,42	26,53	27,82	30,53
Variacija (vol. %)								
1	0,0046	0,0004	0,0321	0,0038	0,0019	*	0,0028	0,1694
2	0,0002	0,2239	0,0224	0,0317	0,0040	0,0004	0,0236	0,2119
3	0,0036	0,0554	0,0145	0,0876	0,0020	0,0001	*	0,4949
4	0,0008	0,0073	0,0047	0,0002	0,0006	0,0000	*	1,7292
5	0,0217	0,0062	0,0250	0,0052	0,0139	0,0925	0,0001	1,5795
6	0,0345	0,0060	0,0110	0,0051	0,0174	0,0117	0,2308	1,5808
Standardni odklon (vol. %)								
1	0,0675	0,0212	0,1793	0,0614	0,0439	*	0,0527	0,4116
2	0,0134	0,4732	0,1498	0,1781	0,0635	0,0212	0,1536	0,4603
3	0,0597	0,2354	0,1205	0,2959	0,0445	0,0084	*	0,7035
4	0,0283	0,0853	0,0687	0,0130	0,0249	0,0055	*	1,3150
5	0,1472	0,0789	0,1581	0,0723	0,1178	0,3041	0,0089	1,2568
6	0,1858	0,0776	0,1050	0,0716	0,1320	0,1080	0,4804	1,2573
Minimum								
1	2,58	9,56	9,70	6,43	6,46	*	5,92	3,10
2	3,75	9,76	9,42	6,66	6,56	11,03	8,87	3,45
3	7,13	15,15	15,03	12,33	12,24	16,44	*	8,12
4	14,15	20,21	20,32	18,27	18,24	18,36	*	14,01
5	15,16	19,20	21,00	18,40	18,40	21,11	18,74	14,41
6	30,97	37,87	37,74	33,18	33,32	26,35	26,98	28,50
Maksimum (vol. %)								
1	2,74	9,61	10,14	6,59	6,57	*	6,05	4,16
2	3,78	10,93	9,75	7,09	6,72	11,09	9,29	4,81
3	7,27	15,76	15,35	13,04	12,34	16,46	*	10,38
4	14,23	20,42	20,48	18,30	18,30	18,37	*	17,43
5	15,53	19,40	21,40	18,59	18,65	21,79	18,76	18,50
6	31,44	38,07	37,98	33,36	33,65	26,60	28,14	32,43
Razpon meritev (vol. %)								
1	0,16	0,05	0,44	0,16	0,11	*	0,13	1,06
2	0,03	1,17	0,33	0,43	0,16	0,06	0,42	1,36
3	0,14	0,61	0,32	0,71	0,10	0,02	*	2,26
4	0,08	0,21	0,16	0,03	0,06	0,01	*	3,42
5	0,37	0,20	0,40	0,19	0,25	0,68	0,02	4,09
6	0,47	0,20	0,24	0,18	0,33	0,25	1,16	3,93

Priloga I

Delež organske snovi (%) v vzorcu tal iz lokacije Snežna jama (Kočevski Rog)

Oznaka vzorca	Globina (cm)	organska snov (%)
M5	0 - 5	6,35
M10	5 - 10	3,87
M20	10 - 20	2,76
M30	20 - 30	2,42
M40	30 - 40	2,32

Priloga J

Delež organske snovi (%) v dveh vzorcih tal iz doline reke Dragonje in njuno povprečje

Globina (cm)	organska snov (%)		
	1	2	povprečje
0-5a	4,25	4,16	4,21
0-5b	5,52	5,50	5,51
5-10a	4,96	4,78	4,87
5-10b	4,85	4,80	4,83
10-15a	3,75	3,74	3,75
10-15b	2,83	2,73	2,78
20-25a	1,74	1,75	1,75
20-25b	1,80	1,81	1,81
25-30	1,62	1,65	1,63
30-35	1,50	1,46	1,48
35-40	1,09	1,08	1,09

opomba: - a in b pomenita, da sta na isti globini bila odvzeta dva vzorca
- 1 in 2 pomenita različna mesta odvzema vzorcev na isti lokaciji
- * - podatkov nimamo na razpolago