

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Rok ČEMAŽAR

**VPLIV SKELETA NA MERITVE VLAGE V TLEH Z
DIVINERJEM**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2005

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Rok ČEMAŽAR

VPLIV SKELETA NA MERITVE VLAGE V TLEH Z DIVINERJEM

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**SKELETON PARTICLES OF THE INFLUENCE ON SOIL WATER
CONTENT MEASUREMENTS WITH A DIVINER**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2005

Diplomsko delo je zaključek visokošolskega strokovnega 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 na polju Biotehniške fakultete.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je za mentorico diplomskega dela 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: 25.11.2005

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Rok Čemažar

Rok Čemažar

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Vs

DK UDK 631.432:556.07(043.2)

KG voda v tleh/volumski delež vode/Diviner 2000/gravimetrična metoda/FD

KK AGRIS P33

AV ČEMAŽAR, Rok

SA PINTAR, Marina (mentor)

KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101

ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

LI 2005

IN VPLIV SKELETA NA MERITVE VLAGE V TLEH Z DIVINERJEM

TD diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)

OP VIII, 38, [15] str., 27 sl., 14 pril., 16 vir.

IJ sl

JI sl/en

AI Voda in z njo povezani pojavi v tleh so za rast in razvoj rastlin najpomembnejši, zato želimo spremljati dogajanje v povezavi z vodo v tleh. To nam omogočajo meritve količine vode. Z novimi posrednimi metodami je merjenje možno večkrat ponoviti, parametri so hitro izmerljivi, kar nam močno olajša delo in prihrani čas. Količino vode v tleh, izmerjeno z napravo Diviner 2000®, smo primerjali z rezultati gravimetrične metode. Predvidevali smo, da je lahko skelet tal tisti, ki vpliva na točnost meritev. Meritve smo izvedli v nadzorovanih pogojih. Pripravili smo zadostno količino tal, dva zaboja in skelet. V zaboja smo postopoma vmešali določeno količino skeleta (po 5 %, 10 %, 15 % in 20 %) in tla postopoma navlažili oz. osušili na željeno količino vode (10 vol. %, 20 vol. % in 30 vol. %). V nasprotju s predvidevanji so bile meritve Divinerja najboljše pri največjem odstotku skeleta v vzorcu tal. Pričakovali smo, da bodo meritve v večji prisotnosti skeleta slabše. Skelet torej ni tisti, ki vpliva na manjšo točnost meritev z Divinerjem 2000.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs
DC UDC 631.432:556.07(043.2)
CX soil water/volumetric water content/Diviner 2000/gravimetric method/FD
CC AGRIS P33
AU ČEMAŽAR, Rok
AA PINTAR, Marina (supervisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy
PY 2005
TI SKELETON PARTICLES INFLUENCE ON SOIL WATER CONTENT MEASUREMENTS WITH A DIVINER
DT Graduation Thesis (Higher Professional studies)
NO VIII, 38, [15] p., 27 fig., 14 ann., 16 ref.
LA sl
AL sl/en
AB Water and the processes in the soil related to it, are the most significant for the plant growth. People want to escort these processes and the measurements are making it possible. With the new indirect methods the measurements can be repeated and quickly done, which makes the work easier and faster. We compared the quantity of the water in the soil, measured with Diviner 2000® and the given results with the gravimetric method. We assumed that skeleton might be the cause for the incorrect measurements. The measurements were done under supervised conditions. We have prepared a sufficient amount of soil, two boxes and the skeleton. Gradually we supplemented the quantity of skeleton (for 5%, 10%, 15% and 20%) and progressively wetted or dried the soil (from 10V%, 20V% to 30V %). Different from what we have expected, the measurements with Diviner 2000 were the most exact at the highest amount of skeleton in the soil. To sum up, the skeleton is not the reason for the incorrectness of Diviner 2000.

KAZALO VSEBINE

		str.
	Ključna dokumentacijska informacija	III
	Key words documentation	IV
	Kazalo vsebine	V
	Kazalo slik	VI
	Kazalo prilog	VII
	Okrajšave in simboli	VIII
1	UVOD	1
1.1	CILJ RAZISKAVE	1
1.2	DELOVNA HIPOTEZA	1
2	PREGLED OBJAV	2
2.1	TLA	2
2.2	VODA V TLEH	3
2.3	MERJENJE VODE V TLEH	5
2.3.1	Neposredne metode	5
2.3.1.1	Gravimetrično določanje vode v tleh	5
2.3.2	Posredne metode	6
2.3.2.1	Nevtronska sonda	6
2.3.2.2	TDR (Time Domain Reflectometry – merjenje časa odboja)	7
2.3.2.3	FDM (Frequency Domain Method – merjenje frekvence)	7
3	MATERIAL IN METODE	9
3.1	SPLOŠNO O DIVINERJU 2000	9
3.1.1	Uporaba Divinerja 2000	11
3.2	METODE DELA	21
3.2.1	Začetna poskusa	21
3.2.2	Končni poskus – izvajanje meritev	21
3.2.3	Vzorčenje tal	24
3.2.4	Priprava tal in cevi na meritve z Divinerjem	24
3.2.5	Priprava zabojev za meritve	25
3.2.6	Gravimetrično določanje vsebnosti vode	26
3.2.7	Obdelava podatkov	26
4	REZULTATI	27
4.1	VOLUMSKI DELEŽ VODE V TLEH PRI PREMERU ZRN SKELETA OD 0,4 DO 0,8 MM	27
4.2	VOLUMSKI DELEŽ VODE V TLEH PRI PREMERU ZRN SKELETA 0,8 DO 16 MM	29
4.3	PRIMERJAVA REZULTATOV	31
5	RAZPRAVA IN SKLEPI	33
5.1	SKLEPI	34
6	POVZETEK	35
7	VIRI	37
	ZAHVALA	
	PRILOGE	

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Strukturni agregati, zrak, voda, glinasti delci in organske snovi v tleh	4
Slika 2: Ponazoritev kapilarne vode in adsorbirane vode ob trdnem delcu ter ponazoritev kapilarnega dviga	4
Slika 3: Diviner 2000 – celoten merilni instrument	9
Slika 4: Diviner 2000 – prikazovalnik in sonda	10
Slika 5: Osnovni zaslon Divinerja 2000	11
Slika 6: Nastavitveni meni	12
Slika 7: Kalibracijski meni	13
Slika 8: Osnovna matematična enačba pri sestavljeni strukturi tal	14
Slika 9: Merilni meni	15
Slika 10: Pregled izmerjenih podatkov na Divinerju	16
Slika 11: Continuous mode – prikaz meritve na vsaki globini posebej	17
Slika 12: Grafični prikaz meritev po globini za vsak interval	18
Slika 13: Grafični prikaz meritev po celotnem profilu (npr. 0–10 cm, 30–60 cm ...)	19
Slika 14: S pritiskom na tipko »ON/OFF« se Diviner v nekaj trenutkih prižge oz. ugasne	20
Slika 15: Napolnjena zaboja – prostornina 94,8 dm ³	22
Slika 16: Ob odstranitvi cevi je lepo vidno, kako se je skelet prilegal ob cev.	23
Slika 17: Praznjenje zaboja za dodajanje skeleta in za pripravo na nove meritve.	24
Slika 18: Meritvena PVC cev Divinerja 2000	25
Slika 19: Zaboj – s sprednje strani so vidne izvrtane luknje, skozi katere smo vstavili merilne cevi	25
Slika 20: Volumski deleži vode v tleh v vzorcu tal pri najmanjši vlažnosti vzorca tal in premeru zrn skeleta od 0,4 do 0,8 mm v odvisnosti od deleža skeleta.	27
Slika 21: Volumski deleži vode v tleh v vzorcu tal pri srednji vlažnosti vzorca tal in premeru zrn skeleta od 0,4 do 0,8 mm v odvisnosti od deleža skeleta.	28
Slika 22: Volumski deleži vode v tleh v vzorcu tal pri največji vlažnosti vzorca tal in premeru zrn skeleta od 0,4 do 0,8 mm v odvisnosti od deleža skeleta.	28
Slika 23: Volumski deleži vode v tleh v vzorcu tal pri največji vlažnosti vzorca tal in premeru zrn skeleta od 0,8 do 16 mm v odvisnosti od deleža skeleta.	29
Slika 24: Volumski deleži vode v tleh v vzorcu tal pri največji vlažnosti vzorca tal in premeru zrn skeleta od 0,8 do 16 mm v odvisnosti od deleža skeleta.	30
Slika 25: Volumski deleži vode v tleh v vzorcu tal pri največji vlažnosti vzorca tal in premeru zrn skeleta od 0,8 do 16 mm v odvisnosti od deleža skeleta.	30
Slika 26: Grafikon absolutne napake Divinerja v primerjavi z gravimetrično metodo pri premeru zrn skeleta od 0,4 do 0,8 mm	31
Slika 27: Grafikon absolutne napake Divinerja v primerjavi z gravimetrično metodo pri premeru zrn skeleta od 0,8 do 16 mm	32

KAZALO PRILOG

	str.
A 1. meritev – nizka vsebnost vode pri 5 % skeleta.....	40
B 2. meritev – srednja vsebnost vode pri 5 % skeleta.....	41
C 3. meritev – najvišja vsebnost vode pri 5 % skeleta.....	42
Č 4. meritev – nizka vsebnost vode pri 10 % skeleta.....	43
D 5. meritev – srednja vsebnost vode pri 10 % skeleta.....	44
E 6. meritev – najvišja vsebnost vode pri 10 % skeleta.....	45
F 7. meritev – nizka vsebnost vode pri 15 % skeleta.....	46
G 8. meritev – srednja vsebnost vode pri 15 % skeleta.....	47
H 9. meritev – najvišja vsebnost vode pri 15 % skeleta.....	48
I 10. meritev – nizka vsebnost vode pri 20 % skeleta.....	49
J 11. meritev – srednja vsebnost vode pri 20 % skeleta.....	50
K 12. meritev – najvišja vsebnost vode pri 20 % skeleta.....	51
L Količina vode v tleh (vol. %) merjene z gravimetrično metodo θ_w (vol. %).....	52
M Gostota vzorca tal (g/cm^3) v zaboju pri različnih vsebnostih skeleta.....	53

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

Okrajšava	Pomen
TDR	Time Domain Reflectometry - merjenje časa odboja
FD	Frequency Domain - merjenje frekvence
PVC	polivinilklorid
SF	relativna frekvenca

Simbol	Ime simbola	Enota
mm	milimeter	mm
cm	centimeter	cm
g	gram	g
kg	kilogram	kg
l	liter	l
dm ³	kubični decimeter	dm ³
cm ³	kubični centimeter	cm ³
°C	stopinja Celzija	°C
θ_g	masni odstotek vode	%
m_v	masa svežega vzorca	g
m_{sv}	masa posušenega vzorca	g
θ_w	volumski odstotek vode	vol. %
ρ_w	gostota vode	g/cm ³
V_1	prostornina vzorca	cm ³
V_b	prostornina svežega vzorca	cm ³
F_a	frekvenca v zraku	
F_w	frekvenca v vodi	
F_s	frekvenca senzorja	

1 UVOD

Voda je osnovna sestavina v tleh in ima velik vpliv na vse dejavnike in procese v tleh. Voda je v stalnem gibanju. Gibanje je možno v vseh smereh in je odvisno od več dejavnikov. Ko je vode v tleh dovolj, se zaradi gravitacije pretaka navzdol. Ob padavinah se lahko giblje vodoravno po površni, ob manjši količini v tleh pa preko kapilarnega dviga navzgor proti vrhu. Vedno se giblje od večje vlažnosti proti bolj suhim tlam. Giblje se v prostorih in prostorčkih (večjih oz. manjših porah), kjer se izmenjuje z zrakom.

Že v starih civilizacijah pred nekaj tisoč leti so ljudje razvili namakalne sisteme, saj je voda najpomembnejši dejavnik za uspešno rast in razvoj rastlin. Tudi danes želimo pridelovalci in agronomi naravo prilagoditi svojim potrebam. Vedno več namakamo, za kar potrebujemo čim bolj enostavne in natančne metode merjenja vode v tleh. Poznanih je več različnih metod in tehnologij. Želimo si neposredno spremljati razpoložljivost vode v koreninski coni rastlin in ugotavljati morebitne zaloge ali pomanjkanje. Za merjenje smo uporabili gravimetrično metodo in elektronski merilec Diviner 2000®, ki deluje na principu spremenjene frekvence polnjenja kondenzatorja.

1.1 CILJ RAZISKAVE

S to diplomsko nalogo smo poskusili ugotoviti, ali skelet v tleh vpliva na merjenje vlage z Divinerjem. Do sedaj se je namreč pokazalo, da je meritev z omenjenim instrumentom občasno netočna.

1.2 DELOVNA HIPOTEZA

Pričakovali smo, da je skelet tisti, ki vpliva na točnost Divinerja. Predvidevamo, da je ravno prisotnost skeleta tista, ki vpliva na točnost meritev.

2 PREGLED OBJAV

2.1 TLA

Tla so trifazni sistem, sestavljen iz trdne, tekoče in plinaste faze. Če jih natančneje razdelimo, so sestavljena iz mineralnih snovi, ki nastajajo s preperevanjem kamnin, organskih snovi in organizmov. Poleg tega tla sestavlja tudi voda z raztopljenimi solmi in zrak. Delež mineralnih in organskih snovi je v določenih tleh relativno ustaljen, medtem ko se delež vode in zraka spreminja (Spoznajmo tla, 2005).

Tla nudijo oporo rastlinskim koreninam in zadržujejo vodo ter hranilne snovi, ki jih rastline srkajo preko koreninskih laskov. V določeni prostornini tal se količina trdne faze tal praktično ne spreminja in zajema od 40 do 70 % celotnega prostora. Prazen prostor med trdnimi delci (pore) zasedata voda in zrak, ki sta v obratnem sorazmerju. Več kot je vode, manj je zraka in obratno (Pintar, 2003).

Tla so sestavljena iz mineralnih delcev različnih oblik, velikosti in kemijske sestave ter iz organskega dela. Po sestavi lahko tla uvrstimo v več teksturnih razredov glede na velikost delcev (pesek, melj in glina). Ti delci so različno zastopani in tako govorimo o peščeno-glinastih, peščeno-meljastih, ilovnatih, meljasto-glinenih tleh itn. V splošnem velja, da so peščena tla lažja od glinastih in že po sestavi lahko ugotovimo, kaj se dogaja z vodo, kako hitro odteče in koliko so tla primerna za obdelavo.

Organske snovi in mineralna veziva vežejo talne delce med seboj v skupke. Ti dajejo tlem različno strukturo, ki jo po velikosti delimo na:

- kepasto (delci večji od 5 cm),
- grudičasto (delci velikosti od 1,1 do 5 cm),
- mrvičasto (delci velikosti od 1 do 10 mm),
- prašnato (delci manjši od 1 mm);

po obliki pa na (Spoznajmo tla, 2005):

- kroglasto,
- listnato,
- prizmično,
- poliedrično.

V Sloveniji najpogosteje srečamo kroglaste, oglate in lističaste strukturne agregate. Kroglaste strukturne agregate delimo na tri podoblike. Mrvičasti strukturni agregati so sami porozni in so podobni drobtinam kruhove sredice. Značilni so za tla z velikim deležem organske snovi, kot so npr. gozdna tla. Najdemo pa jih tudi v kompostih in substratih za sajenje lončnic, ki jih lahko kupimo v trgovini. Grudičasti strukturni agregati so zaobljeni in čvrsti, medtem ko imajo oreškasti strukturni agregati že posamezne ravne ploskvice ali ostre robove in tvorijo prehod k oglatim strukturnim agregatom. Oglati ali poliedrični strukturni agregati imajo ravne ploskve in ostre robove. Med seboj se razmeroma dobro prilegajo. Značilni so za tla, ki so nastala na apnencih in dolomitih. V poplavnih nižinah, kjer so tla občasno močno nasičena z vodo in so tudi teksturno težja

(vsebujejo velik delež gline), najdemo lističaste strukturne agregate. Ti imajo obliko tesno zloženih ploščic, ki ovirajo pretok vode skozi tla (Spoznajmo tla, 2005).

Tekstura določa sposobnost tal za zadrževanje vode, kar nas zadnje čase ob velikih sušah in na drugi strani ob presežkih vode najbolj zanima. V naravnem okolju so rastline vsakodnevno izpostavljene nihanju količine vode v tleh, na zmanjšanje tega nihanja pa lahko močno vplivajo že sama tla.

2.2 VODA V TLEH

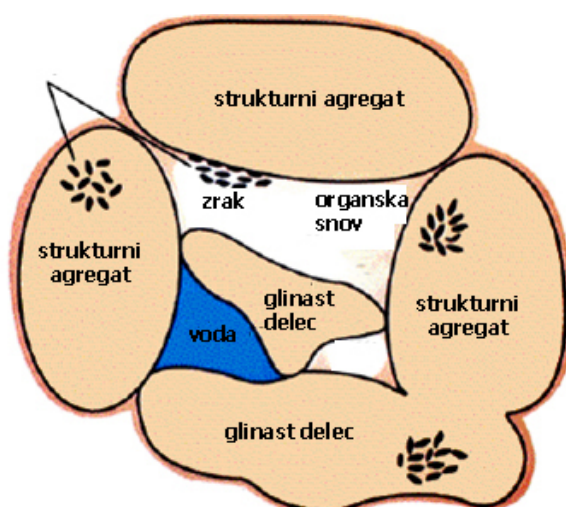
Voda se v tleh pojavlja v vseh treh agregatnih stanjih: tekočem, plinastem in trdnem. V porah se voda dviga in pretaka ter tako s svojo prisotnostjo vpliva na skoraj vse procese, ki se dogajajo v tleh (strukture, teksture, velikosti por, kemične in fizikalne reakcije itd.).

Voda je v tleh različno vezana na talne delce. Eden izmed načinov vezave je absorbcija molekul vode na površino talnih delcev. Pri tem poteka vezava vode preko Van der Valsovih sil, ki delujejo na kratke razdalje, z električnimi silami med dipolno molekulo vode in električno nabito površino koloidnih delcev. Drugi način je zadrževanje vode v tleh z menisknimi silami, ki se pojavijo na mestu kontakta dveh delcev. Manjša kot je količina vode v tleh, večja je moč vezave (Adam, 2004).

Adsorbirana voda je vezana na površino talnih delcev z adsorpcijskimi in ozmotskimi silami. O kapilarni vodi govorimo takrat, ko se tvorijo meniski. Do tvorbe meniskov pride zaradi površinske napetosti vode (Zupanc in Pintar, 2001).

Tekstura in struktura tal imata pomembno vlogo za dostopnost in premike vode v tleh. Pri tem moramo paziti, da obeh pojmov ne zamenjujemo. Tekstura tal določa permeabilnost za vodo (kako se voda giblje skozi tla), kapaciteto za zadrževanje vode, aeracijo, sposobnost za obdelovanje tal in rodovitnost tal (lahko vidimo, da je infiltracija vode najboljša v peščenih tleh, najslabša pa v glinastih).

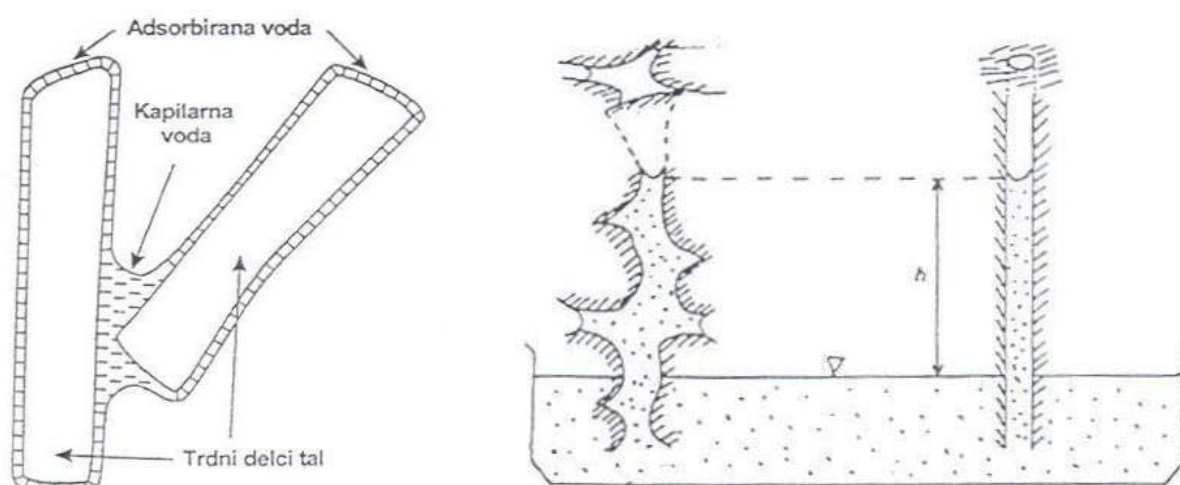
Struktura je način, kako se teksturni delci združujejo v klastre in agregate. Organska snov ima pri tem odločilno vlogo. Primer sestave tal prikazuje slika 1 (Spoznajmo tla, 2005).



Slika 1: Strukturni agregati, zrak, voda, glinasti delci in organske snovi v tleh (Spoznajmo tla, 2005).

Voda v naravi stalno kroži in to kroženje oz. gibanje se prav tako dogaja tudi v tleh. Voda se giblje v vseh smereh. Ob padavinah pronica navzdol (hitrost je odvisna od tipa tal – kako porozna so tla) in tudi po sami površini, kar imenujemo površinski tok (Hočevar in Petkovšek, 1984). Voda, ki odteka, je pod vplivom gravitacijskih sil in tako odteče v podtalnico in naprej v potoke, reke in jezera. Tako imenovana gravitacijska voda po padavinah odteče in v tleh ostane le voda, ki jo tla lahko zdržijo. To stanje označimo z izrazom poljska kapaciteta. Ko je vode dovolj, se enakomerno porazdeli, to pomeni, da se tudi dviga. Zaradi kapilarne dviga lahko pride vse do površja, kar pa je najbolj odvisno od velikosti por. Velja, da je velikost kapilarne dviga obratno sorazmerna s premerom pore. Sesalna moč pri manjših porah je večja kot pri večjih porah. To pomeni, da imajo peščena tla vedno manj vode kot glinena.

Pojav kapilarne dviga v tankih cevkah je pomemben za razumevanje povezave med zadrževalno sposobnostjo tal, potencialom vode in vsebnostjo vode v tleh (slika 2).



Slika 2: Ponazoritev kapilarne vode in adsorbirane vode ob trdnem delcu ter ponazoritev kapilarne dviga (Zupanc in Pintar, 2001).

Višina kapilarnega dviga je odvisna od tipa tal (teksture) in seveda od velikosti por, te pa so spet odvisne od tipa tal, saj je v peščenih tleh pora bistveno večja kot na primer v glinastih tleh.

2.3 MERJENJE VODE V TLEH

Meritve so danes del vsakdana in skoraj ni stvari, ki bi jo počeli po občutku oz. »na pamet«. Tako je tudi vedno več načinov in instrumentov za merjenje vode v tleh, kar nam koristi pri izbiri kulturnih rastlin, kolobarju in še posebej pri namakanju. Na podlagi natančnih meritev lahko ustvarimo enakomerne razmere za rast in z namakanjem nudimo rastlinam pravo količino vode.

Metode za merjenje vlažnosti zemljišča lahko razdelimo na posredne in neposredne. Razlikujejo se po zanesljivosti, po tem, kako hitro so rezultati meritev uporabniku na voljo, ali lahko meritev ponovimo, po območju meritev in glede na ceno metode (Zupanc in Pintar, 2001).

2.3.1 Neposredne metode

Pri neposrednih metodah izločimo vodo iz tal, kar je dolgotrajno in naporno opravilo, a meritev je točna. Ločitev dosežemo na več načinov:

- s segrevanjem,
- z ekstrakcijo in nadomestitvijo vode s topilom ali
- s kemično reakcijo.

Končni rezultat količine vode je razlika spremembe mase vzorca po segrevanju. Drugi način odstranitve vode je tudi s kemično analizo izvlečenega topila, kjer izpodrinemo vodo.

2.3.1.1 Gravimetrično določanje vode v tleh

Gravimetrična metoda je najbolj zanesljiva meritev in se uporablja kot kalibrirni standard za vse ostale naprave. Pri natančnih odvzemih vzorcev izmerimo dejansko vsebnost vode v tleh, ki nas zanima. Metoda temelji na ločitvi vode, ki pri izparevanju izhlapi, pri čemer nam ostane le suha frakcija. Vzorec v naravi vzamemo in stehtamo, nato ga damo za 24 ur v sušilnico na 105 °C. Na ta način dosežemo, da izhlapi vsa voda razen higroskopsko vezane vode, ki pa za poljedelstvo nima bistvenega pomena. Po sušenju vzorec ponovno stehtamo. Razlika v masi nam poda vsebnost vode, ki se izraža v odstotkih mase ali prostornine po formuli (Zupanc in Pintar, 2001):

$$\text{Masni odstotek vode: } \theta_g = \frac{m_v}{m_{sv}} \quad \dots(1)$$

$$\text{Volumski odstotek vode: } \theta_w = \frac{V_v}{V_b} = \frac{m_v}{\rho_w * V_b} \quad \dots(2)$$

Povezava med masnim in volumskim odstotkom vode:

$$\theta_w = \theta_g * \rho_w \quad \dots(3)$$

θ_g – masni odstotek vode (%)

m_v – masa svežega vzorca (g)

m_{sv} – masa posušenega vzorca (g)

θ_w – volumski odstotek vode (%)

ρ_w – gostota vode (g/cm³)

V_1 – volumen vzorca (cm³)

V_b – volumen svežega vzorca (cm³)

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 razmerju debeline vode plasti v 100 mm debeli plasti tal (Hillel, 1998).

2.3.2 Posredne metode

Posredne metode merijo določeno fizikalno ali kemično lastnost tal, ki je odvisna od vsebnosti talne vode. Te meritve vključujejo določitev dielektrične konstante tal, električne prevodnosti tal, toplotne kapacitete, magnetne dovzetnosti itd. Pri posrednih metodah skozi postopke meritve vzorca ne spreminjamo. Najpogostejši način meritve je s sondo, ki jo vstavimo v tla. Pri tem lahko pride do manjše porušitve talnega vzorca. Fizikalne parametre v veliki meri obvladuje voda, tako da 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).

2.3.2.1 Nevtronska sonda

Sonda je izvor hitrih nevtronov, to so nevtroni, ki imajo veliko energijo. Vodikovi atomi imajo izrazito sposobnost za razprševanje in upočasnjevanje nevtronov. Visokoenergijski nevtroni so ob trku z atomskimi jedri upočasneni in preusmerjeni. Ta proces se imenuje termalizacija.

Kljub temu, da so za trke s hitrimi nevtroni primerni tudi drugi elementi, ki jih najdemo v tleh (ogljik – C, dušik – N, kisik – O, in fluor – F), pa imajo vodikovi atomi zaradi enake mase veliko večji termalizacijski učinek na hitre nevtrone kot drugi elementi (Zupanc in Pintar, 2001).

2.3.2.2 TDR (Time Domain Reflectometry – merjenje časa odboja)

TDR naprave merijo količino vode v tleh s pomočjo elektrode. 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. Sondo lahko vstavimo ali vkopljemo v tla pod poljubnim kotom.

Naprava meri čas med poslanim in sprejetim signalom medtem, ko proizvaja visokofrekvenčni elektromagnetni signal, ki potuje preko elektrod in se na mestih s spremenjeno upornostjo deloma odbije. Za določeno dolžino je časovni interval obratno sorazmeren s hitrostjo širjenja signala v tleh, saj se hitrost zmanjša s povečanjem vsebnosti vode, torej se čas poveča. Trajanje potovanja signala od začetka o konca elektrod se določi z osciloskopom. Osciloskop TDR naprave zabeleži krivuljo, kjer s pomočjo analize pridobimo podatke o vsebnosti vode v vzorcu (Adam, 2004).

2.3.2.3 FDM (Frequency Domain Method – merjenje frekvence)

Dielektrični senzor je sestavljen iz para elektrod (krožni kovinski obroči), ki je povezan z oscilatorjem. Ko je sonda vstavljena v tla ali v PVC (polivinilklorid) merilno cev, nameščeno v tleh, in jo aktiviramo s pomočjo radiofrekvenc, sistem tla-voda-zrak okrog PVC cevi ustvari dielektričnost kondenzatorja, le-ta pa zaključi oscilatorski krog. Spremembe količine vode v tleh povzročijo premik – spremembo frekvence. Pri tej metodi je za zanesljivost vsebnosti vode v tleh zelo pomembno, da je stik med cevjo in prozornim sistemom dober (Zupanc in Pintar, 2001).

FD je operacijsko preprosta metoda. Vsebnost vode je lahko zanesljivo določena s kalibracijo in normalizacijo vsake meritve. Meritve se izvajajo s sondami najrazličnejših oblik. Sonde se lahko vstavljajo v cevi ali pa se kot samostojne vstavijo v tla. Pri vstavljanju samostojnih sond ali cevi moramo paziti, da ne pride do porušitve tal ali da ne pride do zračnih mehurjev. Cevi za merjenje ali sonde so lahko trajno nameščene, in ko želimo meriti, le priključimo instrument ali v cev vstavimo sondo. Na ta način se izognemo vsem napakam, ki se lahko pojavijo pri vstavljanju, pa tudi tla se ob merilni cevi primerno utrdijo.

Posamezne FD sonde merijo vsebnost vode v tleh pri stalni frekvenci, ki se giblje od 38 do največ 150 MHz. Dejanska delovna frekvenca kapacitetnih sond je nižja od omenjene najvišje vrednosti. Z nižanjem frekvence se povečuje vpliv električne prevodnosti tal. Privzetega dela dielektrične konstante ne moremo več izmeriti, ker ta izkrivlja meritve vsebnosti vode. To je razlog za občutljivost FD senzorjev na visoko električno prevodnost tal (=slanost tal). Ker obstaja obratno sorazmerje med 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)

DIVINER 2000

Diviner 2000, je ena od sond, ki jih lahko najdemo na tržišču in deluje na principu FD. To je ena izmed naprav za posredno merjenje vode v tleh. Ti načini so vedno bolj uporabljani, ker omogočajo neposredno in sprotno spremljanje sprememb v tleh. Merilna cev je lahko skozi celo leto vstavljena v tla in ob meritvi le vstavimo sondo. Tako je izvedba meritve hitra in tla ostanejo nedotaknjena.

Zakaj je Diviner 2000 dober pripomoček za merjenje količine vode v tleh?

(EnviroSCAN, 2005)

- Ker je najhitrejši, najnatančnejši in enostaven za uporabo,
- omogoča varovanje okolja pri izpiranju v tla,
- varuje rast rastlin, saj omogoča točne podatke in ob pravi namakalni shemi zdrave in močne rastline,
- podatke lahko vidimo takoj po opravljeni meritvi na zaslonu ali pa jih izvozimo na računalnik,
- podatki meritev so numerični ali grafični.

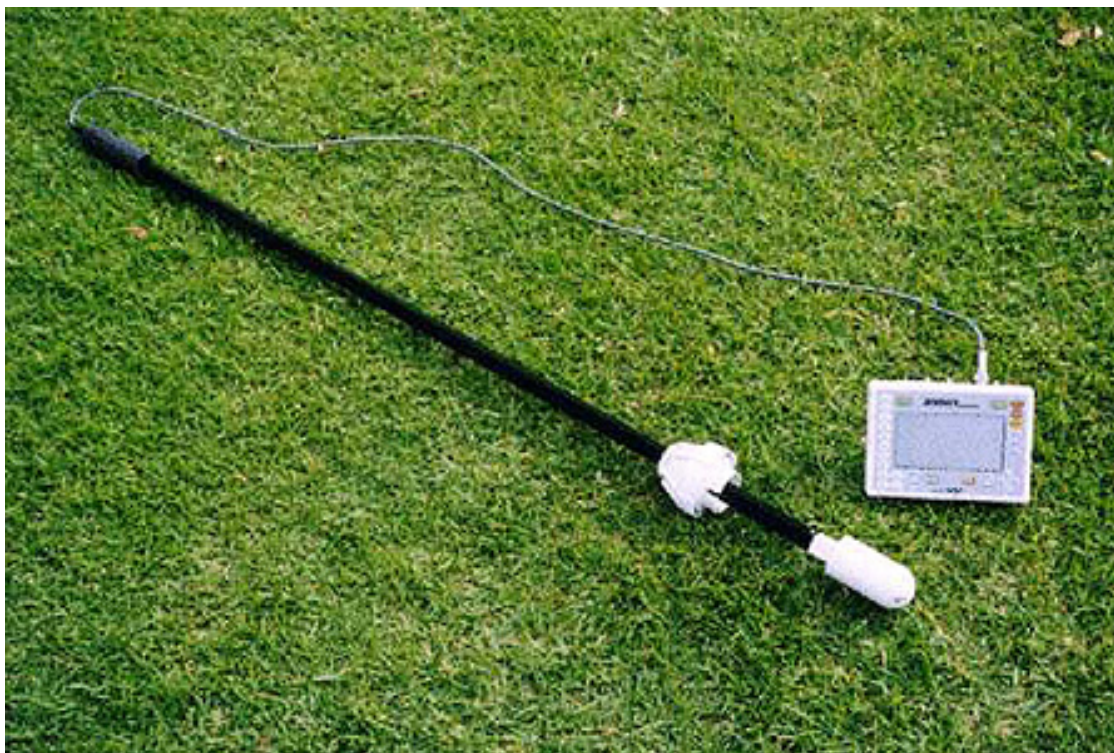
Z njim lahko merimo (EnviroSCAN, 2005):

- 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.

3 MATERIAL IN METODE

3.1 SPLOŠNO O DIVINERJU 2000

Diviner 2000 je prenosni instrument za merjenje količine vode v tleh. Merjenje poteka v okrogli PVC cevi bele barve na enakomernih intervalih po 10 cm s FD. Sestavljen je iz prikazovalnika, valjaste sonde in merilnih cevi (slika 3). Premer cevi je 5 cm, dolžina pa je poljubna, kar pomeni, da se sami odločimo, do katere globine bomo merili. Maksimalna globina je 160 cm, kar je tudi dolžina nosilne palice sonde (Diviner 2000 Probe..., 2000).



Slika 3: Diviner 2000 – celoten merilni instrument (Standards Australia..., 2005).

Nosilna palica je opremljena z metrom, ki prikazuje, na kateri globini se nahaja senzor. Na enem koncu palice je sonda s senzorjem, na drugem koncu pa je kabel za povezavo s prikazovalnikom. Prikazovalnik je srce celega instrumenta, saj se v njem nahaja spominski modul, funkcijske tipke za upravljanje in baterija (slika 4). Diviner podatke shranjuje v profile, kar pomeni, da se vsaka meritev zapiše v profil, ki ga določimo (Diviner 2000™ - portable).



Slika 4: Diviner 2000 – prikazovalnik in sonda (Standards Australia..., 2005).

Diviner meri z visokimi frekvencami 100 MHz in s tem povzroča specifično polarizacijo vodnih molekul na enoto volumna. Rezultati, ki jih dobimo, so vol. % vode v tleh. Diviner je potrebno pred uporabo kalibrirati in normalizirati. Podatki, ki jih ponuja proizvajalec, so precej splošni, tako da se je po dosedanjih izkušnjah izkazalo, da je Diviner v določenih tleh nenatančen. Lahko se odločimo za lastno kalibracijo in tako pridobimo natančnejše meritve. Kalibracijska enačba je matematična povezava med meritvami frekvence Divinerja in volumsko vsebnostjo vode, pridobljene z gravimetrično metodo. Poleg kalibracije je pomembna še normalizacija senzorja sonde, ker se vsak senzor na vodo in zrak odziva nekoliko drugače. Z vnosom vrednosti obeh parametrov v kalibracijsko enačbo je mogoče standardizirati vse meritve senzorjev, kar med drugim omogoča primerjavo meritev med sondami (Adam, 2004).

3.1.1 Uporaba Divinerja 2000

Delo z Divinerjem je dovolj enostavno in prijazno uporabniku. Nabor funkcij Divinerja lahko uporabljamo na prikazovalniku. Ko instrument povežemo z računalnikom je funkcij še več, saj lahko vse podatke prenesemo v različne programe in formate. Najbolj je razširjen program Excel, v katerem smo predstavili in urejali podatke.

Ob vklopu Divinerja se nam na osnovnem zaslonu pokaže prikazana slika (slika 5). To je osnovni meni, kjer so izpisani osnovni podatki. Vpisana sta ura in datum, ki ju moramo pravilno nastaviti, da sta pregled in urejenost končnih podatkov pravilna. Čas nam pomaga pri iskanju določenega podatka. Dva pomembna podatka sta tudi stanje baterije in spomin, kar nam prikazujeta drsnika v sredini zaslona.



Slika 5: Osnovni zaslon Divinerja 2000 (EnviroSCAN, 2005).

Nastavitve izberemo s tipko »SETUP« (slika 6). V tem meniju nastavimo uro, datum in normalizacijo senzorja na zraku ter v vodi. Normalizacija senzorja je pomembna zato, ker se vsak senzor na zrak in vodo odziva drugače. S tega podatkom dosežemo, da so meritve instrumenta standardizirane.

Postopek normalizacije izvedemo tako, da sondo potisnemo v merilno cev, ki je na zraku in v vrstici »AIR COUNT« pritisnemo »ENTER«. Postopek traja približno 10 sekund. Normalizacijo izvajamo v cevi, ker senzorja ne smemo direktno izpostaviti zraku ali vodi.

V peti vrsti nastavitvenega menija se nahaja rubrika »PROBE TYPE«. Tu izberemo interval merjenja, ki je ponavadi 10 cm. Spodnje nastavitve na ekranu pa se nanašajo na zaslon in kontrast ter povezavo z računalnikom (Diviner 2000, 2000).



Slika 6: Nastavitveni meni (EnviroSCAN, 2005).

Do kalibracijskega profila pridemo s pomočjo tipke »CALIBRATION MODE« (slika 7). To možnost uporabljamo pri odpiranju novega profila t.i. novega merskega mesta.

- Najprej izberemo zaporedno številko profila. Profili si sledijo od 1 do 99.
- V vrstici »DATUM« določimo mersko enoto, inč ali centimeter.
- V naslednji vrstici »DEPTH« je globina meritve oz. dolžina cevi, v kateri bomo merili.
- »SOIL TYPE« (tip tal) je predstavljen s številko. Ta številka identificira kalibracijsko enačbo (A, B in C vrednost), ki jo Diviner uporabi pri izračunu vlage. »CONSTANT« (konstante) so predstavljene v vrednostih A, B in C. (Kadar imamo izbran prednastavljen talni profil, se konstante ne pojavijo na zaslonu) (Diviner 2000, 2000).



Slika 7: Kalibracijski meni (EnviroSCAN, 2005).

Kalibriranje Divinerja 2000:

Diviner meri vsebnost vode v tleh na osnovi spremembe elektromagnetne frekvence, katero oddaja senzor. Spremembo v frekvenci povzroči spreminjajoča permitivnost tal, ki pa je odvisna od volumna por ter kako so te pore zasedene z vodo.

Metoda temelji na korelaciji med navidezno dielektrično konstanto (K_a) zmesi tla – voda – zrak ter količino vode v tleh (θ_w) pri različnih frekvencah elektromagnetnega polja (Paltineanu in Starr, 1997). Če za meritve θ_w uporabimo radio frekvence, je pri 20°C ter

atmosferskem pritisku dielektrična konstanta (K_w) čiste vode 80,4, trdnih delcev tal od 3 – 7 ter zraka 1. K_w je inverzno in linearno odvisna od temperature ter ima vrednost od 88,15 do 70,10 v razponu od 0 do 50°C (Paltineanu in Starr, 1997).

Senzorjeva izhajajoča frekvenca se spreminja proporcionalno s permitivnostjo tal ter naraščanjem vsebnosti vode v tleh (Baumhardt s sod., 2000). Frekvenco senzorja v tleh F_s pretvorimo v relativno frekvenco SF z izrazom:

$$SF = \frac{(F_a - F_s)}{(F_a - F_w)}, \quad \dots(4)$$

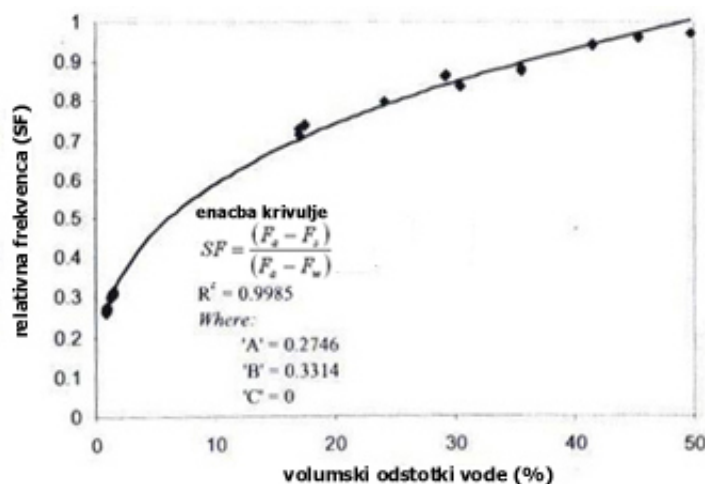
kjer je F_a frekvenca v zraku ter F_w frekvenca v vodi.

Vsebnost vode θ_w v tleh izračunamo po izrazu:

$$\theta_w = \left(\frac{SF - C}{A} \right)^{\frac{1}{B}} \quad \dots(5)$$

kjer so A, B in C kalibrirne konstante (slika 8) (Baumhardt s sod., 2000). V shranjevalcu podatkov so vnešene vrednosti, katere je določil proizvajalec (Sentek Pty Ltd, Australia), in sicer: A = 0,2746, B = 0,3314 ter C = 0.

Konstante A, B in C so določene pri kalibraciji, ko se meritve senzorja natančno primerja z gravimetričnimi meritvami količine vode v tleh. Vzorci za gravimetrično metodo so odvzeti vzdolž profila, kjer smo pomerili z Divinerjem, na isti globini ter čim bližje točki, kjer je pomeril senzor. Glede na naravo metode z Divinerjem, je to tik ob cevi.



Slika 8: Osnovna matematična enačba pri sestavljeni strukturi tal (Diviner 2000, 2000).

Nekaj kalibracij nam ponuja proizvajalec (Sentek Pty Ltd, Australia), vendar ne za vse tipe tal. Ostale kalibracije moramo narediti sami.

Osnovna kalibracijska enačba nam poda relativne podatke, ki zadoščajo za večino meritev. Vse ostale kalibracije, ki jih uporabimo za posamezne tipe tal, pa nam omogočajo bolj natančne podatke.

»SCAN MODE« oz. merilni meni.

S pritiskom na tipko »SCAN« (slika 9) se nam na zaslonu izpišejo podatki:

- zaporedna številka profila,
- globina meritve (cevi),
- čas,
- in datum.

Merilni profil bi lahko imenovali tudi delovni profil. Data logger meritev ne sprejme, če nismo odprli merilnega mesta. V data loggerju vtipkamo številko profila, ki ga želimo oz. za katerega vemo, da je še prost. To izvedemo tako, da pritisnemo tipko »ENTER« (na zaslonu se izpiše »POSITION THE PROBE AT START POINT DISPLAYS«). S prvo meritvjo, ko v cev spustimo sondo dol in gor, definiramo globino profila. Meritev se izvaja v intervalih po 10 cm in Diviner v profil vpisuje rezultate. Na koncu se izpiše »SCAN COMPLETED« in meritev je zaključena. Meritve smo izvajali večkrat zapored in več meritev si lahko sledi, ne da bi bilo potrebno sondo jemati iz cevi.

Pomembno je, da je merilna cev suha in čista. V primeru, da je v cevi voda, se na zaslonu izpiše: »WATER IN TUBE«. Takrat moramo cev obrisati s krpo in jo osušiti (Diviner 2000, 2000).



Slika 9: Merilni meni (EnviroSCAN, 2005).

»TABLE MODE« (slika 10) je meni, kjer lahko pogledamo trenutne podatke o meritvah. Na zaslonu se nam izpiše oz. lahko izberemo zaporedno številko željenega profila. Za tem

sledi ura in datum meritve, v tretji vrsti je globina (»DEPTH«) in vrstico nižje podatki za vsako globino v intervalu po 10 cm.

Vrednosti meritev so lahko v profilu »SINGLE«, kar pomeni, da so vrednosti meritev ločene za vsak interval posebej, v nasprotnem primeru »SUMMED« pa se podatki seštevajo (sešteva se izmerjena količina vode v tleh na 10 cm + 20 cm + 30 cm ... do končne globine). Rezultat je podan v milimetrih (Diviner 2000, 2000).



Slika 10: Pregled izmerjenih podatkov na Divinerju (EnviroSCAN, 2005).

»CONTINUOUS MODE« (slika 11) uporabljamo za branje podatkov v željenem profilu na vsaki globini posebej. Na zaslonu se nam izpiše ura in datum, zaporedna številka, globina, tip tal, ki je šifriran, in frekvenca sonde »SF« (Diviner 2000, 2000).



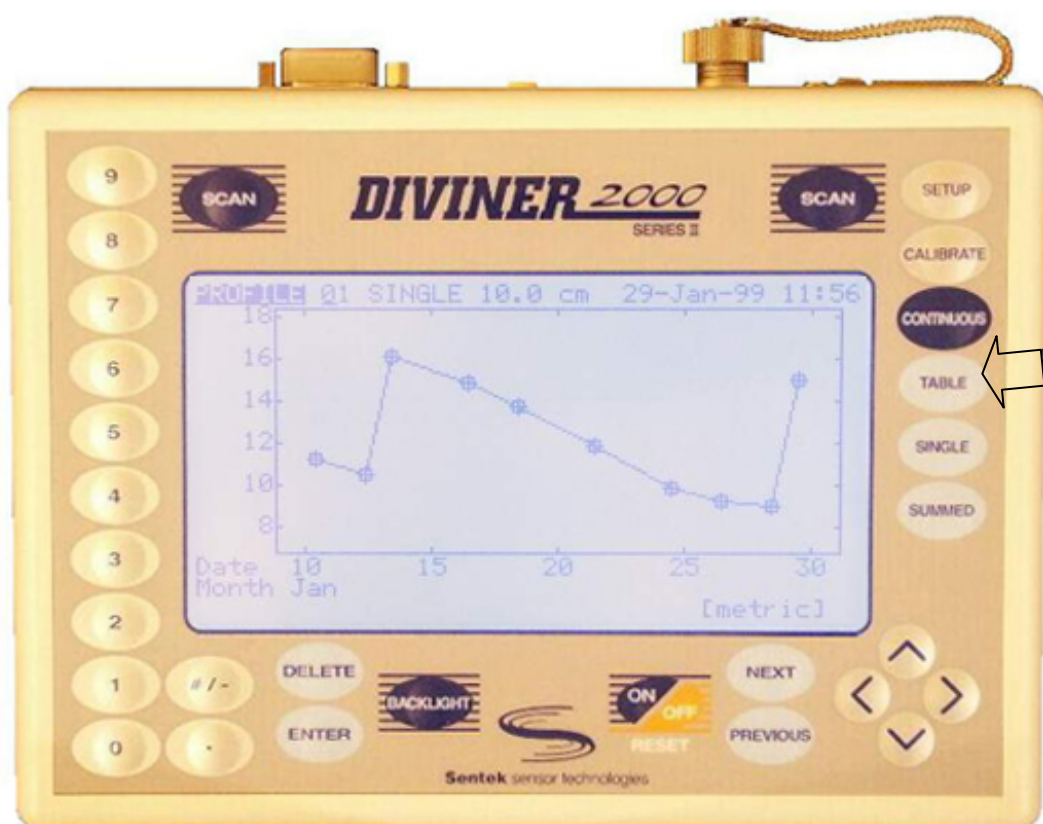
Slika 11: Continuous mode – prikaz meritve na vsaki globini posebej (EnviroSCAN, 2005).

Grafični prikaz izmerjenih podatkov:

S to funkcijo imamo možnost predstavitve podatkov v tabelah. Prikazani grafi so lahko ločeni (»SINGLE«) (slika 12) po intervalu merjenja (posebej ločeno po globini za vsakih 10 cm) ali pa je tabela skupna za več globin ali celo za cel profil (»SUMMED«). »SINGLE MODE« nam omogoča pregled vlage v tleh za posamezno globino v izbranem času meritve. Z možnostjo »SUMMED MODE« vidimo v grafu celotne spremembe vlage v določenem profilu in času (Diviner 2000, 2000).

Z uporabo funkcijske tipke »SINGLE« izberemo določeno zaporedno številko profila. Poleg številke profila se nam na prikazovalniku v zgornji vrsti izpiše še globina ter datum in čas meritve.

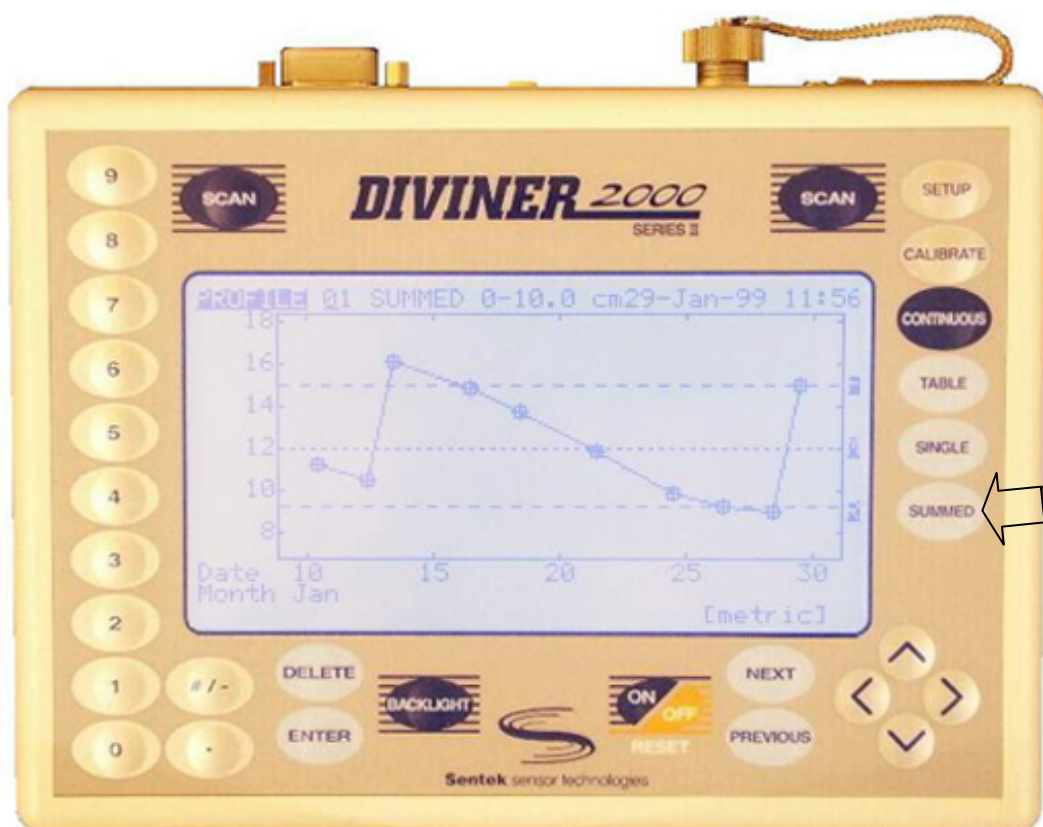
- Tabelo lahko pregledujemo po vrsti za vsak profil posebej v zaporedju s pritiskom na tipki »NEXT« (naslednji) ali »PREVIOUS« (predhodni). S tem izbiramo zaporedne profile na določeni globini.
- Pregled je mogoč tudi v enem profilu skozi vse intervale globine po 10 cm. S smernimi tipkami označimo globino in s pritiskom na tipki »NEXT« (naslednji) ali »PREVIOUS« (predhodni) pregledujemo en profil skozi vso merjeno globino.



Slika 12: Grafični prikaz meritev po globini za vsak interval (EnviroSCAN, 2005).

Z uporabo funkcijske tipke »SUMMED« se na zaslonu izriše graf željenih globin. Ko izberemo določeno zaporedno številko profila, se poleg številke profila na prikazovalniku v zgornji vrsti izpiše še globina po intervalu od 0 do največje globine npr. 10 cm, kakor prikazuje slika 13, ter datum in čas meritve (Diviner 2000, 2000).

- Tabelo lahko pregledujemo po vrsti, če želimo v zaporednih profilih, kar storimo s pritiskom na tipki »NEXT« (naslednji) ali »PREVIOUS« (predhodni).
- S smernimi tipkami označimo globino in s pritiskom na tipki »NEXT« (naslednji) ali »PREVIOUS« (predhodni) povečamo oz. zmanjšamo velikost prikazanega intervala v profilu. Vsako spremembo lahko bolj natančno pregledamo v delnih intervalih posameznega profila.



Slika 13: Grafični prikaz meritev po celotnem profilu (npr. 0–10 cm, 30–60 cm ...) (EnviroSCAN, 2005).

Meritve, ki jih lahko že takoj na terenu pregledujemo na prikazovalniku, lahko prenesemo na računalnik s pomočjo priložene programske opreme in kabla za povezavo Divinerja z računalnikom. Tak izpis je največkrat uporabljen v tabelah programa Excel, kjer sta urejanje in primerjava podatkov bolj pregledna (Diviner 2000, 2000).

Diviner je po celotnem ohišju posejan z gumbi, ki omogočajo različne operacije. Glavne funkcije in podatke smo na kratko že opisali, ostale so še:

- »ON/OFF« – možnost vključite in izključite Divinerja (slika 14),
- »BACKLIGHT« – vklop/izklop osvetlitve zaslona,
- »DELETE« – brisanje,
- »ENTER« – potrjevanje,
- »NEXT« – npr. izbiranje naslednjega profila,
- »PREVIOUS« – npr. izbiranje predhodnega profila,
- ŠTEVILČNICA – določanje zaporedne številke profila,
- SMERNE TIPKE – namenjene za sprehajanje po profilu.



Slika 14: S pritiskom na tipko »ON/OFF« se Diviner v nekaj trenutkih prižge oz. ugasne (EnviroSCAN, 2005).

3.2 METODE DELA

3.2.1 Začetna poskusa

Meritve za diplomsko nalogo smo začeli jeseni leta 2004, vendar smo pri prvem poskusu naleteli na težave. Naredili smo izkop talnega profila na laboratorijskem polju in tla ločevali posebej na vsakih 10 cm globine. Nato smo želeli izkopane profile vsakega posebej meriti z Divinerjem 2000 v cvetličnih koritih. Vanje smo na eni strani izvrtali luknjo in vanjo vstavili merilno cev Divinerja. Postopno smo dodajali vzorec tal in ga potlačili v korito. Zalomilo se je, ker so se ob tem stranice korita deformirale in prostornina ni bila več izmerljiva in posredno je bila gostota vzorca nižja od 1 g/cm^3 . Meritve pri tako izvedenem poskusu bi bile neregularne, zato smo se odločili za spremembo.

Poskus smo opustili in poskusili drugače. Na laboratorijskem polju smo po navodilih proizvajalca (Sentek Pty Ltd) vkopali cevi. Po nekaj dneh smo opravili meritve z Divinerjem. Sledilo je jemanje vzorcev za gravimetrično metodo s posebnimi cilindri. Na vsaki globini posebej smo vzeli štiri vzorce v intervalu po 10 cm do globine 60 cm. Vzorce smo stehali in jih 24 ur sušili v laboratoriju pri temperaturi $105 \text{ }^\circ\text{C}$. Posušene vzorce smo stehali in izračunali količino vode. Da bi ugotovili količino skeleta v vzorcih, smo vzorce tudi zmleli in jih presejali skozi sito velikosti 2 mm. S tem smo ugotovili količino in potencialni vpliv skeleta. Izkopavanje smo ponovili ob različnih vlažnostih tal (suho, srednje mokro in mokro). Dobljene rezultate Divinerja in gravimetrične metode smo primerjali in naleteli na odstopanja. Presenetljivo je bilo, da so se rezultati bolj skladali globlje, kjer je bil delež skeleta večji. To je bilo v nasprotju z našim predvidevanjem, zato smo želeli meritve izvesti še drugače. Razmišljali smo, če je možno poskus oblikovati še kako drugače. Pri prvi metodi smo se nadejali boljših rezultatov, če bi uspeli vzorce zgostiti v dovolj trdne okvire in če bi meritve izvedli v nadzorovanih pogojih ter z izmerljivimi parametri. Motnje pri drugi metodi, ki so v neki meri povzročale morebitno napako, so bile pri kopanju profila in jemanju vzorcev. Jemanje vzorcev je bilo težavno in kdaj nenatančno zaradi motečega skeleta ali drugih tujkov v tleh. Ugotovili smo, da je bil drugi poskus kasneje potrjen s tretjo metodo, saj je Diviner meril bolje ob večjem deležu skeleta.

3.2.2 Končni poskus – izvajanje meritev

Tla smo izkopali, osušili in presejali. Sušili smo jih na PVC foliji, jih večkrat na dan premešali, da so se enakomerno sušila. Kot vir energije za sušenje smo izkoristili visoko dnevno temperaturo. Da bi se izognili neenakomerni talni sestavi, skeletu in večjim organskim ostankom smo skozi dvomilimetersko sito presejali zadostno količino zemlje, si priskrbeli dva različna premera zrn skeleta in dva večja zaboja s trdnim okvirjem in izmerljivo prostornino. Zemljo smo ločili na dva dela, saj smo vanje vmešali skelet dveh različnih premerov zrn. V prvi vzorec smo za prvi sklop meritev vmešali 5 % skeleta s premerom od 0,4 do 0,8 mm in prav tolikšno količino skeleta premera zrn od 0,8 do 16 mm za drugi vzorec.

V zaboja (opisana sta v odstavku 3.2.5) smo vstavili cevi za meritve z Divinerjem in napolnili s pripravljenima vzorcema tal, postopoma po plasteh 5 cm in ju sprti zgoščevali s kovinsko letvijo in lastno težo vse do vrha zaboja (slika 15).



Slika 15: Napolnjena zaboja – prostornina 94,8 dm³.

Zaboj je bil trden in je omogočal velike obremenitve, tako da smo vzorce zgostili in se zelo približali gostoti neporušenega vzorca (priloga M). V literaturi zasledimo podatek, da se gostota tal v zgornjem delu profila giblje med 1,15 in 1,55 g/cm³ (Hillel, 1998).

Med tlačanjem smo v pripravljene luknje namestili tri PVC cevi za meritve z Divinerjem. S tem smo zagotovili boljši stik med cevjo in vzorcem ter se izognili zračnim žepom, ki so nezaželeni, saj ovirajo merjenje (slika 16). Meritve smo opravili v vsaki cevi po vrstnem redu od desne proti levi v dveh ponovitvah, da smo dobili boljše povprečje. Sledilo je še jemanje vzorcev za gravimetrično metodo.



Slika 16: Ob odstranitvi cevi je lepo vidno, kako se je skelet prilegal ob cev.

Po napolnitvi zabojev smo na prvo meritev počakali najmanj 48 ur, da smo se izognili nepopolnim meritvam, saj se je moral vzorec tal še samostojno zgostiti ob PVC cevi. Obenem smo zaboja pokrili s PVC folijo in s tem omilili evapotranspiracijo. V poletnem času je zunanja temperatura tako visoka, da bi bil zgornji sloj vzorca bistveno bolj osušen kot spodnji in bi bile meritve spet nenatančne.

Po tem času smo začeli meriti z Divinerjem. V vsaki cevi smo meritev dvakrat ponovili. Cevi so bile vstavljene 60 cm globoko, tako da smo v vsaki cevi izvedli po šest meritev (interval 10 cm). Zaradi povprečne vrednosti in manjših odstopanj smo v tabelo uvrstili le meritve na 30 cm, 40 cm in 50 cm (priloge od A do K).

Sledilo je jemanje vzorcev po več mestih za gravimetrično metodo (priloga L) in odvzem vzorcev s Kopecki cilindrom za določitev gostote tal v zaboju. Po končanih meritvah smo tla navlažili s približno 9 litri vode, kar je pomenilo dvig vlage za približno 10 vol. %. Na naslednjo meritev smo ponovno čakali vsaj 48 ur, da se je vlaga v zaboju enakomerno razporedila.

Tla smo še drugič navlažili z 9 litri vode in meritve ponovili z Divinerjem in gravimetrično.

Po končanem sklopu meritev smo osuševali vzorce tal (slika 17), saj smo vsak sklop meritev pričeli s suho frakcijo. Oba zaboja smo izpraznili in vzorec raztreseli po PVC foliji. Sušenje je trajalo, dokler se ni povprečna vlaga gibala med 10 in 15 vol. % oz. so bila tla na pogled in otip suha. Posušena tla smo ponovno uporabili in jim dodali dodaten skelet. Meritve smo opravili ob 5%, 10%, 15% in 20% deležu skeleta in pri treh različnih vsebnostih vode (cca. 10 vol. %, 20 vol. % in 30 vol. % vode). Tako smo vzorce navlažili ali osušili na željeno vlago in dodali po 5 % skeleta



Slika 17: Praznjenje zaboja za dodajanje skeleta in za pripravo na nove meritve.

3.2.3 Vzorčenje tal

Meritve in analiza so bile opravljene na vzorcih tal s polja v Klečah pri Ljubljani. Vzorce tal smo vzeli z izkopom do globine 30 cm. Struktura tal je grudičasta, rahlo peščena in zelo porozna.

3.2.4 Priprava tal in cevi na meritve z Divinerjem

Izkopane vzorce tal smo osušili za kasnejše sejanje skozi dvomilimetrsko sito. Na ta način smo izločili skelet, večje organske delce in tujke ter pripomogli k boljši homogenosti tal. S tem so bili omogočeni dobri pogoji za določitev skeleta, saj smo osnovni vzorec očistili in skelet kasneje dodajali. Pripravili smo dva kupa zemlje. V prvega smo vmešali skelet velikosti od 0,4 do 0,8 mm, v drugega pa skelet velikosti od 0,8 do 16 mm. Po vsakem sklopu meritev smo izpraznili zaboje, tla osušili in jim dodali dodatnih 5 % skeleta. Postopek smo štirikrat ponovili do končnih 20 % skeleta v vzorcu.

Cevi, ki smo jih uporabljali za meritve, so že v sklopu naprave Diviner 2000. To so posebne PVC cevi bele barve, dolžine 60 cm in premera 50 mm. Cevi imajo na enem koncu nepropustno zaprto dno, na drugem pa odebeljen del z ventilom za nemoten izpust

morebitne pare in pokrov (slika 18). Ob meritvi pokrov odvijemo in vstavimo sondo Divinerja. Po navodilih proizvajalca lahko vstavimo merilno cev pod poljubnim kotom, tako lahko merimo navpično, horizontalno ali celo postrani v talnem profilu.



Slika 18: Meritvena PVC cev Divinerja 2000.

3.2.5 Priprava zabojev za meritve

Izdelali smo dva zaboja velikosti 800 x 595 x 200 mm. Za ojačitve v kotih smo dodali stebre dimenzij 190 x 45 x 45 mm. Tako znaša prostornina zaboja 94,8 dm³ (slika 19). Material, za katerega smo se odločili, je iveral, saj je omogočal enostavno izdelavo. Njegova prednost je tudi, da ne absorbira vode, ker so stranice in podnica oblečene v folijo. Na sredini daljše stranice smo naredili tri luknje premera 60 mm v vmesnih razdaljah cca. 155 mm. Luknje so služile za vstavljanje merilnih cevi.



Slika 19: Zaboj – s sprednje strani so vidne izvrtane luknje, skozi katere smo vstavili merilne cevi.

3.2.6 Gravimetrično določanje vsebnosti vode

Gravimetrična meritev služi kot standard meritev vode v tleh. Na več naključno izbranih mestih in po celotnem profilu smo vzeli vzorce tal s posebno sondo. V vsakem zaboju smo za vsako vlažnost vzeli po pet vzorcev, ki smo jih združili v povprečen vzorec. Vsak vzorec smo stresli v PVC vrečko, saj se s tem prepreči izhlapevanje vode na poti v laboratorij. V laboratoriju smo vzorce stekali in jih dali v sušilnik pri temperaturi 105 °C za 24 ur. Po pretečenem času je sledilo ponovno tehtanje suhih vzorcev. Iz razlik v masi mokrega in suhega vzorca smo izračunali dejansko vsebnost vode v vzorcu.

3.2.7 Obdelava podatkov

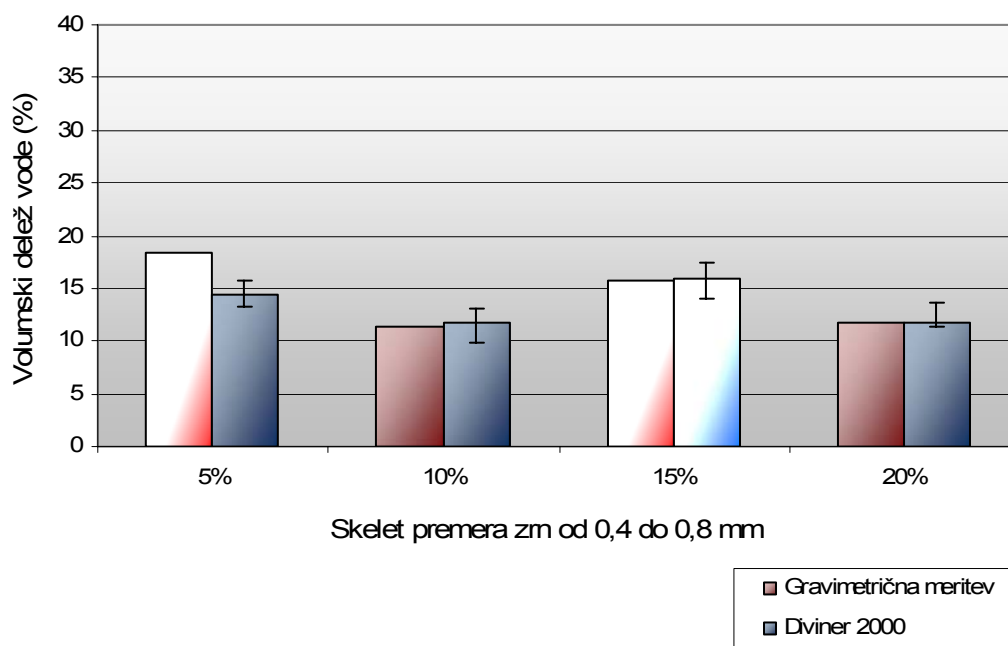
Po opravljenih elektromagnetnih in gravimetričnih meritvah količine vode v tleh smo za vsak tip tal in za vsako vlažnost posebej primerjali dobljene rezultate. Ker smo z Divinerjem naredili dve meritvi na cev in pri gravimetrični meritvi vzeli po pet vzorcev na zaboj smo izračunali povprečne vrednosti. Rezultati gravimetrične meritve so nam služili kot referenčna vrednost volumskega deleža vode in to smo primerjali z rezultati Divinerja. Pri vrednotenju rezultatov smo uporabili opisno statistiko (povprečje, standardni odklon, varianco) in za njihovo predstavitev stolpične grafikone.

4 REZULTATI

Meritve, dobljene z Divinerjem 2000, smo primerjali z rezultati, dobljenimi z gravimetrično metodo. Izmerjeni podatki so opisani in predstavljeni grafično ter v preglednicah, ki so v prilogah.

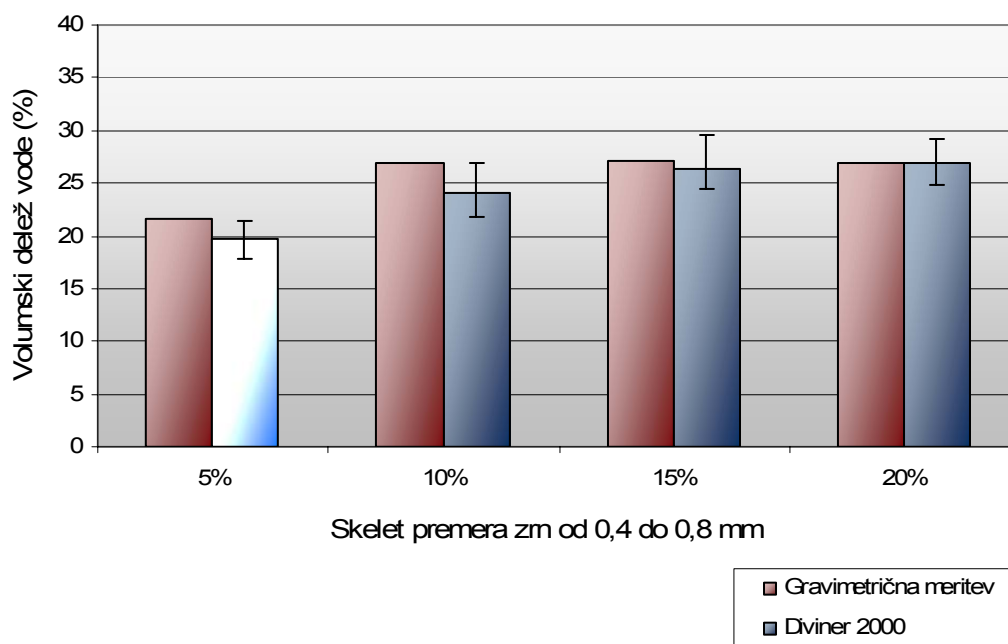
4.1 VOLUMSKI DELEŽ VODE V TLEH PRI PREMERU ZRN SKELETA OD 0,4 DO 0,8 MM

V prvem sklopu meritev količine vode v tleh pri nizki vsebnosti vode od 11,4 vol. % do 18,3 vol. % je bila meritev Divinerja pri 5 % skeleta za 3,9 vol. % nižja od gravimetrične. Meritve Divinerja pri 10 in 15 % skeleta so se postopoma približale gravimetričnim meritvam. Zadnja meritev pri najnižji vlažni tal in tem premeru zrn skeleta je bila odlična, saj sta bile obe meritvi enaki, 11,8 vol. % (slika 20). Podatki vseh meritev so v prilogah A, Č, F, I in L.



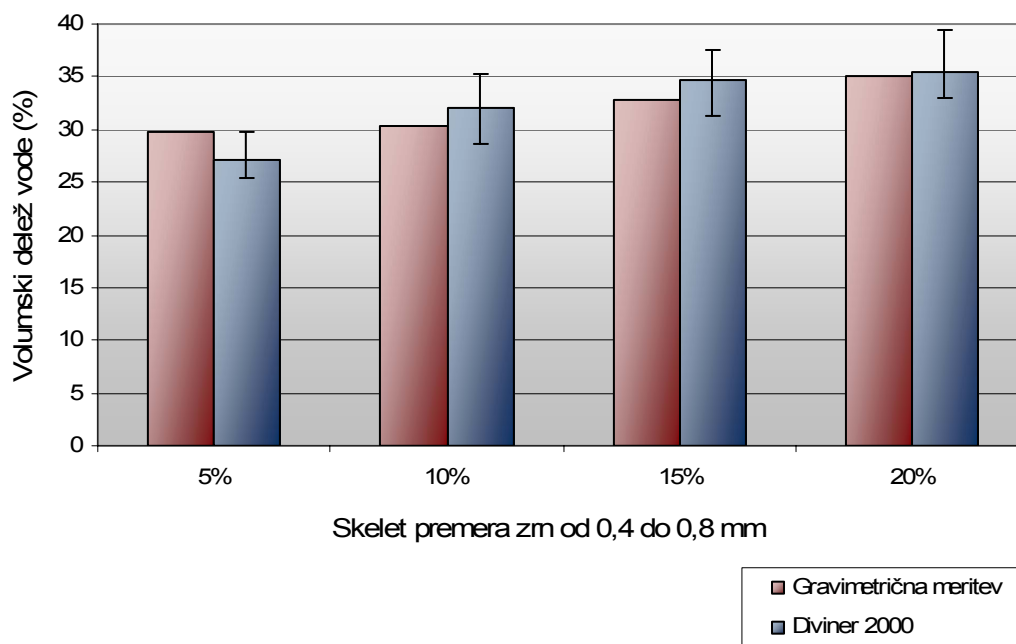
Slika 20: Volumski deleži vode v tleh v vzorcu tal pri najmanjši vlažnosti vzorca tal in premeru zrn skeleta od 0,4 do 0,8 mm v odvisnosti od deleža skeleta.

V drugem sklopu meritev pri vsebnosti vode po gravimetrični metodi med 21,6 vol. % in 27,2 vol. % (slika 21) so meritve Divinerja odstopale za največ 11,5 %. Opazno je tudi, da je meritev Divinerja najbolj natančna pri največjem deležu skeleta (20 %). Pri manjših deležih skeleta so bile meritve, dobljene z Divinerjem, vedno za nekaj odstotkov nižje od gravimetrične metode. Podatki vseh meritev so v prilogah B, D, G, J in L.



Slika 21: Volumski deleži vode v tleh v vzorcu tal pri srednji vlažnosti vzorca tal in premeru zrn skeleta od 0,4 do 0,8 mm v odvisnosti od deleža skeleta.

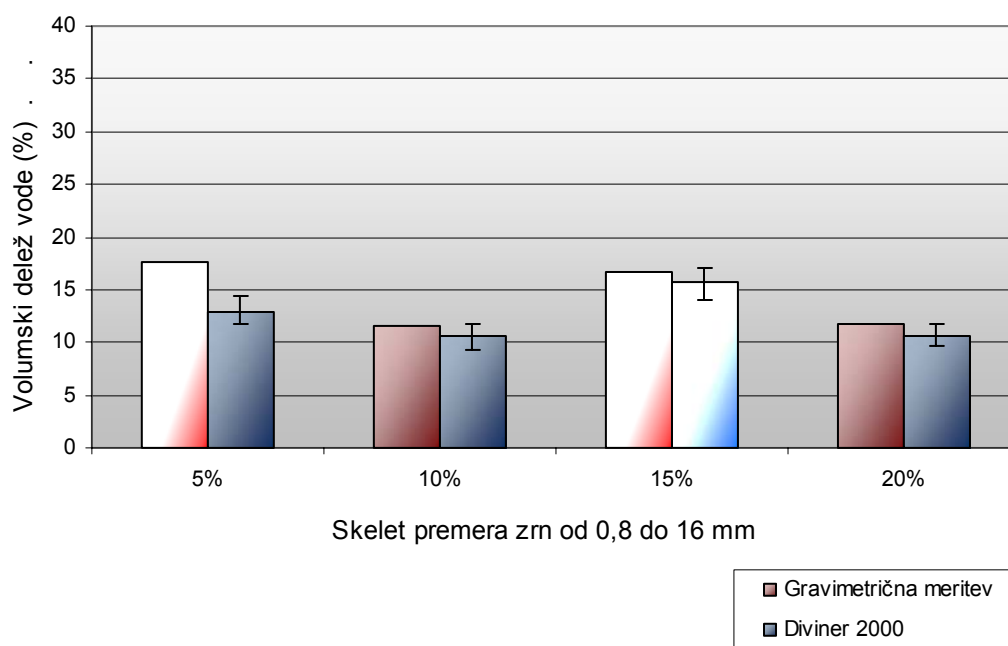
V tretjem sklopu meritev smo vzorca tal navlažili od 29,7 vol. % do 35 vol. % (merjeno po gravimetrični metodi). Rezultat je bil podoben prejšnjim, saj je bila napaka Divinerja pri 20 % skeleta zanemarljiva. Najslabša meritev pa pri 5 % skeleta, kjer je odstopanje 9,3 % (slika 22). Podatki vseh meritev so v prilogah C, E, H, K in L.



Slika 22: Volumski deleži vode v tleh v vzorcu tal pri največji vlažnosti vzorca tal in premeru zrn skeleta od 0,4 do 0,8 mm v odvisnosti od deleža skeleta.

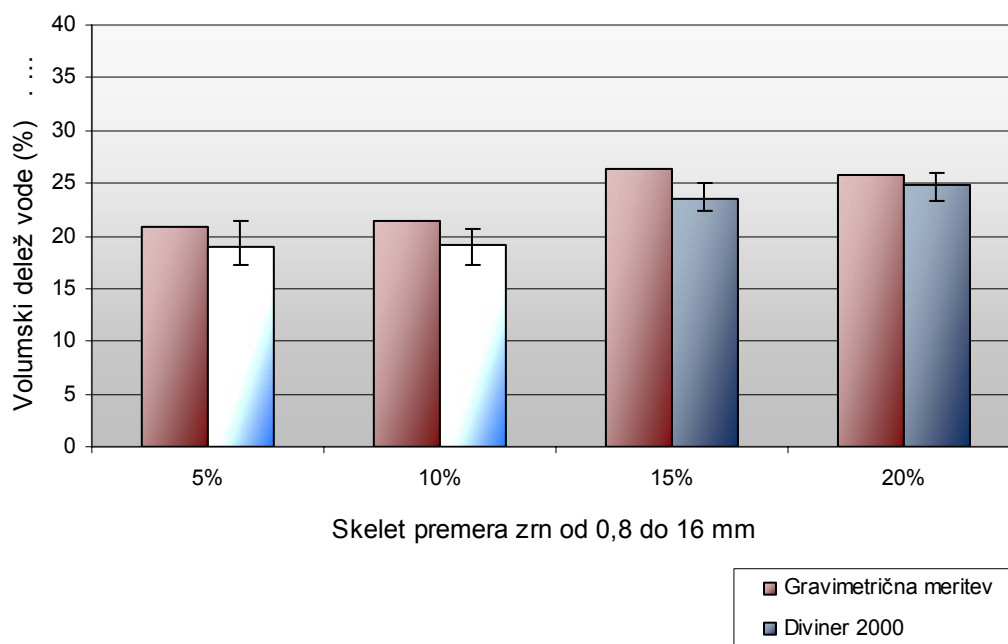
4.2 VOLUMSKI DELEŽ VODE V TLEH PRI PREMERU ZRN SKELETA 0,8 DO 16 MM

Meritve, ki smo jih izvedeli pri manjšem premeru skeleta, smo prav tako ponovili pri večjem, in sicer trikrat pri različnih vlažnostih in štirikrat ob različnih vsebnostih skeleta. Pri najmanjši vsebnosti vode v vzorcu smo opazili podobnost, da je bila meritev pri 5 % najslabša glede na meritev z gravimetrično metodo. Naslednje tri meritve Divinerja pri 10 %, 15 % in 20 % pa so v primerjavi z gravimetrično nižje za 5,6–9 % (slika 23). Podatki vseh meritev so v prilogah A, Č, F, I in L.



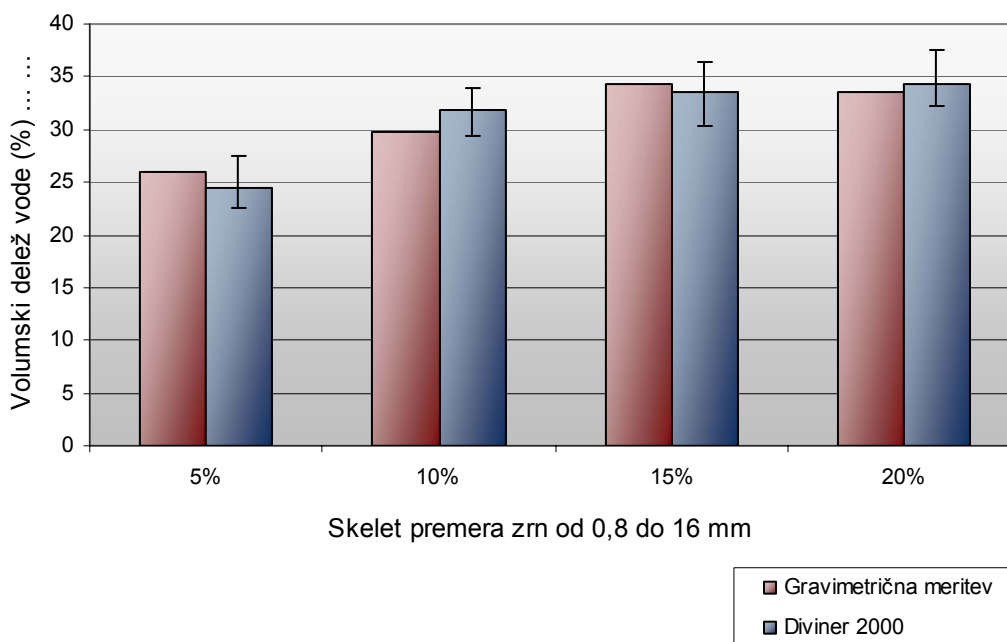
Slika 23: Volumski deleži vode v tleh v vzorcu tal pri največji vlažnosti vzorca tal in premeru zrn skeleta od 0,8 do 16 mm v odvisnosti od deleža skeleta.

Pri srednji vlažnosti in premeru zrn skeleta od 0,8 do 16 mm je Diviner izmeril nižje vrednosti od gravimetričnih. Meritev je bila najslabša pri vzorcu s 15 % vsebnosti skeleta, saj je znašala napaka Divinerja 2,8 vol. % vode v primerjavi z gravimetrično (slika 24). Podatki vseh meritev so v prilogah B, D, G, J in L.



Slika 24: Volumski deleži vode v tleh v vzorcu tal pri največji vlažnosti vzorca tal in premeru zrn skeleta od 0,8 do 16 mm v odvisnosti od deleža skeleta.

Zadnji sklop meritev smo opravili pri vlažnostih od 26,0 do 34,4 vol. % (merjeno z gravimetrično metodo). Najboljša meritev je bila pri vzorcu z največjo vsebnostjo skeleta. Zanimivo je tudi, da so meritve Divinerja pri 5 % in 15 % višje, pri 10 % in 20 % skeleta pa nižje od meritev z gravimetrično metodo. Največja napaka Divinerja je pri 5 % skeleta, in sicer 6,5 % (slika 25). Podatki vseh meritev so v prilogah C, E, H, K in L.



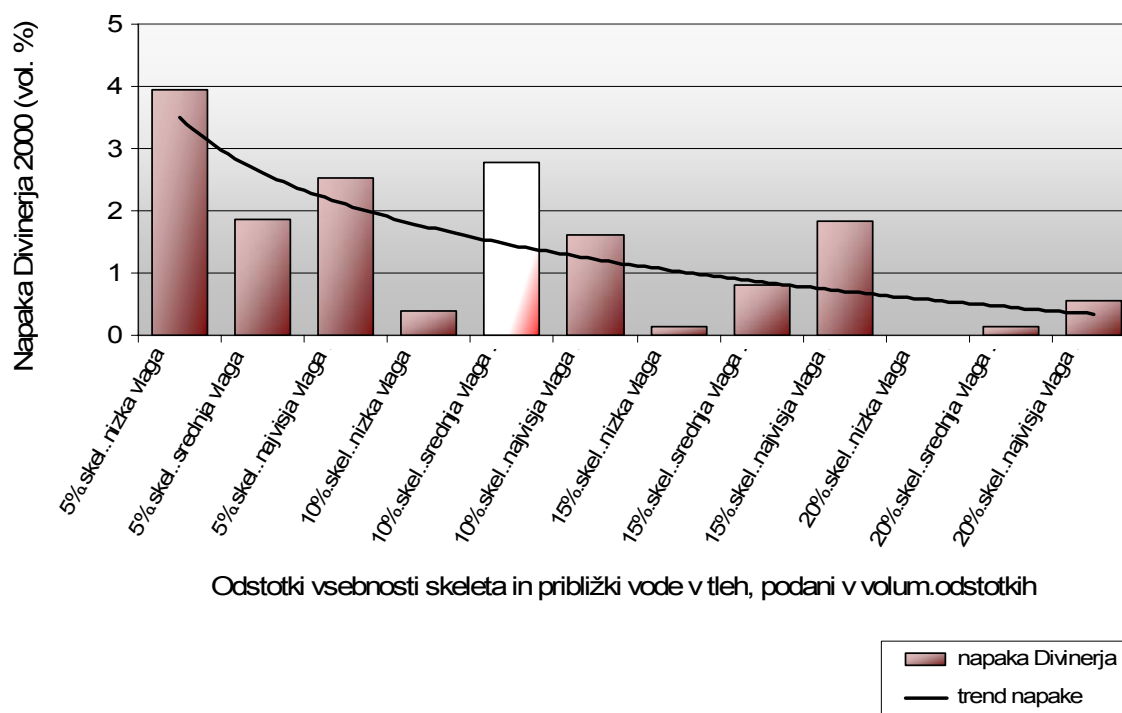
Slika 25: Volumski deleži vode v tleh v vzorcu tal pri največji vlažnosti vzorca tal in premeru zrn skeleta od 0,8 do 16 mm v odvisnosti od deleža skeleta.

4.3 PRIMERJAVA REZULTATOV

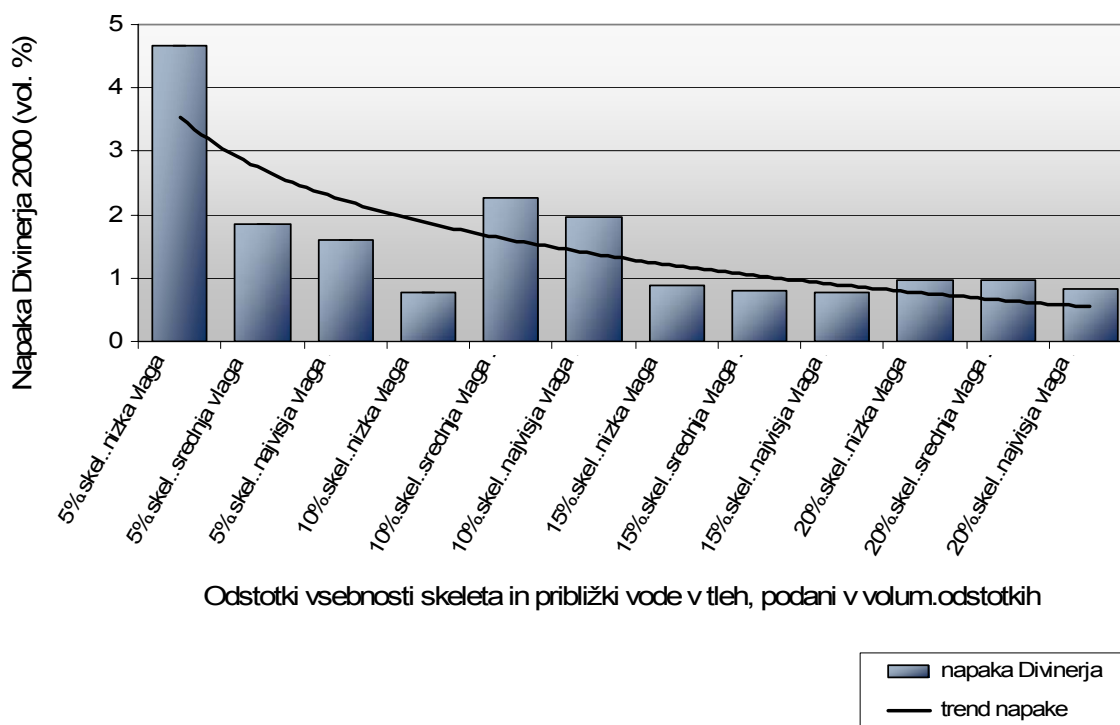
Meritve smo opravljali ločeno pri dveh premerih zrn skeleta. Pri hitrem pregledu napak meritev Divinerja ni vidnih večjih razlik med vzorci z večjimi oz. manjšimi zrn skeleta. Meritve Divinerja so bile presenetljive v tem, da več ko je skeleta, bolj se približa vrednosti, izmerjeni z gravimetrično metodo, ne glede na količino vlage v vzorcu.

Največja napaka se pojavi pri prvi meritvi, kjer je bila vsebnost vode v vzorcu približno 15 vol. % in vsebnost skeleta 5 %. Da izstopa samo ta meritev, je mogoče posledica kakšne napake. Ker so bile naslednje meritve opravljene po enakem postopku, menimo, da je možnost napake pri prvem merjenju izključena.

Meritve pri 20 % skeleta so bile zelo dobre, pri 5 % pa so bile slabše. Pri manjšem premeru zrn skeleta od 0,4 do 0,8 mm je opazno, da je pri 20 % skeleta napaka zanemarljiva (slika 26). Pri 15 % in 20 % skeleta s premerom zrn od 0,8 do 16 mm pa konstantno odstopajo od gravimetričnih vrednosti za cca. 1 vol. % (slika 27).



Slika 26: Grafikon absolutne napake Divinerja v primerjavi z gravimetrično metodo pri premeru zrn skeleta od 0,4 do 0,8 mm.



Slika 27: Grafikon absolutne napake Divinerja v primerjavi z gravimetrično metodo pri premeru zrn skeleta od 0,8 do 16 mm.

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

V zadnjih letih smo priča velikim klimatskim spremembam, posledično je vode v določenem obdobju preveč in drugič veliko premalo. Pridelovalci in agronomi želimo ta velika nihanja ublažiti in izboljšati načine namakanja oz. osuševanja tal. Pri teh metodah ne moremo brez meritev količine vode v tleh. Meritve lahko izvajamo s posrednimi ali z neposrednimi metodami.

V zadnjem obdobju se na katedri za urejanje kmetijskega prostora in agrohidrologijo Biotehniške fakultete srečujemo z velikim izborom naprav za merjenje vode v tleh. Večkrat so bile opravljene meritve in pri nekaterih so bila opazna odstopanja. Izvedenih je bilo kar nekaj meritev z Divinerjem 2000 in zgodilo se je, da je bila meritev pod mejo zelene natančnosti. V letu 2004 je Gregor Adam naredil preizkus več naprav za posredno merjenje in vse opisal v diplomskem delu *Primerjava različnih naprav za posredno merjenje volumskega deleža vode v tleh*, kjer se Diviner ni odrezal najbolje. Edina svetla točka je bila meritev v vzorcu mivke, kjer so bile meritve omenjene naprave med vsemi najboljše (Adam, 2004). Prav tako je meritve opravil Tomaž Zajec in opisal v diplomskem delu *Meritve vode v tleh z napravo Diviner*. Sicer je izvedel poskus z različnimi cevmi ampak tudi same meritve v originalni cevi so veliko varirale med gravimetrično metodo in Divinerjem (Zajec, 2005). Tako smo predvidevali, da bi bil lahko skelet tisti, ki vpliva na natančnost meritve. Primerjali smo rezultate meritev, opravljene z Divinerjem, in tiste, ki smo jih dobili z gravimetrično metodo.

Primerjava meritev Divinerja 2000 z rezultati, dobljenimi pri gravimetričnih meritvah, pokaže, da so bile napovedi pred izvedbo poskusa preveč črnogledne. K takemu razmišljanju nas je vodilo dejstvo, omenjeno v diplomski nalogi Gregorja Adama, kjer je primerjal naprave za posredno merjenje vode v tleh. Po opravljenih meritvah je ugotovil, da se je Diviner 2000 »izkazal kot najslabša naprava za merjenje vode v talnih vzorcih. Nasprotno je zaradi učinkovitega stika PVC cevi in medija v mivki prikazal najboljše rezultate«. To je bilo tisto, k čemur smo strmeli in smo tako pridobili nekaj dobrih nasvetov in možnih izboljšav za izvedbo poskusa.

Čeprav prva dva poskusa nista bila najbolj uspešna, nam žrtvovanega časa in truda ni žal, saj smo se pri tem tudi nekaj naučili in iznašli dovolj dober poskus za merjenje vode v tleh. Pri prvem poskusu smo ugotovili, da mora biti zaboj dovolj trden in velik, pri drugem, da želimo več natančnosti in možnost ponavljanja meritev, ki jih v naravi ne moremo opraviti. Ob teh izboljšavah smo našli še nekaj rešitev in odkrili možne napake predhodnikov. Želeli smo, da je Divinerjeva PVC merilna cev v celoti vkopana v vzorcu, saj s tem pridobimo več zaporednih meritev brez velikih odstopanj od povprečne vrednosti. Želeli smo dovolj velik zaboj in v enem vzorcu tal več meritvenih cevi. Meritvene cevi Divinerja zahtevajo zelo dober stik z vzorcem, zato smo vzorec močno potlačili in se s tem izognili zračnim žepom.

Evapotranspiracijo je med homogenizacijo in meritvami potrebno preprečiti. Najboljša rešitev je bila zaboj izdelati iz nepropustne snovi. Zelo dobra rešitev je iveral, ki je po straneh oblepljen z plastičnim ovojem. Tako smo se izognili vstavljanju PVC folije in s tem zmanjšanju neizmerljive prostornine in rušenju vzorca ob robovih z odkrivanjem ob

meritvah. Truda in dobrih rešitev je bilo kar veliko, tako menimo, da lahko meritvam popolnoma zaupamo.

Pri zunanjih meritvah je delo malo drugačno. Z Divinerjem moramo biti še bolj natančni, če želimo točne rezultate. Najpomembnejši del je vstavljanje merilnih cevi. Vrtanje v tla mora biti počasno, da ostanejo tla v okolici čim bolj nedotaknjena in da se tla čim bolj prilagajajo cevem, da ne pride do zračnih mehurjev, premikov skeleta in tujkov. Edina ovira, ki bi lahko povzročila napako Divinerja, je skelet večjih dimenzij. Pri večjem skeletu lahko z vrtanjem povzročimo premike in zračne žepe, kar po našem mnenju lahko poslabša meritev.

Pri poskusu so bila največja odstopanja Divinerja od gravimetrične metode pri 5 % skeleta in nizki vlagi. Pri večjem skeletu je napaka največja in sicer 4,7 vol. %. Kasnejše meritve so bile boljše in so se gibale do maksimalno 2,3 vol. % pri večjem skeletu in 2,8 vol. % pri manjšem skeletu. Opazno je tudi, da so meritve pri skeletu premera zrn od 0,4 do 0,8 mm pri vsebnosti skeleta 10, 15 in 20 % in nizki vlagi manjše od 0,4 vol. %. Pri premeru zrn skeleta od 0,8 do 16 mm pa so vse meritve pri 15 in 20 % skeleta ter različnih vsebnostih vode manjše od 1,0 vol. %.

S poskusom lahko ovržemo hipotezo, da je meritveni premer zrn skeleta tisti, ki vpliva na meritve vode v tleh z Divinerjem. Dobljeni rezultati Divinerja so se gravimetrični meritvi zelo dobro približali ali so bile meritve točne. Meritev, kjer je bila napaka manjša od 1 vol. % je več kot polovica (slika 24, slika 25). Skozi cel poskus smo izvedli meritve pri treh različnih vlažnostih tal in štirih različnih vsebnostih skeleta in meritve Divinerja so bile dobre. Teza, o kateri bi lahko diskutirali, je, da smo izbrali skelet manjše dimenzije, v naravi pa naletimo na večje premere. S tem ko imamo večji skelet, je več možnosti za zračni žep med cevjo in tlemi. Pri tem mislimo predvsem na vrtanje lukenj za merilne cevi, kjer lahko ob vrtanju večji skelet premaknemo in napaka je neizbežna. Mogoče je bil to problem predhodnih meritev, ko se Diviner ni izkazal.

5.1 SKLEPI

Meritve količine vode v tleh z Divinerjem 2000 so se v nasprotju z našimi predvidevanji zelo približale meritvam z gravimetrično metodo. Tezo, da je skelet tisti, ki vpliva na slabšo kakovost meritev, lahko ovržemo. Poskus smo izvedli pri različnih vsebnostih skeleta in vlage. Rezultati meritev z Divinerjem se pri višjih vsebnostih skeleta bolj približajo rezultatom gravimetrične metode, ki je standardna metoda določanja količine vode v tleh.

6 POVZETEK

Količino vode v tleh je mogoče meriti in sprotno spremljati posredno ali neposredno. Vsaka izmed metod ima svoje prednosti in slabosti. Pri posrednih metodah z odvzemom tal izmerimo količino vode v tleh. Te metode so natančne, neponovljive in zamudne. Pri poskusu smo uporabili gravimetrično metodo, ki je splošno uporabljena kot kalibrirni standard. Posredne metode temeljijo na različnih principih delovanja. Odločili smo se za napravo Diviner 2000, ki s pomočjo visoke elektro frekvence meri količino vode. Meritev je enostavna, hitra in večkrat ponovljiva, vendar pa so bile meritve z Divinerjem v preteklosti občasno nenatančne. Predvidevali smo, da je lahko skelet tisti, ki vpliva na natančnost meritve.

Za meritve smo izbrali tla na območju Kleč pri Ljubljani. Vzorce smo izkopali, jih osušili in presejali. V posebej pripravljena zaboja smo vstavili tri merilne cevi Divinerja in vzorec tal, ki smo mu pri prvi meritvi primešali 5 % skeleta. V prvem zaboju smo vzorcu dodali skelet s premerom zrn med 0,4 in 0,8 mm, v drugem zaboju pa smo vzorcu dodali skelet dimenzije od 0,8 do 16 mm. Opravili smo meritve z Divinerjem, v vsaki cevi po dve ponovitvi, in nato vzeli vzorce za gravimetrično metodo. Želeli smo opraviti meritve pri različnih vsebnostih vlage. Vsak vzorec smo navlažili oz. osušili. Prve meritve smo opravili pri najmanjši vlagi od 10 do 15 vol. %. Sledila je navlažitev do cca. 20 vol. % in v tretjem sklopu do približno 30 vol. %. Po končanem sklopu treh meritev po prvi vsebnosti skeleta smo vzorec tal stresli iz zabojev in ga sušili na najnižjo vsebnost vode. Ko se je osušil, smo primešali željeno količino skeleta v intervalu po 5 %. Meritve smo izvedli pri 5, 10, 15 do 20 vol. % skeleta.

Rezultati meritev so bili v nasprotju s pričakovanji. Tezo, da je skelet tisti, ki slabo vpliva na točnost meritve, lahko ovržemo. Meritve so bile ob večji vsebnosti skeleta boljše in so se zelo približale oz. so bile enake meritvam z gravimetrično metodo – ob upoštevanju, da je napaka pri posrednih metodah v intervalu ± 3 vol. % v literaturi opisana kot sprejemljiva. Tako so bile napake meritve pri 20 % skeleta manjše od 1 vol. %. Pri poskusu smo ugotavljali točnost meritev pri različnih vsebnostih vode v tleh. Meritve so pokazale, da je Diviner enako natančen pri vseh vsebnostih vode v vzorcih. Seveda se pojavijo odstopanja, ki pa so verjetno vpliv kakega drugega dejavnika in ne samo vsebnosti vode v tleh. Pri poskusu smo se s sejanjem tal izognili vsem tujkom in tako dosegeli dobro homogenizacijo, stisljivost, večkratno ponovitev meritev v eni cevi ter meritve, opravljene v nadzorovanih pogojih. Uporabljali smo določeno, natančno izmerljivo količino in premer zrn skeleta. Mogoče je tudi to vzrok, da so bile meritve tako dobre. Vseskozi pa smo želeli popraviti napake predhodnikov in najti kakšen napotek za meritve v naravi.

Z meritvami pri različnih vsebnostih vode in skeleta smo dokazali, da lahko Divinerju 2000 zaupamo. Diviner se je v danih pogojih in ob dobri homogenizaciji ter zgotitvi izkazal. Rezultati so bili dobri in v primerjavi z gravimetrično metodo ni bilo velikih odstopanj. V nasprotju s pričakovanji pa so bile meritve vedno boljše ob večji vsebnosti skeleta v vzorcu. Tak rezultat smo si želeli, saj lahko ugotovimo, da lahko s posrednimi napravami zanesljivo merimo. S temi ugotovitvami in dejstvi lahko priporočimo Diviner 2000 kot primeren instrument za merjenje vode v tleh s posredno metodo, saj je dovolj

natančen in ima kar nekaj prednosti pred drugimi instrumenti in metodami. Najbolj primeren je za spremljanje vode v tleh med rastno dobo in s tem za določanje namakanja pridelovalnih površin.

Tezo, da je skelet tisti, ki vpliva na meritve lahko ovržemo saj smo izvedli poskus pri različnih vsebnostih skeleta in vlage, kjer tudi ni nikakršnih odstopanj ampak so rezultati pri višji vsebnosti skeleta boljše.

Meritve količine vode v tleh z Divinerjem 2000 so se v nasprotju z našimi predvidevanji zelo približale meritvam z gravimetrično metodo. Tezo, da je skelet tisti, ki vpliva na slabšo kakovost meritev, lahko ovržemo. Poskus smo izvedli pri različnih vsebnostih skeleta in vlage. Rezultati meritev z Divinerjem se pri višjih vsebnostih skeleta bolj približajo rezultatom gravimetrične metode, ki je standardna metoda določanja količine vode v tleh.

7 VIRI

- Adam G. 2004. Primerjava različnih naprav za posredno merjenje volumskega deleža vode v tleh. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 48 str.
- Baumhard, R.L., Lascano, R.J., Evett, S.R. 2000. Soil material, temperature and salinity effects on calibration of multisensor capacitance probes. Soil science society of America journal, 64: 1940 – 1946
- Diviner 2000 Probe - Portable soil moisture monitoring for instant infield decision making, Metos House. 2004. (11.9.2004)
<http://www.goelgroup.com/sentek.html#Diviner2000> (9.4.2005)
- Diviner 2000. 2000. User Guide Version 1.2. 2000. Navodila za uporabo. Stepney, Australia, Sentek Pty Ltd: 70 str.
- Diviner 2000™ - portable soil water monitoring device, EnviroSCAN. 2005
<http://www.yandillapark.com.au/Growers/diviner.htm> (15.4.2005)
- EnviroSCAN. Diviner 2000. Portable soil water monitoring solution. 2005
<http://www.sentek.com.au/products/diviner.asp?lang=en> (9.4.2005)
- 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.
- Paltineanu I.C. Starr J.L. 1997. Seal-time soil water dynamics using multisensor capacitance probes: laboratory calibration. soil science society of America journal, 61: 1576 – 1585
- Pintar M. 2003. Osnove namakanja: s poudarkom na vrtninah in sadnih vrstah v severovzhodni Sloveniji. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano: 49 str.
- Spoznajmo tla. 2005. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta- katedra za pedologijo
http://www.bf.uni-lj.si/cpvo/Novo/SF_SpoznajmoTla.htm#OPIS%20TALNEGA%20PROFILA (2.4.2005)
- Standards Australia group, Software – electronics design Divinre 2000. 2004. (2.9.2004)
<http://www.designawards.com.au/ADA/99-00/SOFTWARE%20-%20ELECTRONICS%20DESIGN/110/110.HTM#17> (9.4.2005)
- Starr J. L., Paltineanu I.C. 2002. Capacitance devices. V: Method of soil analysis. Dane J. H., Topp G. C. (eds). Wisconsin, madison, soil science society of America, Inc.: 463-474

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

Zajec T. 2005. Meritev vode v tleh z napravo Diviner. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 28 str.

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

ZAHVALA

Na tem mestu se želim zahvaliti mentorici doc. dr. Marini Pintar za vso pomoč pri izvedbi poskusa in nasvete pri oblikovanju diplomske naloge. Zahvaljujem se tehničnemu sodelavcu Petru Korpar, ki mi je bil v veliko pomoč pri praktičnem delu poskusa, in asistentki dr. Vesni Zupanc. Za pomoč pri izdelavi in lektoriranju diplomske naloge se zahvaljujem Anji in Mateju.

Ob zaključku študija namenjam zahvalo mojim domačim.

Dodatno se zahvaljujem vsem prijateljem in sošolcem, ki so me razveseljevali in me napajali s pozitivno energijo, kar me je spremljalo in mi pomagalo pri vsakdanjih izivih.

Hvala vsem!

PRILOGE

Priloga A

1. meritev – nizka vsebnost vode pri 5 % skeleta

Količina vode v tleh (vol. %) izmerjena z Divinerjem 2000 in gravimetrično

premer zrn od 0,4 do 0,8 mm

zaporedna št. merilne cevi v vzorcu	količina vode v tleh (vol. %)			povprečna vred. gravimetrične meritve	
	odsek na cevi ("globina")*(cm)				povprečje
	30	40	50		
cev 1	13,6	14,8	14,6	14,3	
	13,3	14,6	14,9	14,3	
cev 2	13,7	14,3	15,7	14,6	
	13,7	14,2	15,6	14,5	
cev 3	13,8	14,1	15,5	14,5	
	13,7	13,9	15,5	14,4	
povprečje				14,4	
					18,3

premer zrn od 0,8 do 16 mm

cev 1	11,7	12,8	14,0	12,9	
	11,8	12,9	13,6	12,8	
cev 2	12,5	12,9	14,5	13,3	
	12,4	12,8	14,4	13,2	
cev 3	12,4	12,5	13,2	12,7	
	12,3	12,5	13,1	12,7	
povprečje				12,9	
					17,6

Opomba: *cev je bila nameščena horizontalno.

Priloga B

2. meritev – srednja vsebnost vode pri 5 % skeleta

Količina vode v tleh (vol. %) izmerjena z Divinerjem 2000 in gravimetrično

premer zrn od 0,4 do 0,8 mm

zaporedna št. merilne cevi v vzorcu	količina vode v tleh (vol. %)			povprečna vred. gravimetrične meritve	
	odsek na cevi ("globina")*(cm)				povprečje
	30	40	50		
cev 1	17,8	19,4	19,3	18,9	
	18,2	19,5	19,5	19,1	
cev 2	18,8	19,6	21,4	19,9	
	18,8	19,7	21,5	20,0	
cev 3	19,4	19,9	21,4	20,2	
	19,3	19,6	21,3	20,1	
povprečje				19,7	
					21,6

premer zrn od 0,8 do 16 mm

cev 1	17,7	19,0	21,5	19,4	
	17,3	19,2	21,5	19,3	
cev 2	18,2	17,9	20,3	18,8	
	18,4	18,1	20,2	18,9	
cev 3	18,2	17,9	20,3	18,8	
	18,4	18,1	20,2	18,9	
povprečje				19,0	
					20,9

Opomba: *cev je bila nameščena horizontalno.

Priloga C

3. meritev – najvišja vsebnost vode pri 5 % skeleta

Količina vode v tleh (vol. %) izmerjena z Divinerjem 2000 in gravimetrično

premer zrn od 0,4 do 0,8 mm

zaporedna št. merilne cevi v vzorcu	količina vode v tleh (vol. %)			povprečna vred. gravimetrične meritve	
	odsek na cevi ("globina")*(cm)				povprečje
	30	40	50		
cev 1	25,4	27,8	26,3	26,5	
	25,4	27,9	26,4	26,6	
cev 2	27,4	27,0	28,9	27,8	
	26,2	26,8	28,8	27,2	
cev 3	26,9	25,9	30,0	27,6	
	27,0	26,2	30,0	27,7	
povprečje				27,2	
					29,7

premer zrn od 0,8 do 16 mm

cev 1	22,7	24,3	27,5	24,8	
	22,6	24,5	27,4	24,8	
cev 2	24,4	24,8	26,5	25,3	
	24,2	24,8	26,8	25,3	
cev 3	22,8	22,9	23,4	23,0	
	23,4	23,2	23,7	23,4	
povprečje				24,4	
					26,0

Opomba: *cev je bila nameščena horizontalno.

Priloga Č

4. meritev – nizka vsebnost vode pri 10 % skeleta

Količina vode v tleh (vol. %) izmerjena z Divinerjem 2000 in gravimetrično

premer zrn od 0,4 do 0,8 mm

zaporedna št. merilne cevi v vzorcu	količina vode v tleh (vol. %)				povprečna vred. gravimetrične meritve
	odsek na cevi ("globina")*(cm)			povprečje	
	30	40	50		
cev 1	11,2	12,3	12,7	12,1	
	11,2	12,3	12,7	12,1	
cev 2	11,4	11,8	13,0	12,1	
	11,5	11,9	13,0	12,1	
cev 3	9,8	11,4	12,8	11,3	
	9,8	11,5	12,8	11,4	
povprečje				11,8	11,4

premer zrn od 0,8 do 16 mm

cev 1	10,2	10,7	10,6	10,5	
	10,2	10,9	10,6	10,6	
cev 2	10,6	11,4	10,7	10,9	
	10,7	11,4	10,7	10,9	
cev 3	9,2	10,7	11,7	10,5	
	9,4	10,7	11,7	10,6	
povprečje				10,7	11,5

Opomba: *cev je bila nameščena horizontalno.

Priloga D

5. meritev – srednja vsebnost vode pri 10 % skeleta

Količina vode v tleh (vol. %) izmerjena z Divinerjem 2000 in gravimetrično

premer zrn od 0,4 do 0,8 mm

zaporedna št. merilne cevi v vzorcu	količina vode v tleh (vol. %)				povprečna vred. gravimetrične meritve
	odsek na cevi ("globina")*(cm)			povprečje	
	30	40	50		
cev 1	26,5	26,9	26,0	26,5	
	25,6	26,7	25,7	26,0	
cev 2	22,7	22,1	22,7	22,5	
	23,1	21,8	22,5	22,5	
cev 3	22,2	22,9	24,4	23,2	
	22,5	23,4	25,1	23,7	
povprečje				24,1	26,9

premer zrn od 0,8 do 16 mm

cev 1	20,0	19,0	17,8	18,9	
	19,1	18,3	17,3	18,2	
cev 2	19,3	19,2	18,6	19,0	
	19,7	19,6	18,9	19,4	
cev 3	19,8	19,7	20,6	20,0	
	19,7	19,2	20,6	19,8	
povprečje				19,2	21,5

Opomba: *cev je bila nameščena horizontalno.

Priloga E

6. meritev – najvišja vsebnost vode pri 10 % skeleta

Količina vode v tleh (vol. %) izmerjena z Divinerjem 2000 in gravimetrično

premer zrn od 0,4 do 0,8 mm

zaporedna št. merilne cevi v vzorcu	količina vode v tleh (vol. %)				povprečna vred. gravimetrične meritve
	odsek na cevi ("globina")*(cm)			povprečje	
	30	40	50		
cev 1	32,6	35,2	34,0	34,0	
	32,2	34,9	34,1	33,7	
cev 2	31,4	30,9	32,0	31,4	
	31,7	30,7	31,7	31,4	
cev 3	28,6	30,6	32,7	30,6	
	28,7	31,4	32,9	31,0	
povprečje				32,0	30,4

Premer zrn od 0,8 do 16 mm

cev 1	32,7	31,7	33,3	32,6	
	32,3	31,7	33,4	32,5	
cev 2	30,0	30,2	32,3	30,8	
	31,4	32,0	34,0	32,5	
cev 3	29,6	30,8	33,7	31,4	
	29,3	31,0	33,7	31,4	
povprečje				31,8	29,8

Opomba: *cev je bila nameščena horizontalno.

Priloga F

7. meritev – nizka vsebnost vode pri 15 % skeleta

Količina vode v tleh (vol. %) izmerjena z Divinerjem 2000 in gravimetrično

premer zrn od 0,4 do 0,8 mm

zaporedna št. merilne cevi v vzorcu	količina vode v tleh (vol. %)				povprečna vred. gravimetrične meritve
	odsek na cevi ("globina")*(cm)			povprečje	
	30	40	50		
cev 1	14,8	15,9	17,1	15,9	
	15,1	16,1	17,1	16,1	
cev 2	15,5	17,2	17,5	16,7	
	15,5	17,2	17,4	16,7	
cev 3	14,1	15,1	16,0	15,1	
	14,2	15,1	16,0	15,1	
povprečje				15,9	15,8

premer zrn od 0,8 do 16 mm

cev 1	15,7	16,6	16,7	16,3	
	15,7	16,5	16,7	16,3	
cev 2	15,0	15,3	17,1	15,8	
	15,0	15,4	17,1	15,8	
cev 3	14,1	15,0	16,2	15,1	
	14,1	15,1	16,2	15,1	
povprečje				15,7	16,6

Opomba: *cev je bila nameščena horizontalno.

Priloga G

8. meritev – srednja vsebnost vode pri 15 % skeleta

Količina vode v tleh (vol. %) izmerjena z Divinerjem 2000 in gravimetrično

premer zrn od 0,4 do 0,8 mm

zaporedna št. merilne cevi v vzorcu	količina vode v tleh (vol. %)			povprečna vred. gravimetrične meritve	
	odsek na cevi ("globina")*(cm)				povprečje
	30	40	50		
cev 1	24,7	26,0	28,6	26,4	
	25,5	27,5	29,5	27,5	
cev 2	25,8	27,3	27,6	26,9	
	25,8	27,1	27,4	26,8	
cev 3	25,6	24,5	26,2	25,4	
	25,7	24,4	26,4	25,5	
povprečje				26,4	
					27,2

premer zrn od 0,8 do 16 mm

cev 1	23,4	23,9	22,8	23,4	
	23,2	24,1	23,0	23,4	
cev 2	23,0	23,0	23,5	23,2	
	23,4	23,0	23,6	23,3	
cev 3	22,3	24,4	24,8	23,8	
	22,5	25,0	24,8	24,1	
povprečje				23,5	
					26,3

Opomba: *cev je bila nameščena horizontalno.

Priloga H

9. meritev – najvišja vsebnost vode pri 15 % skeleta

Količina vode v tleh (vol. %) izmerjena z Divinerjem 2000 in gravimetrično

premer zrn od 0,4 do 0,8 mm

zaporedna št. merilne cevi v vzorcu	količina vode v tleh (vol. %)				povprečna vred. gravimetrične meritve
	odsek na cevi ("globina")*(cm)			povprečje	
	30	40	50		
cev 1	32,1	35,2	37,0	34,8	
	33,3	35,4	37,6	35,4	
cev 2	34,0	36,4	36,7	35,7	
	34,0	36,2	36,8	35,7	
cev 3	31,9	32,5	34,9	33,1	
	31,3	32,2	35,0	32,8	
povprečje				34,6	32,8

premer zrn od 0,8 do 16 mm

cev 1	32,5	34,1	33,7	33,5	
	34,6	34,2	34,2	34,3	
cev 2	32,3	32,6	36,4	33,7	
	32,1	32,3	36,1	33,5	
cev 3	31,5	33,6	35,1	33,4	
	30,4	33,6	35,0	33,0	
povprečje				33,6	34,4

Opomba: *cev je bila nameščena horizontalno.

Priloga I

10. meritev – nizka vsebnost vode pri 20 % skeleta

Količina vode v tleh (vol. %) izmerjena z Divinerjem 2000 in gravimetrično

premer zrn od 0,4 do 0,8 mm

zaporedna št. merilne cevi v vzorcu	količina vode v tleh (vol. %)				povprečna vred. gravimetrične meritve
	odsek na cevi ("globina")*(cm)			povprečje	
	30	40	50		
cev 1	11,5	12,3	12,7	12,1	
	11,4	12,2	12,7	12,1	
cev 2	11,7	12,5	13,7	12,6	
	11,7	12,5	13,7	12,6	
cev 3	11,7	12,3	13,0	12,4	
	11,8	12,2	13,1	12,4	
povprečje				12,4	11,8

premer zrn od 0,8 do 16 mm

cev 1	10,1	10,4	11,7	10,7	
	10,2	10,3	11,7	10,7	
cev 2	10,5	11,6	11,7	11,3	
	10,6	11,6	11,7	11,3	
cev 3	9,6	10,2	11,0	10,3	
	9,7	10,1	11,0	10,3	
povprečje				10,7	11,7

Opomba: *cev je bila nameščena horizontalno.

Priloga J

11. meritev – srednja vsebnost vode pri 20 % skeleta

Količina vode v tleh (vol. %) izmerjena z Divinerjem 2000 in gravimetrično

premer zrn od 0,4 do 0,8 mm

zaporedna št. merilne cevi v vzorcu	količina vode v tleh (vol. %)				povprečna vred. gravimetrične meritve
	odsek na cevi ("globina")*(cm)			povprečje	
	30	40	50		
cev 1	25,6	25,7	24,8	25,4	
	26,2	26,2	25,1	25,8	
cev 2	27,1	28,0	26,3	27,1	
	27,3	27,8	27,8	27,6	
cev 3	27,3	27,6	28,9	27,9	
	27,7	27,4	29,1	28,1	
povprečje				27,0	26,9

premer zrn od 0,8 do 16 mm

cev 1	25,9	24,3	25,8	25,4	
	25,9	24,2	25,8	25,3	
cev 2	24,9	25,3	24,8	25,0	
	24,3	25,0	24,6	24,6	
cev 3	24,1	23,4	25,3	24,3	
	24,3	23,6	25,3	24,4	
povprečje				24,8	25,8

Opomba: *cev je bila nameščena horizontalno.

Priloga K

12. meritev – najvišja vsebnost vode pri 20 % skeleta

Količina vode v tleh (vol. %) izmerjena z Divinerjem 2000 in gravimetrično

premer zrn od 0,4 do 0,8 mm

zaporedna št. merilne cevi v vzorcu	količina vode v tleh (vol. %)				povprečna vred. gravimetrične meritve
	odsek na cevi ("globina")*(cm)			povprečje	
	30	40	50		
cev 1	33,5	34,9	35,7	34,7	
	33,6	34,9	35,8	34,8	
cev 2	32,9	35,1	37,0	35,0	
	32,9	35,2	37,1	35,1	
cev 3	35,2	35,9	39,5	36,9	
	35,2	35,7	39,5	36,8	
povprečje				35,5	35,0

premer zrn od 0,8 do 16 mm

cev 1	33,4	33,9	37,5	34,9	
	33,5	34,0	37,5	35,0	
cev 2	33,6	32,5	35,5	33,9	
	33,4	32,2	35,5	33,7	
cev 3	32,8	34,9	35,7	34,5	
	32,9	34,9	35,7	34,5	
povprečje				34,4	33,6

Opomba: *cev je bila nameščena horizontalno.

Priloga L

Količina vode v tleh (vol. %) merjene z gravimetrično metodo θ_w (vol. %)

1. meritev	masa (g)					θ_w (%)
	moker vzorec	suh vzorec + lonček	lonček	voda	suha tla	
1	84,8	84,5	12,9	13,1	71,6	18,3
2	83,8	84,1	12,8	12,5	71,3	17,6
2. meritev						
1	43,5	44,3	8,5	7,7	35,8	21,6
2	38,5	38,0	6,1	6,7	31,9	20,9
3. meritev						
1	34,6	32,6	5,9	7,9	26,7	29,7
2	36,7	35,1	5,9	7,6	29,2	26,0
4. meritev						
1	41,4	43,0	5,8	4,2	37,2	11,4
2	40,0	41,6	5,7	4,1	35,9	11,5
5. meritev						
1	34,6	33,2	5,9	7,3	27,3	26,9
2	36,7	36,1	5,8	6,5	30,3	21,5
6. meritev						
1	47,7	42,4	5,8	11,1	36,6	30,4
2	37,4	34,5	5,7	8,6	28,8	29,8
7. meritev						
1	39,9	40,4	5,9	5,4	34,5	15,8
2	33,3	34,2	5,7	4,7	28,6	16,6
8. meritev						
1	40,9	38,0	5,8	8,7	32,1	27,2
2	41,6	38,6	5,7	8,7	32,9	26,3
9. meritev						
1	35,1	32,4	5,9	8,7	26,4	32,8
2	45,2	39,3	5,6	11,6	33,7	34,4
10. meritev						
1	47,3	48,0	5,7	5,0	42,4	11,8
2	44,8	45,8	5,7	4,7	40,1	11,7
11. meritev						
1	36,6	34,7	5,9	7,8	28,9	26,9
2	29,7	29,4	5,8	6,1	23,6	25,8
12. meritev						
1	52,1	44,5	5,9	13,5	38,6	35,0
2	52,8	45,4	5,9	13,3	39,5	33,6

Opomba: 1 – meritev v zaboju premera zrn skeleta od 0,4 do 0,8 mm

2 – meritev v zaboju premera zrn skeleta od 0,8 do 16 mm

Priloga M

Gostota vzorca tal (g/cm^3) v zaboju pri različnih vsebnostih skeleta

Meritve v koritu s skeletom premera zrn 0,4 do 0,8 mm

vsebnost skeleta (vol. %)	masa vzorca (g)	prostornina kopeckega cilindra (mm^3)	gostota vzorca (g/cm^3)
5	114,7	100	1,15
10	110,5	100	1,11
15	120,4	100	1,20
20	125,6	100	1,26

Meritve v koritu s skeltom premera zrn 0,8 do 16 mm

5	117,3	100	1,17
10	118,7	100	1,19
15	122,3	100	1,22
20	127,3	100	1,27