Usporedba TDR metode (Time Domain Reflectometry) i metode tenziometra u praćenju sadržaja vode u tlu

Jaić, Mislav

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of agriculture / Sveučilište Josip Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:640524

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek - Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Mislav Jaić, apsolvent
Diplomski studij Bilinogojstvo, smjer Biljna proizvodnja

USPOREDBA TDR METODE (TIME DOMAIN REFLECTOMETRY) I METODE TENZIOMETRA U PRAĆENJU SADRŽAJA VODE U TLU

Diplomski rad

Osijek, 2017.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Mislav Jaić, apsolvent
Diplomski studij Bilinogojstvo, smjer Biljna proizvodnja

USPOREDBA TDR METODE (TIME DOMAIN REFLECTOMETRY) I METODE TENZIOMETRA U PRAĆENJU SADRŽAJA VODE U TLU

Diplomski rad

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. prof. dr. sc. Jasna Šoštarić, predsjednik
2. doc. dr. sc. Monika Marković, mentor
3. dr. sc. Vladimir Zebec, član

Osijek, 2017.

Sadržaj

1.UVOD 1
1.1. Tlo 3
1.2. Voda u tlu 3
1.3. Vodne konstante 4
1.4. Kretanje vode u tlu 6
1.5. Načini određivanja trenutka početka navodnjavanja 7
1.6. Metoda TDR (Time Domain Reflectometry) 8
1.7. Tenziometar 9
2. PREGLED LITERATURE 10
3. MATERIJALI I METODE RADA 12
3.1. Priprema i postavljanje tenziometra 12
3.2. TDR uređaj (Time Domain Reflectrometry) 14
3.3. Termogravimerijsko određivanje trenutne vlažnosti tla 15
3.4. Praćenje vremenskih uvjeta i razine podzemne vode 17
4. REZULTATI I RASPRAVA 18
4.1. Agroekološki uvjeti 18
4.2. Rezultati mjerenja metodom tenziometra 20
4.3. Rezultati mjerenja TDR (*Time Domain Reflectometry*) metodom 24
4.4. Umjeravanje uređaja te usporedba rezultata mjerenja 28
5. ZAKLJUČAK 31
6. POPIS LITERATURE 32
7. SAŽETAK 35
8. SUMMARY 36
9. PRILOZI 37
10. POPIS TABLICA 38
11. POPIS SLIKA 39
12. POPIS GRAFIKONA 40

1.UVOD

Voda je neizostavan čimbenik životnoga ciklusa svih živih bića, procesa u prirodi, te ekonomskog i gospodarskog sektora. Poljoprivredna proizvodnja (biljna i životinjska), transport, industrija te proizvodnja energije i na kraju život pojedinca ne bi bili mogući bez vode. U prosjeku 44 % od ukupne potrošnje vode u Europi odlazi na poljoprivrednu proizvodnju, 40 % na industrijsku proizvodnju te energetska postrojenja dok 15 % ukupne potrošnje vode odnosi se na javnu opskrbu stanovništva. Glavni sektori u potrošnji su navodnjavanje te industrijski pogoni. Najveća potrošnja vode za navodnjavanje je u južnoj Europi u kojoj se nalaze zemlje s najintenzivnijom poljoprivrednom proizvodnjom. U sjevernom i središnjem dijelu Europe najveće količine vode utrošene su za industrijsku proizvodnju, hlađenje u energetskim postrojenjima i javnu opskrbu (EEA, 2017.). U tablici 1. prikazana je ukupna potrošnja vode po sektorima i po kontinentima (FAO, 2003.).

Tablica 1. Ukupna potrošnja vode po sektorima i kontinentima (km^3/god)

Regija	Javna opskrba	Industrija	Poljoprivreda	Ukupna potrošnja**	Ukupna potrošnja svježe vode
Svijet	429	723	2710	3862	3856
Afrika	21	9	184	215	215
Europa	61	204	109	374	374
Oceanija	5	3	19	26	26
Amerika	126	280	385	791	790
Azija	217	227	2012	2456	2451

** uključujući desaliniziranu vodu

Intenzivna poljoprivredna proizvodnja povećava potrošnju svježe pitke vode i na taj način isušuje rijeke, jezera te smanjuje razinu podzemne vode u većem dijelu navodnjavanih površina. Na svjetskoj razini poljoprivredna proizvodnja je potrošač oko 70 % zaliha čiste pitke vode, gotovo dvostruko više nego industrija ili javna opskrba. Najveći svjetski proizvođači SAD, Kina, Australija, Indija, Pakistan i Španjolska su gotovo dosegli svoje limite u potrošnji vode (Clay, 2004.).

Kao najveći razlozi neučinkovite potrošnje vode navode se:

- neispravnost sustava za navodnjavanje radi kojega dolazi do velikih gubitaka
- neučinkovite metode navodnjavanja
- uzgoj kultura koje nisu prilagođene za određene klimatske uvjete.

Neodrživo iskorištavanje vodnih resursa oštećuje okoliš i životne procese u njemu smanjujući razinu podzemne vode. Nadalje prekomjerno navodnjavanje ili navodnjavanje količinom vode koja premašuje potrebe biljaka može dovesti do salinizacije, ispiranja hraniva i sedimenata u rijeke što dalje dovodi do narušavanja ekosustava.

Suvremena biljna proizvodnja odnosno meliorativna praksa temelji se na što boljem iskorištenju vode po jedinici površine odnosno na postizanju što viših uroda za što manje uloženih sredstava (vode, gnojiva i dr.). Održivo navodnjavanje zagovara određivanje trenutka početka navodnjavanja kao jedan od najvažnijih elemenata navodnjavanja. Pravilno određenim trenutkom početka navodnjavanja smanjuje se rizik od posljedica vodnoga stresa izazvanog sušom i prekomjernom vodom i na kraju sniženja uroda koji je primaran cilj svake proizvodnje.

U praksi navodnjavanja dostupne su različite metode kojima se određuje trenutak početka navodnjavanja, a svaka od njih ima svoje prednosti i nedostatke. Najpreciznije određivanje trenutka početka navodnjavanje je pomoću mjernih uređaja koji mjere sadržaj vode u tlu (vol. %) ili vrijednosti koje se mogu dovesti u vezu sa sadržajem vode u tlu. Na taj način biljke su navodnjavanja kada i koliko je potrebno te su posljedice vodnoga stresa (manjka ili suviška vode) smanjene na minimum. Nadalje smanjeni su ekonomski troškovi radi mogućih nepotrebnih gubitaka ne samo vode nego i hraniva koja se ispiru u dublje slojeve tla i onečišćuju okoliš.

U diplomskom radu prikazane su i uspoređene metode TDR-a (Time Domain Reflectrometry) i tenziometra za praćenje sadržaja vode u tlu odnosno određivanja trenutka početka navodnjavanja.

1.1. Tlo

Znanost o tlu, njegovom obrazovanju i razvitku – genezi, građi, sastavu, osobinama i zakonitostima geografske rasprostranjenosti naziva se pedologija. Naziv potječe od grčkih riječi *pedon* – tlo, zemlja i *logos* – znanost (Antić i sur., 1982.). U tijeku razvoja pedološke znanosti pojavljuju se brojne definicije tla, međutim prirodno – znanstvena (genetsko – evolucijska) definicija glasi: tlo je prirodno – povijesna tvorevina nastala kao rezultat pedogenetskih čimbenika i procesa. Pedogenetski čimbenici su čimbenici tvorbe i razvoja tala. To su matični supstrat, klima, reljef, organizmi i vrijeme. Bitno je spomenuti i utjecaj čovjeka na tlo, koji i danas svojom životnom aktivnošću mijenja prirodnu zastupljenost pedogenetskih čimbenika i na taj način djeluje na procese tvorbe tla te utječe na njegove značajke. U intenzivnoj poljoprivrednoj proizvodnji čovjek poduzima različite mjere gospodarenja tlom kao što su odvodnja, navodnjavanje, obrada, gnojidba, uporaba pesticida i slično (Špoljar, 2015.).

1.2. Voda u tlu

Voda je neprestano prisutna u tlu ili na njegovoj površini. Sadržaj vode u tlu je promjenjiv u zavisnosti od vremenskih prilika i potrošnje vode od strane biljaka. Često je voda u tlu u suvišku, tako da nepovoljno utječe na tlo i biljku. Druga je krajnost da vode u tlu nema dovoljno za normalan rast i razvoj kulturnog bilja što se negativno odražava na njihove urode. Voda u tlu uglavnom potječe od oborina ili navodnjavanja, a samo manjim dijelom iz podzemnih voda. Obzirom na veliko značenje vode kao glavnog biološkog čimbenika, za postizanja punog potencijala poljoprivrednih kultura nužno je u proizvodnoj praksi dobro gospodariti vodom u tlu, odnosno održavati povoljan vodni režim poljoprivrednog (površinskog) sloja tla. Voda u tlu je smještena u porama tla koje čine šupljine, a nalaze se između čestica tla i strukturnih agregata. Za praktične svrhe pore tla se dijele na manje ili mikropore (kapilarne pore) u kojima se zadržava voda i krupnije ili makropore (nekapilarne pore) u kojima se nalazi zrak dok voda u njima može biti samo kraće vrijeme. Sa stajališta poljoprivredne proizvodnje važan je sadržaj ukupnih pora, ali i odnosa među njima. Najpovoljniji je odnos kapilarnih i nekapilarnih pora 3:2 do 1:1 (Madjar i Šoštarić, 2009.).

Čim voda dospije u tlo podliježe određenim zakonitostima u pogledu kretanja i zadržavanja. S obzirom na pokretljivost, voda se u tlu može podijeliti na:

1. Vezanu ili nepokretnu
2. Slobodnu ili pokretnu

Vezana voda je voda koja se drži velikim silama za čestice tla ili unutar pora. Ona je nepokretna i obično je nepristupačna biljkama. Unutar vezane vode razlikuju se sljedeće kategorije vode:

1. Kemijski vezana voda - dio je čvrste faze tla, te je kemijskim vezama vezana za čestice tla.
2. Higroskopna voda – adsorbirana je na česticama tla znatnim fizičkim silama.
3. Opnena ili filmska voda - obavija čestice tla u obliku tanje ili deblje opne. Vezana je čvrsto površinskim silama, ali se ponekad slabo giba od čestice do čestice tla.

Slobodna voda je voda koja se drži manjim silama za čestice tla, pokretna je i kreće se u poroznom tlu u svim smjerovima. Pristupačna je korijenju biljaka, a razlikuju se dvije kategorije vode:

1. Kapilarna voda koja ispunjava fine kapilarne pore tla te se drži ili kreće u njima pod utjecajem kapilarnih sila. Vrlo je pokretna u svim smjerovima i pristupačna je za kulturne biljke. Ona čini najveći i najznačajniju zalihu vode u tlu za sve biljke i zato je od posebne važnosti za poljoprivrednu praksu.

2. Gravitacijska ili cijedna voda je najpokretnija voda u tlu. Ulazi u njega prirodnim oborinama, navodnjavanjem ili plavljenjem i ne zadržava se u njemu trajnije, nego protječe i cijedi se u podzemnu vodu. Prolazi kroz krupne (nekapilarne) pore tla i giba se prema dolje pod utjecajem sile teže. Korisna je za biljke, ali samo u kratkom vremenu prolaska kroz zonu korjenovog sustava (Madjar i Šoštarić, 2009.).

1.3. Vodne konstante

Teško je odrediti granice između pojedinih oblika i kategorija vode u tlu. Da bi se ipak razlikovale uvedene su u praksu vodne ili hidropedološke konstante tla. One predstavljaju sadržaj vode u tlu pod određenim uvjetima koji se mogu točno odrediti. Vrijednosti vodnih konstanti zavise od fizikalnih i kemijskih svojstava tla kao i od primjene agrotehničkih

mjera. One su promjenjive (iako nose naziv konstante, koji uobičajeno označava nešto čvrsto, stalno, nepromjenjivo) u zavisnosti od prihoda (ulaska) i rashoda (izlaska) vode u tlu. Između njih nema čvrstih granica i one se međusobno preklapaju (Madjar i Šoštarić, 2009.).

Za reguliranje vodnoga režima u tlu najvažnije su vodne konstante:

1. Poljski vodni kapacitet tla (PVK)
2. Lentokapilarna vlažnost (LKV)
3. Vlažnost venjenja biljaka ili točka venuća (VV)
4. Maksimalni kapacitet tla za vodu (MKV)

Poljski vodni kapacitet predstavlja sadržaj vode koji ostaje u tlu 24 do 48 sati nakon obilnih kiša, navodnjavanja ili plavljenja. To je visoko stanje vlažnosti tla i vrlo pogodno za uzgoj većine ratarskih, povrćarskih, voćarskih i drugih kultura. U prirodnim uvjetima otvorenog polja ovo povoljno stanje vlažnosti tla traje kraće vrijeme jer se tlo suši. U melioracijskoj praksi se smatra da je poljski vodni kapacitet gornja granica optimalne vlažnosti tla. U navodnjavanoj poljoprivredi se prestaje sa dovođenjem vode kada tlo dođe u stanje vlažnosti poljskog vodnog kapaciteta.

Lentokapilarna vlažnost je sadržaj vode u tlu kod kojega dolazi do usporavanja gibanja vode u kapilarama, te počinje otežana opskrba biljaka s vodom. Ona čini granicu između vezane i slobodne vode i približno iznosi kod većine tala oko 60% do 70 % vrijednosti poljskog vodnog kapaciteta tla. Važna je u praksi navodnjavanja jer se uzima da je donja granica optimalne vlažnosti pa je pokazatelj za određivanje početka navodnjavanja.

Točka venuća je naziv za onu količinu vode u tlu pri kojoj biljke ne mogu osigurati svoje potrebe za vodom što dovodi do njihovog venuća. Ona u prvom redu ovisi o mehaničkom sastavu tla. U pjeskovitim tlima taj sadržaj vode iznosi 3% do 4% kod srednje teških tala 7% do 8%, a kod teških, glinastih tala od 13% do 17% volumnog udjela.

Maksimalni vodni kapacitet tla je maksimalna količina vode koju neko tlo može primiti, ali je ne može zadržavati. U prirodnim uvjetima to se događa nakon dugotrajnih kiša ili plavljenja iz okolnih vodotoka (jesen, rano proljeće), tada je tlo potpuno zasićeno i sve su pore ispunjene vodom, a zrak je istisnut iz pora. Kada je postignut maksimalni vodni kapacitet, dio vode je slobodan pa se cijedi u dublje slojeve djelovanjem sile gravitacije (Madjar i Šoštarić, 2009.).

1.4. Kretanje vode u tlu

Voda se u tlu kreće kroz pore u svim smjerovima i nikada nije u mirovanju. Prilikom prirodnog (oborinama) ili umjetnog (navodnjavanjem) vlaženja tla, voda se kreće prema dolje (descendentno), a prema gore (ascedentno) kada se tlo suši. Kreće se i bočno (lateralno) uslijed djelovanja kapilarnih sila.

Kapilarno gibanje je uzrokovano razlikom u kapilarnom potencijalu tla. Voda se kreće iz zone veće vlažnosti prema zoni manje vlažnosti kroz kapilarne pore. Uslijed maloga promjera i dimenzija kapilara u njima se javlja efekt podizanja vode iz dubljih u pliće slojeve tla. Tako se, na primjer, voda kapilarno podiže sa razine podzemnih voda i do oraničnog sloja u zonu korijena što je u sušnim prilikama vrlo korisno za biljke. Visina kapilarnog uspona ovisi prvenstveno o mehaničkom sastavu tla. Kod lakših, pjeskovitih tala je visina podizanja vode manja, a najveća je kod teških glinastih tala.

Infiltracija ili upijanje je proces ulaska vode u tlo iz oborina, plavljenja ili navodnjavanja. Infiltracijom se tlo vlaži od površine prema dubljim slojevima djelovanjem sile gravitacije i kapilarnih sila. Najveća infiltracija je u početku procesa kada je tlo suho i pore su prazne (u njima je samo zrak), a s vremenom se smanjuje. Nakon nekog vremena zasiti se vodom određeni sloj tla pa vrijednost infiltracije postaje stalna veličina (nakon 3 do 5 sati upijanja). Infiltracija zavisi o fizikalnim osobinama tla, mehaničkom sastavu, poroznosti i trenutnom stanju vlažnosti tla. U dobro strukturiranim i dobro obrađenim tlima vrijednosti infiltracije su vrlo povoljne. Stoga je obrada poljoprivrednih tala vrlo značajna za održavanje povoljnih infiltracijskih svojstava tla. Infiltracija može biti „trenutačna“, a izražava se količinom vode koja se upije u tlo u jedinici vremena (mm/sat) i "sumarna" koja predstavlja ukupnu količinu vode upijenu u tlo nakon određenog vremena (mm). Lakša tla imaju veću moć upijanja vode od težih tala o čemu treba voditi brigu u praksi navodnjavanja poljoprivrednih kultura. Od infiltracijske sposobnosti zavisi je li tlo uopće pogodno za navodnjavanje, a ona utječe i na izbor načina navodnjavanja.

Filtracija je gibanje vode kroz tlo zasićeno vodom. Ona se odvija nakon završene infiltracije kada su sve pore tla ispunjene vodom. Sposobnost filtracije vode zavisi od svojstava tla, pa tako tla lakšeg mehaničkog sastava i krupnijih čestica, dobro strukturirana imaju veću filtraciju, odnosno vodopropusnost. Teška tla s velikim učešćem gline i zbijenih horizonata imaju lošu vodopropusnost. Također kakvoća vode, naročito salinitet ili alkalitet, može imati značajni učinak na razinu filtracije vode u takvim tlima. Pri filtraciji voda se uglavnom kreće

kroz makropore, te ovisi o broju, oblicima i rasporedu makropora u tlu (Madjar i Šoštarić, 2009.).

1.5. Načini određivanja trenutka početka navodnjavanja

Kod navodnjavanja je veoma važno odrediti pravilan trenutak kada treba započeti s navodnjavanjem. Ako s navodnjavanjem počnemo prije nego što je to potrebno i ako navodnjavamo prečesto, nepotrebno ćemo potrošiti veće količine vode i energije, što će financijski opteretiti proizvodnju. Osim toga, narušit će se fizikalna svojstva tla, hranjive tvari će se ispirati u dublje slijeve i biti će slabije pristupačna biljci, što također ima za posljedicu negativan ekonomski i ekološki učinak.

Određivanje trenutka početka navodnjavanja prema vanjskom izgledu biljke je najstariji način određivanja trenutka početka navodnjavanja. Temelji se na procjeni promjena na biljkama – promjeni boje i izgleda lišća (uvelost). Međutim sve biljke ne reagiraju jednako na nedostatak vode. Kada kod nekih biljaka nedostatak vode postane vidljiv to može značiti da je biljka već pretrpjela ozbiljne štete i dodavanje vode nakon tih vidljivih simptoma neće pomoći biljci da se u potpunosti oporavi.

Način određivanja trenutka početka navodnjavanja prema unutarnjim (fiziološkim) promjenama biljke je dosta složen, a bazira se na tome da promjena sadržaja vode u tlu ima za posljedicu i promjenu u koncentraciji staničnog soka u listovima. Za određivanje koncentracije staničnog soka koristi se refraktometar.

Određivanje trenutka početka navodnjavanja prema procjeni vlažnosti tla se temelji na proizvoljnoj procjeni vlažnosti tla. Za određivanje trenutka početka navodnjavanja ova metoda je neprihvatljiva, ali može imati određenu vrijednost kod iskusnih agronoma, ali za određivanje trenutka za početak obrade tla (jer se njime utvrđuje plastičnost tla) ili neke druge agrotehničke radnje.

U praksi se za određivanje trenutka početka navodnjavanja najviše primjenjuje metoda mjerenja vlažnosti tla. Prema stanju vlažnosti tla sa navodnjavanjem treba početi kada je sadržaj vode u tlu na dubini koju želimo navodnjavati jednak vrijednosti lentokapilarne vlažnosti tla. Za ovu metodu potrebno je poznavanje vrijednosti lentokapilarne vrijednosti i poljskog vodnog kapaciteta. Postoji više načina mjerenja vlažnosti tla, a može se obaviti izravno na terenu ili posredno u laboratoriju (Madjar i Šoštarić, 2009.).

Za izradu diplomskog rada korišteni su TDR (*Time Domain Reflectometry*) uređaj i tenziometar, koji pripadaju u metode koje se najčešće primjenjuju i to izravno na terenu.

1.6. Metoda TDR (Time Domain Reflectometry)

Prema Haman i Yeager (2003.) metoda TDR (*Time Domain Reflectometry*) je relativno nova i precizna tehnologija za procjenu volumnog sadržaja vode u tlu. TDR senzori daju vrlo precizne vrijednosti, međutim još uvijek su prilično skupi. Uređaj radi na principu elektromagnetnog signala koji prolazi kroz čelične senzore zabijene u tlo. Kada signal dođe do kraja senzora reflektira se nazad prema receptoru. Razlika u vremenu koje je potrebno da se signal vrati je uzrokovano dielektričnom konstantom koja je pod utjecajem sadržaja vode u tlu u kojem je senzor zaboden. Prilikom nabavke TDR uređaja proizvođač prilaže i priručnik za korištenje, u kojem se između ostaloga nalaze i podaci o umjeravanju (baždarenju), koje je bitno za maksimalnu preciznost mjerenja te okvirni vodič za interpretaciju mjerenja ovisno o tipu tla (prilog 1).

Muñoz-Carpena (2004.) ističe prednosti i nedostatke TDR uređaja. Prednosti su: preciznost, nije obavezno umjeravanje za određene tipove tla, minimalno remećenje strukture tla, relativna neosjetljivost na promjenu pH te mogućnost istodobnog mjerenja EC tla. Nedostatci su: relativno skupa oprema, potencijalno ograničena primjenjivost pod uvjetima visokog sadržaja soli ili u visoko provodljivim teškim glinenim tlima, obavezno umjeravanje za tla s većom količinom vezane vode (vulkanska tla, tla sa visokim sadržajem organske tvari) te relativno mala osjetljivost na promjene u sadržaju vlažnosti tla.

Često se u literaturnim navodima nalazi podatak kako je TDR metoda sve češće primjenjivana u praksi i znanstvenom radu zato što je nedestruktivna te manje ovisna o gustoći tla, temperaturi tla te teksturi. Prema Gong i sur. (2003.) uočen je utjecaj sadržaja gline na rezultate mjerenja no nije bez statističke opravdanosti. Autori nadalje navode kako povećan sadržaj gline uzrokuje niže rezultate mjerenja pri manjoj vlažnosti tla te više rezultate u uvjetima povećane vlažnosti tla. Evett i sur. (2006.) proučavali su i uspoređivali preciznost mjerenja, umjeravanje te ovisnost o temperaturi TDR, NMM (Neutron Moisture Meter) i EM (Electromagnetic). Autori navode kako je TDR metoda najmanje osjetljiva na promjene temperature.

1.7. Tenziometar

Tenziometar je uređaj koji se koristi za mjerenje vodnog potencijala tla, koji je povezan sa vlažnošću tla. Sastoji se od manometra i zatvorene cijevi koja poroznom keramičkom kapicom (Abubaker, 2009.). Princip rada tenziometra sastoji se u tome, da voda iz cijevi prolazi kroz pore keramičke kapice ili membrane u tlo do uspostavljanja ravnoteže između sila držanja vode u tlu i stvorenog vakuuma u cijevi, koji se registrira na vakuummetru. Tenziometar daje pouzdanije rezultate pri višoj vlažnosti tla. Instrument se postavlja u zonu korijenovog sustava biljke, te se ponaša kao "umjetni korijen" sa brojčanikom koji konstantno mjeri "u kojoj mjeri korijen radi svoj posao" (Aksić, 2011.).

Kako navode Haman i Yeager (2003.) glavni problem koji se može očekivati kod primjene tenziometra je održavanje povoljnog kontakta keramičke kapice i tla kojima je poroznost više od 70 %. Kako bi se kontakt poboljšao, potrebno je pažljivo pritisnuti tlo oko tenziometra tijekom postavljanja uređaja.

Prema Abubakeru (2009.) prednosti tenziometra su: niska cijena, jednostavnost za instalaciju i rukovanje, uz pravilno rukovanje mogu biti u upotrebi duže vrijeme. Pod nedostatke navodi: učinkovitost tenziometra do vrijednosti od 80 cbar, redovito održavanje ovisno o rasponu mjerenja, izloženost lomu tijekom postavljanja ili poljoprivrednih djelatnosti.

Tenziometri su također korisni pri mjerenju sadržaja vode u tlu u supstratima, odnosno kod uzgoja biljaka u zaštićenim prostorima (staklenici i plastenici). Obično mjere sadržaj vode u rasponu od PVK (poljski vodni kapacitet) do LKV (lentokapilarna vlažnost) supstrata. Osnovni problem s kojim se susreće pri upotrebi tenziometra kod supstrata je poroznost veća od 70 % što otežava kontakt između keramičke kapice i supstrata. Kako bi se taj problem izbjegao preporuča se pažljivo oblaganje keramičke kapice s vlažnim supstratom.

Kod primjene tenziometra često je upitna pouzdanost rezultata mjerenja radi „lošeg“ kontakta tla i keramičke kapice te činjenice kako su mjerenja moguća samo u određenom intervalu vlažnosti tla. Nadalje, tenziometri zahtijevaju često servisiranje tijekom razdoblja vegetacije što se uglavnom odnosi na punjenje vodom u uvjetima dužeg vremenskog razdoblja bez oborine.

2. PREGLED LITERATURE

Haman i Yeager (2003.) proveli su istraživanje s ciljem ocjenjivanja tenziometra i TDR-a kao senzora vlažnosti za automatiziranu kontrolu sustava za navodnjavanje u proizvodnji ukrasnih biljaka. Pokus je postavljen u stakleniku u Gainesvilleu (Florida). Ističu kako je uporaba tenziometra učestala, no zahtjeva konstantan nadzor (kalibracija i ponovno punjenje), te da najbolje rezultate daju na tlima kojima je poroznost više od 70 %. Navodnjavanjem koje je temeljeno na trenutku početka navodnjavanja pomoću tenziometra uštađeno je 50 % vode, odnosno 60 % na bazi TDR-a.

Hamed i sur. (2006.) istraživali su proces salinizacije te su procijenili sadržaj vode u tlu i EC za različite tipove tla. Korišten je WET senzor čija su mjerenja uspoređivana sa mjerenjima TDR-a. Istraživanje je provedeno u laboratoriju na 5 različitih vrsti tla. U slanijem tlu WET senzor dao je vrlo precizne rezultate mjerenja u usporedbi sa TDR mjeračem, dok je u uzorku tla koji sadrži velike količine smektitne gline TDR uređaj dao vjerodostojnije rezultate.

Leib i sur. (2003.) su tijekom trogodišnjeg istraživanja u usjevu lucerne postavili 9 senzora (među kojima je bio 1 tenziometar i 4 TDR uređaja) na različite dubine kako bi usporedili rezultate mjerenja odnosno sadržaja vode u tlu na dubini od 90 cm. Prema rezultatima većina senzora bila je u mogućnosti uspješno pratiti sadržaj vode u tlu tijekom razdoblja vegetacije.

Vis i sur. (2007.) su pomoću TDR uređaja mjerili vlažnost tla na travnjaku koji je bio navodnjavan metodom kišenja. Na 2 parcele koristili su senzore duljine 10 cm, a na trećoj senzore duljine 7,5 cm. Mjerenja su obavljena 1, 2, 6, 24 i 48 sati nakon navodnjavanja. Praćena je ujednačenost odnosno ravnomjernost kišenja pomoću posuda. Pored rezultata o ujednačenosti kišenja autori navode jednostavnost i učinkovitost primjene TDR uređaja u navodnjavanju.

Payero i sur. (2006.) primijenili su TDR metodu za praćenje nakupljanja NO_3-N u tlu i vodi. Prema rezultatima ako je uređaj pravilno umjeren, uzimajući u obzir promjene u temperaturi i sadržaju vode u tlu, TDR metoda može se koristiti za procjenu sadržaja NO_3-N u tlima s manjim sadržajem soli.

Evett i sur. (2011.) preporučuju TDR metodu za proučavanje bilance vode, evapotranspiraciju i učinkovitost iskorištenja vode. Za razliku od lizimetra i direktnog mjerenja sadržaja vode TDR metoda je povoljnija i zahtijeva manje vremena i rada.

Ibarra (1997.) je istraživao potrebu za dopunskim navodnjavanjem kukuruza na pjeskovitim tlima tijekom sušne (1974.) i vlažne (1996.) godine. Nadalje, procijenjena je optimalna dubina brazde te deficitno navodnjavanje. Potreba za navodnjavanjem određena je prema podacima o količini oborine i evaporacije. Prema rezultatima istraživanja ako se u izračunima uzima u obzir dubina zone korijenovog sustava manja od 30 cm tada su veliki gubici vode ispiranjem, potrebne su veće količine vode i učestalije navodnjavanje u odnosu na dubinu od 40 cm.

Dukes i Scholberg (2005.) istraživali su potpovršinsko navodnjavanje (23 i 33 cm dubina postavljenih cijevi) na dobro dreniranom pjeskovitom tlu na Floridi. Koristili su dva tretmana navodnjavanja: navodnjavanje prema mjerenju trenutačna vlažnosti i TDR uređaj koji je korišten za određivanje trenutka početka navodnjavanja. Najviši prinos i optimalna količina vode postignuti su na tretmanu na kojem je mjerena trenutačna vlažnost tla te s cijevima na 23 cm dubine.

TDR uređaj korišten je i u svrhu praćenja kretanja vode kroz otpatke rude u zatvorenom rudniku. Svrha je bila dizajniranje TDR uređaja koji bi mogao mjeriti volumetrijski sadržaj vode profila tla dubine od 10 do 20 metara. Iako su rezultati nekih testiranja bili razočaravajući, Amos (2015.) navodi kako su oni sveukupno ipak bili obećavajući, jer su sonde mogle pratiti promjene u sadržaju vode.

Smajstrla i Locascio (1990.) uzgajali su rajčicu (*Lycopersicon esculentum* Mill.) koja je bila uzgajana na pjeskovitom tlu, a navodnjavana sustavom „kap po kap“. Trenutak početka navodnjavanja bio je temeljen na tenziometru te određivanju PAN evapotranspiracije. Početak navodnjavanja prema tenziometru bio je kada su vrijednosti bile 10 do 1 cbar 15 cm ispod cijevi s kapljačima. Prema rezultatima istraživanja određivanje trenutka početka navodnjavanja tenziometrima je rezultiralo manjom potrošnjom vode u odnosu na PAN evapotranspiraciju. Prinos rajčice nije značajno varirao u odnosu na metodu određivanja trenutka početka navodnjavanja.

3. MATERIJALI I METODE RADA

Istraživanje je postavljeno na pokušalištu Poljoprivrednog instituta Osijek 2017. godine (45°32'S i 18°44'I, 90 m. n. m.). Uređaji za mjerenje sadržaja vode u tlu postavljeni su na pokusne parcele na kojima je posađen grašak. U istraživanju nije bilo tretmana navodnjavanja tako da je praćena dinamika sadržaja vode u tlu kao posljedica količine i rasporeda oborine ili kao posljedica eventualnog utjecaja podzemne vode.

Na pokušalištu je tip tla antropogenizirani hidromeliorirani hipoglej (Marković, 2013.). Osnovna fizikalna i kemijska svojstva tla prikazana su u tablici 2. Prema Škorićevoj (1982.) klasifikaciji tlo je srednjeg retencijskog kapaciteta za vodu. Kapacitet za zrak je nizak u površinskom dijelu, a ukupna poroznost na dubini do 50 cm je mala. Kako je vidljivo iz tablice 2. sadržaj gline u gornjem sjetvenom sloju je 32,5 % te povećavanjem dubine opada. Gustoća čvrste faze ($\rho_č$) varira od 2,6 (0 do 32 cm) do 2,7 g cm^{-3} (32 do 50 cm).

Tablica 2. Osnovna fizikalna i kemijska svojstva tla

	Kv (%)	Kz (%)	$\rho_č$ (g cm^{-3})	P (%)	Glina (%)	Humus (%)	pH (H_2O)	N (%)
0 – 32	36,8	5,3	2,6	41,8	32,5	1,6	7,5	0,13
32 – 50	35,6	6,2	2,7	41,8	31,3			

Kv = kapacitet za vodu; Kz = kapacitet za zrak; $\rho_č$ = gustoća tla; P = poroznost; N = sadržaj dušika

3.1. Priprema i postavljanje tenziometra

Prije postavljanja u tlo u tenziometri su napunjeni destiliranom vodom te su odloženi u posudu s vodom tako da keramička kapica bude vlažna do postavljanja u tlo. Prije zatvaranja čepa tenziometra uklonjeni su mjehurići zraka iz cijevi. Na slici 1. prikazan je brojčanik tenziometra na kojem je vidljiva nula što predstavlja vlažne uvjete. U istraživanju su upotrjebljeni tenziometri duljine 30 i 45 cm, odnosno uređaji su postavljeni na spomenute dubine u tlo. Otvori u koje su postavljeni tenziometri pripremljeni su pomoću pedološke sonde. Porozni vrh obložen je vlažnim tlom kako bi se što bolje uspostavio kontakt između tla i keramičke kapice (slika 2) te da bi mjerenja bila točnija.



Slika 1. Priprema tenziometra



Slika 2. Oblaganje keramičke kapice vlažnim tlom

Tenziometri su postavljeni na razmak od 30 cm (slika 3) na prethodno spomenutim dubinama, a sadržaj vode u tlu praćen je u prosjeku tri puta tjedno ovisno o oborinama. Izmjerene vrijednosti zabilježene su i grafički prikazane u poglavlju rezultata i rasprave.



Slika 3. Tenziometri postavljeni u tlo

3.2. TDR uređaj (Time Domain Reflectrometry)

TDR uređaj je prenosivi ručni uređaj kojega nije bilo potrebno pripremati prije mjerenja (slika 4). Sadržaj vode u tlu mjeren je senzorima duljine 10 i 30 cm usporedno s mjerenjima tenziometrima (slika 5). Na uređaju je moguće odabrati SC – standard clay za tla koja sadrže manje od 27 % gline te HC izbornik za tla koja sadrže visok sadržaj gline (HC – high clay; > 27 %). Usporedbe radi u istraživanju su mjerenja provedena za oba sadržaja gline. Izmjereni podaci zabilježeni su i grafički prikazani.



Slika 4. TDR uređaj



Slika 5. Mjerenje TDR uređajem (fotografija: M. Marković, 2017.)

Nakon uključivanja TDR uređaja na zaslonu je prikazana razina baterije (%) te je po uključivanju potrebno odabrati tip mjerenja ovisno sadržaju gline te dubini senzora. Mjerenja su izražena u relativnim vol. % vode u tlu. Moguće je odabrati slijedeće dubine senzora: 3,8 cm, 11,4 cm, 11,9 cm i 20,1 cm. TDR uređaj posjeduje vlastitu memoriju što olakšava višestruka mjerenja pri čemu se usporedno s mjerenjima računa prosjek mjerenja. Nadalje, uređaj je moguće spojiti na osobno računalo i skinuti podatke radi daljnje analize.

3.3. Gravimetrijsko određivanje trenutne vlažnosti tla

Usporedno s mjerenjem sadržaja vode u tlu tenziometrima i TDR uređajem uzorkovano je tlo s dubina na kojima je mjerena vlažnost tla. Tlo je uzorkovano pedološkim sondama kako je prikazano slikama 6 i 7.



Slika 6. Uzorkovanje tla s određenih dubina



Slika 7. Sondiranje pedološkom sondom (fotografija: M. Marković, 2017.)

Odmah nakon uzorkovanja uzorci tla su sušeni na preciznoj digitalnoj vagi marke *Soehle* kako bi se odredila masa vlažnog tla (mv). Prije sušenja uzorci tla prebačeni su u metalne posudice za sušenje (slika 8), a potom sušeni u sušioniku na 105 ^{0}C do konstantne mase (slika 9). Nakon sušenja uzroci tla su ponovno vagani na preciznoj vagi kako bi se dobila vrijednost mase suhog tla (ms).



Slika 8. Metalne posudice za sušenje uzoraka tla



Slika 9. Sušenje uzoraka tla u sušioniku

Nakon vaganja određena je trenutna vlažnost tla (Trv % mas.) slijedećim izrazom:

$$Trv\ (\%\ mas.) = \frac{mv - ms}{ms}\ x\ 100$$

gdje je:

Trv (% mas.) = trenutačna vlažnost tla u masenim postocima

mv = masa vlažnog tla (g)

ms = masa suhoga tla (g)

Volumni postotak (vol. %) vode u tlu određen je slijedećim izrazom:

$$\text{vol.}\ \% = mas.\ \% * vt$$

Gdje je:

vol. % = volumni postotak vode u tlu

mas. % = maseni postotak vode u tlu

vt = volumna gustoća tla (g cm^{-3})

3.4. Praćenje vremenskih uvjeta i razine podzemne vode

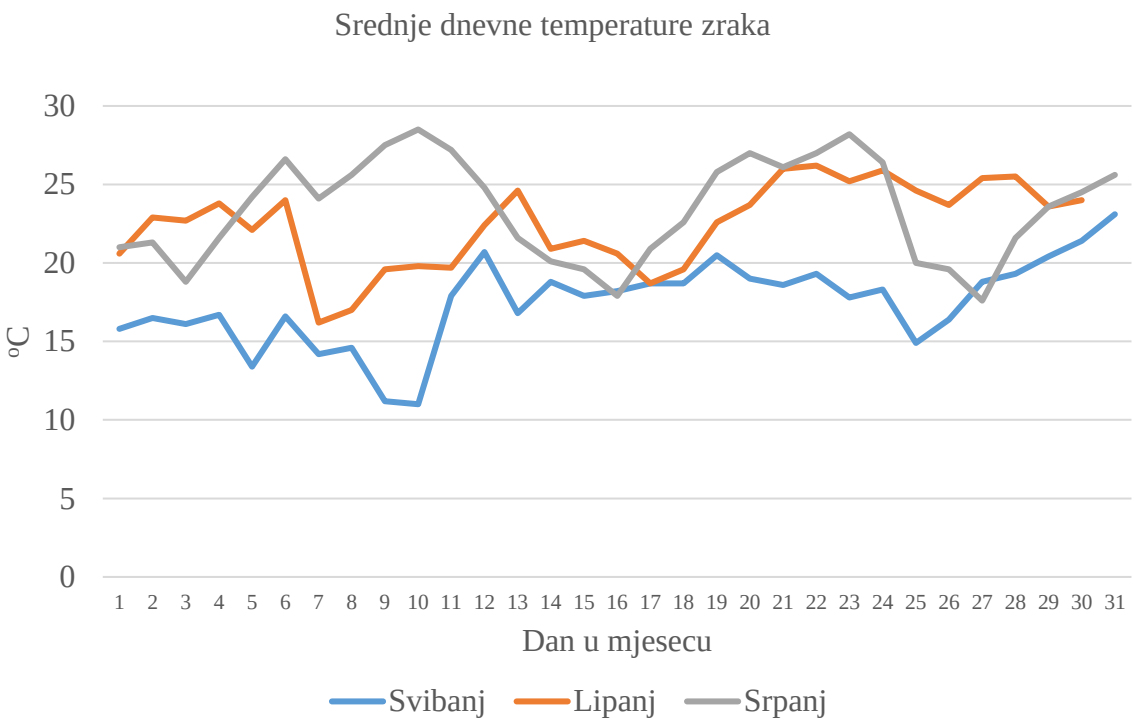
Podaci o dnevnoj količini vode (mm), srednjim dnevnim temperaturama zraka (^{0}C), te temperaturi tla (^{o}C), dobiveni su od Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) i grafički su prikazani. Razina podzemne vode mjerenja je u zdencu koji je udaljen 300 m od pokusne parcele pomoću „zviždaljke“. Razina podzemne vode grafički je prikazana u dijelu rezultata i rasprave.

Prikupljeni podaci prikazani su grafički te obrađeni statističkim računalnim programom STATISTICA 12 (Dell. Inc., Tulsa, USA). Određena je korelacijska povezanost između ispitivanih svojstava na razini značajnosti p = 95 %. Izrađen je grafikon korelacijske veze za sva ispitivana svojstva te pripadajuća jednadžba regresije.

4. REZULTATI I RASPRAVA

4.1. Agroekološki uvjeti

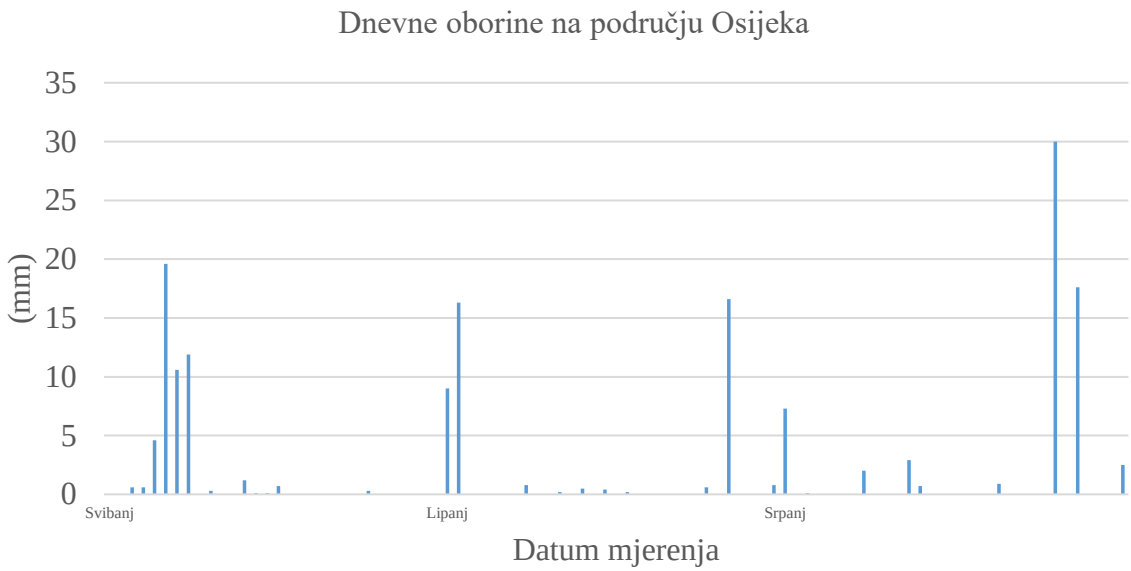
Proljeće je na području Osijeka bilo je toplo bez odstupanja oborine od višegodišnjeg prosjeka. Srednje dnevne temperature zraka tijekom razdoblja istraživanja na području Osijeka prikazane su grafikonom 1. Srednje mjesečne temperature zraka bile su u rasponu od 17,5 °C u svibnju do 25,4 °C u mjesecu srpnju. Najniža dnevna temperatura zraka zabilježena je 10. svibnja (11 °C), a najviša temperatura zraka, a najviša 10. srpnja (28,5 °C).



Grafikon 1. Srednje dnevne temperature zraka tijekom razdoblja istraživanja na području Osijeka

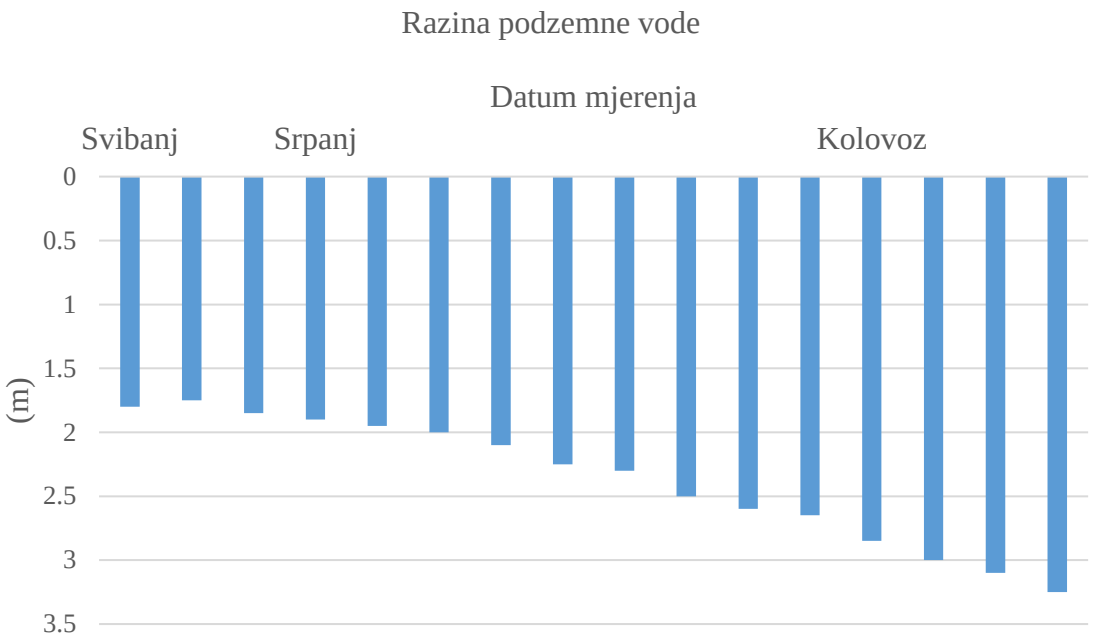
Srednja mjesečna temperatura zraka na području Osijek tijekom mjeseca svibnja bila je za 1 °C viša u odnosu na višegodišnji prosjek (1961. – 1990. = 16,5 °C). Srednja mjesečna temperatura zraka tijekom mjeseca lipnja bila je za 2,9 °C viša u odnosu na višegodišnji prosjek (lipanj = 22,4 °C; 1961. – 1990. = 19,5 °C). Mjesec srpanj bio je ekstremno topao, srednja mjesečna temperatura zraka bila je za 2,3 °C viša u odnosu na višegodišnji prosjek (srpanj = 23,4 °C; 1961. – 1990. = 21,1 °C).

Mjesec svibanj bio je topao i bez značajnijih odstupanja u količini oborine. Ukupno je tijekom mjeseca svibnja na području Osijeka palo 50,6 mm oborine što je za 7,9 mm manje od višegodišnjeg prosjeka (1961. – 1990. = 58,5 mm). Mjesec lipanj bio je ekstremno topao i vrlo sušan. Ukupno je tijekom mjeseca lipnja palo 45,4 mm oborine što je za 48 % manje oborine u odnosu na višegodišnji prosjek (1961. – 1990. = 88 mm). Mjesec srpanj bio je ekstremno topao i bez većih odstupanja u količini oborine. Ukupno je tijekom mjeseca srpnja palo 64 mm oborine što je gotovo jednako kao i višegodišnji prosjek (1961. – 1990. = 64,8 mm). Međutim značajnije oborine pale su 25. srpnja (30 mm) što nije imalo utjecaj na rezultate istraživanja jer su posljednja mjerenja bila 14. srpnja. Do tada je ukupno na području Osijeka palo 13 mm oborine.



Grafikon 2. Dnevna količina oborine na području Osijeka tijekom razdoblja istraživanja

Razina podzemne vode tijekom razdoblja istraživanja prikazana je grafikonom 3. Razina podzemne vode kretala se u rasponu od 1,75 m tijekom mjeseca svibnja do 3,25 m u mjesecu srpnju. Razina podzemne vode je opadala i nije imala utjecaja na sadržaj vode u tlu u gornjem sjetvenom sloju tla.



Grafikon 3. Razina podzemne vode (m) tijekom razdoblja istraživanja

Ekstremno topli mjeseci lipanj i srpanj s nadprosječno visokim temperaturama zraka te nedovoljnim i nepovoljno raspoređenim oborinama uzrokovale su nizak sadržaj vode u tlu kao i nisku razinu podzemne vode.

4.2. Rezultati mjerenja metodom tenziometra

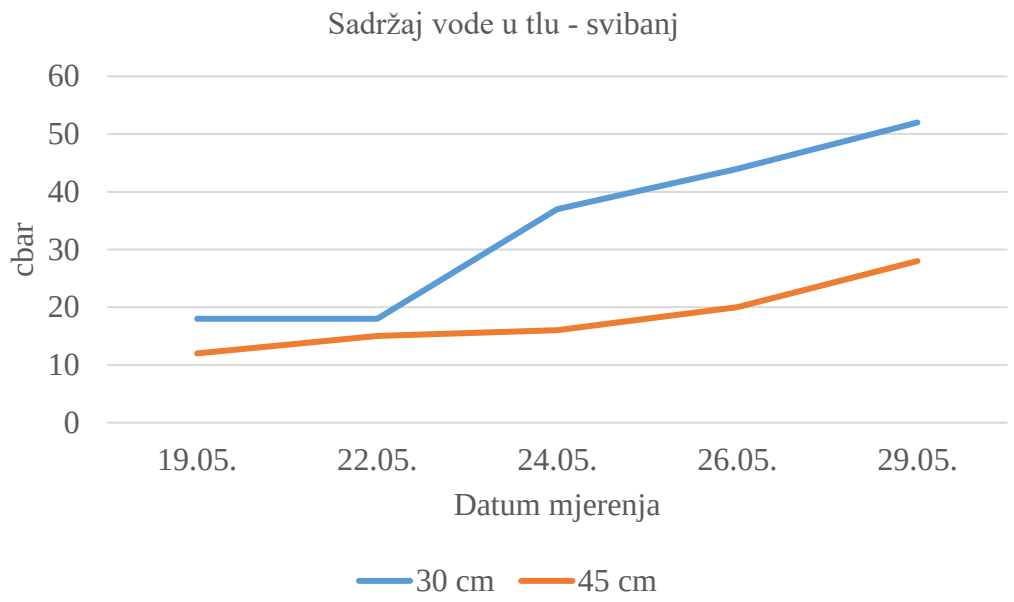
Ukupno je tijekom razdoblja istraživanja sadržaj vode u tlu mjeren 22 puta. Deskriptivna statistika prikazana je tablicom 3. Na 30 cm dubine srednje izmjerene vrijednosti na tenziometru bile su 36 cbar. Minimalna vrijednost je 0 cbar premda treba uzeti u obzir servis tenziometara pa je stoga minimalna vrijednost na dubini od 30 cm 12 cbar, a na dubini od 45 cm 12 cbar. Maksimalna vrijednost na 30 cm dubine bila je 55 cbar, a na dubini od 45 cm bila je 60 cbar.

Tablica 3. Deskriptivna statistika za tenziometre (N = 22)

Dubina senzora	Prosjek	Minimum	Maksimum	Standardna devijacija
30	36,00	0	55	13,89
45	31,59	0	60	15,08

Nakon postavljanja tenziometara vrijednosti na uređajima (na obje dubine) bile su oko 100 % poljskog vodnog kapaciteta (PVK) (11 do 30 cbar = 100 % PVK prema preporuci proizvođača), a nakon toga vrijednosti počinju rasti odnosno sadržaj vode u tlu je opadao (grafikon 4). Na kraju mjeseca svibnja mjerenja na dubini od 45 cm bila su 28 cbar, a na dubini od 30 cm bila su 52 cbar.

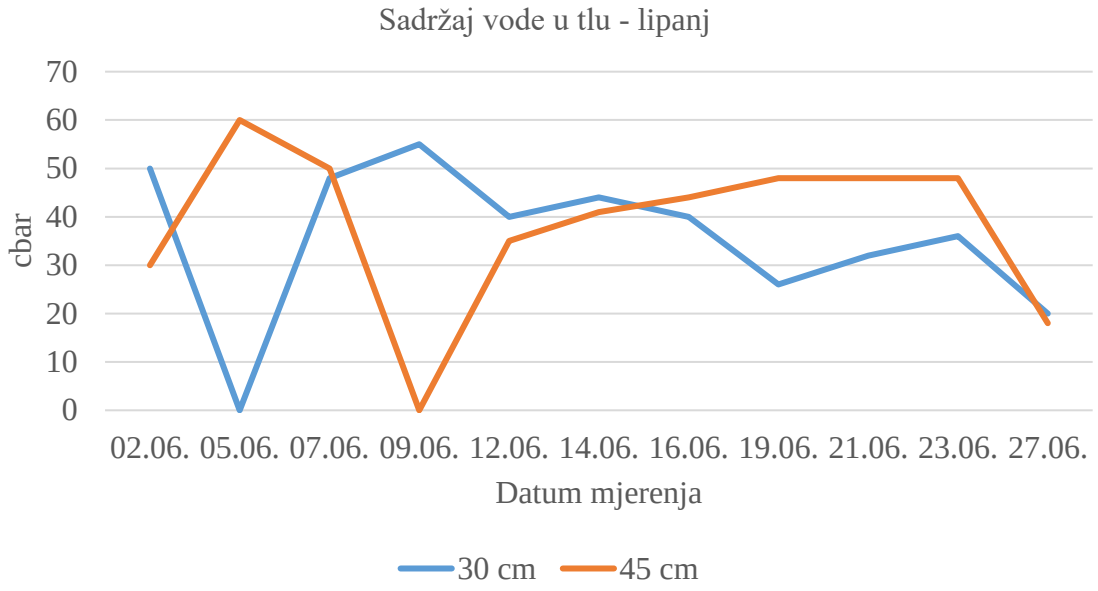
Prema rezultatima mjerenja sadržaj vode u tlu na dubini od 45 cm zadovoljava potrebe biljaka za vodom, odnosno u tlu je najpovoljnija vodna konstanta (PVK). Na dubini od 30 cm sadržaj vode u tlu je nizak te bi nedostatak vode u tlu trebalo nadoknaditi navodnjavanjem (grafikon 4). Naime prema preporuci proizvođača uobičajene vrijednosti za navodnjavanje jesu u rasponu od 50 do 60 cbar kada se radi o praškasto glinastoj ilovači. Obzirom da su oborine u svibnju uglavnom bile u prvom tjednu mjeseca povećanje vrijednosti na uređaju odnosno pad sadržaja vode u tlu posljedica je nedostatka oborine.



Grafikon 4. Sadržaj vode u tlu praćen tenziometrima u mjesecu svibnju 2017. godine

Kako je vidljivo iz grafikona 5. sadržaj vode u tlu tijekom mjeseca lipnja na 30 cm dubine bio je u rasponu od 0 cbar (5. lipnja) do 55 cbar (9. lipnja). Početkom mjeseca lipnja sadržaj vode u tlu na dubini od 30 cm bio je 50 cbar odnosno u vrijednostima kada je potrebno uključiti sustav za navodnjavanje. Uslijed nedostatka oborine voda iz tenziometra je u potpunosti istekla iz uređaja te je uređaj bilo potrebno servisirati. To znači da je tenziometar

bio u suhom tlu te da nije bilo povrata vode nazad u uređaj nego je u uređaju bio samo zrak te je stoga uređaj prestao raditi.



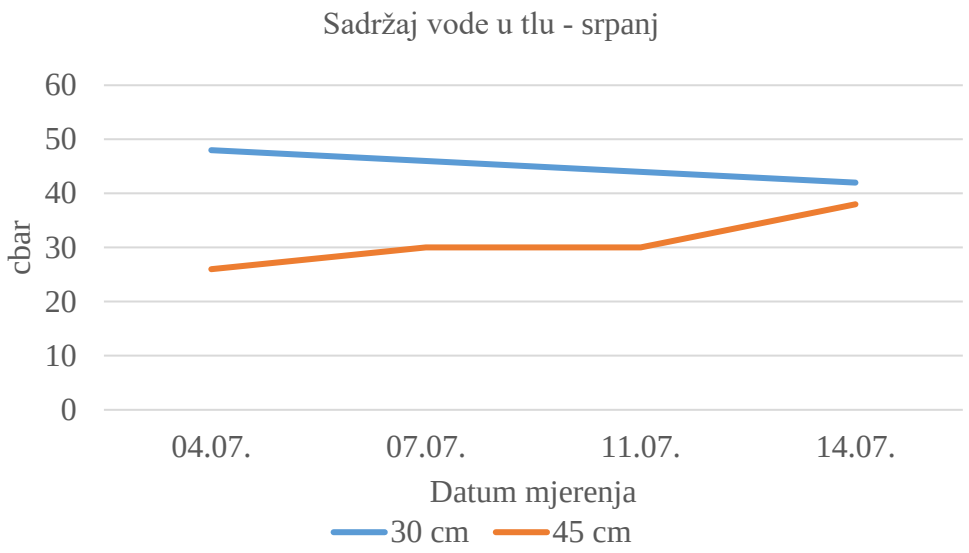
Grafikon 5. Sadržaj vode u tlu praćen tenziometrima u mjesecu lipnju 2017. godine

Uređaj je izvađen iz tla i ponovno napunjen destiliranom vodom. Načinjen je otvor pomoću pedološke sonde te je uređaj ponovno postavljen u tlo. Iz toga razloga poslije ponovnog postavljanja uređaja vrijednost na tenziometru 5. lipnja bila je 0 cbar. Servis tenziometra na 45 cm dubine bio je 9. lipnja, nakon servisiranja uređaj je vraćen u tlo. Prva mjerenja bila su 24 sata nakon servisiranja radi vjerodostojnosti podataka. Iz grafikona 5. vidljivo je brzo uspostavljanje kontakta između tla i porozne kapice jer su vrijednosti na uređajima porasle između dva mjerenja za 50 cbar.

Na početku mjeseca lipnja vrijednosti na uređaju na 45 cm dubine bile su 30 cbar te su rasle do 60 cbar što znači da je i u dubljem sloju tla uslijed nedostatka oborine sadržaj vode u tlu bio nizak odnosno da je bilo potrebno navodnjavati.

Nakon oborine 16. lipnja (16 l m^2, grafikon 2) sadržaj vode u tlu je rastao. Uslijed toga vrijednosti na uređaju na 30 cm dubine s 40 cbar porasle su na 26 cbar, odnosno blizu vrijednosti PVK. Oborine koje su pale 16. lipnja nisu imale utjecaja na sadržaj vode u tlu na dubini od 45 cm. Kako je vidljivo iz grafikona 5. sadržaj vode u tlu na obje dubine je porastao što je posljedica oborine koje su pale 26. lipnja (16,6 l m^2, grafikon 2).

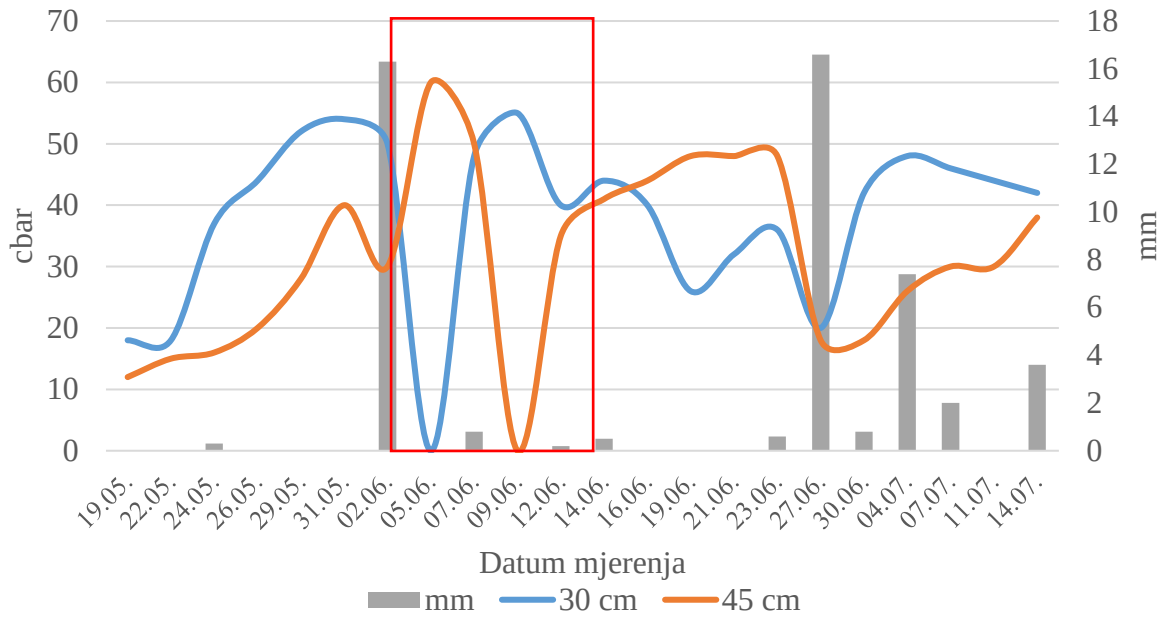
Na početku mjeseca srpnja palo je 7,3 l m^2 oborine (grafikon 2) uslijed čega je sadržaj vode u tlu na 45 cm dubine zadržao se na 26 cbar te je postepeno padao na 38 cbar 14. srpnja (grafikon 6).



Grafikon 6. Sadržaj vode u tlu praćen tenziometrima u mjesecu srpnju 2017. godine

Na dubini od 30 cm vrijednosti na tenziometru bile su više, kretale su se u rasponu od 48 cbar do 42 cbar što je uobičajena vrijednost za navodnjavanje (LKV) za tip tla koji je na pokušalištu (grafikon 6).

Iz grafikona 7. vidljivo je kako su tenziometri na obje dubine pratili odnosno bilježili promjene u sadržaju vode u tlu. Vidljiv je pad vrijednosti na uređajima u vrijeme značajnijih oborina što znači da je zabilježen povećan sadržaj vode u tlu. Jasno je vidljivo dulje razdoblje bez oborine kada su uređaji na obje dubine pokazivali 0 cbar odnosno bilo je potrebno servisirati ih. Nadalje iz grafikona 7. vidljivo je brzo uspostavljanje kontakta između porozne kapice i tla jer su nakon 24 sata nakon servisiranja uređaja vrijednosti na uređajima narasle.



Grafikon 7. Kretanje sadržaja vode u tlu (cbar) i oborine (mm) tijekom razdoblja mjerenja

4.3. Rezultati mjerenja TDR (*Time Domain Reflectometry*) metodom

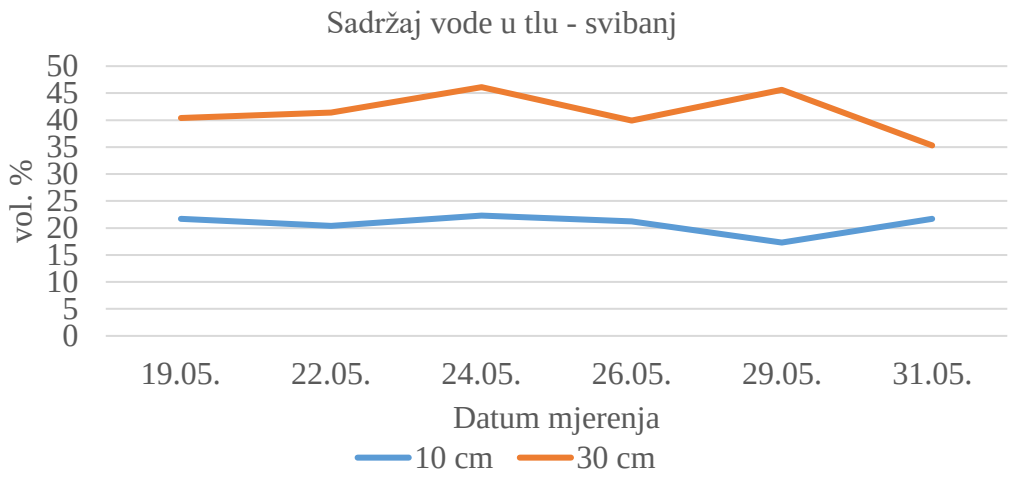
Sadržaj vode u tlu praćen TDR uređajem bio je u rasponu od 0 do 48,5 vol. % (tablica 4). Na dubini od 10 cm minimalne vrijednosti bile su 0, a maksimalne vrijednosti 36,6 vol. %. Na dubini od 30 cm minimalne vrijednosti bile su 13,2, a maksimalne vrijednosti bile su 48,5 vol.%.

Tablica 4. Deskriptivna statistika za TDR mjerenja (N = 22)

Dubina senzora	Prosjek	Minimum	Maksimum	Standardna devijacija
10	16,28	0	36,6	9,578
30	31,92	13,2	48,5	10,765

Sadržaj vode u tlu tijekom mjeseca svibnja na dubini od 10 cm bio je u rasponu od 17,3 do 21,7 vol. % (grafikon 8) što je prema interpretaciji proizvođača na granici točke venuća (Tv) odnosno sadržaj vode u tlu na dubini od 10 cm uzrokovao bi vodni stres te je nedostatak vode u tlu potrebno nadoknaditi navodnjavanjem posebice ako su uzgajane kulture plitkog korjenovog sustava kao što su povrtne kulture. Na dubini od 30 cm sadržaj vode u tlu tijekom

mjeseca svibnja bio je u rasponu od 40,4 do 45,6 vol. % odnosno prema interpretaciji proizvođača na 100 % PVK (prilog 1).

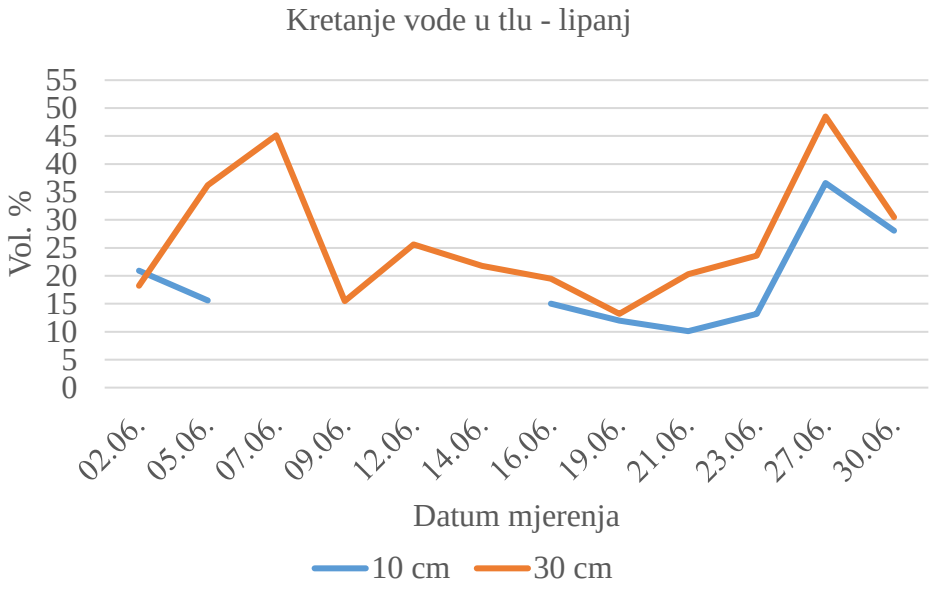


Grafikon 8. Kretanje sadržaja vode u tlu praćeno TDR uređajem tijekom mjeseca svibnja 2017. godine

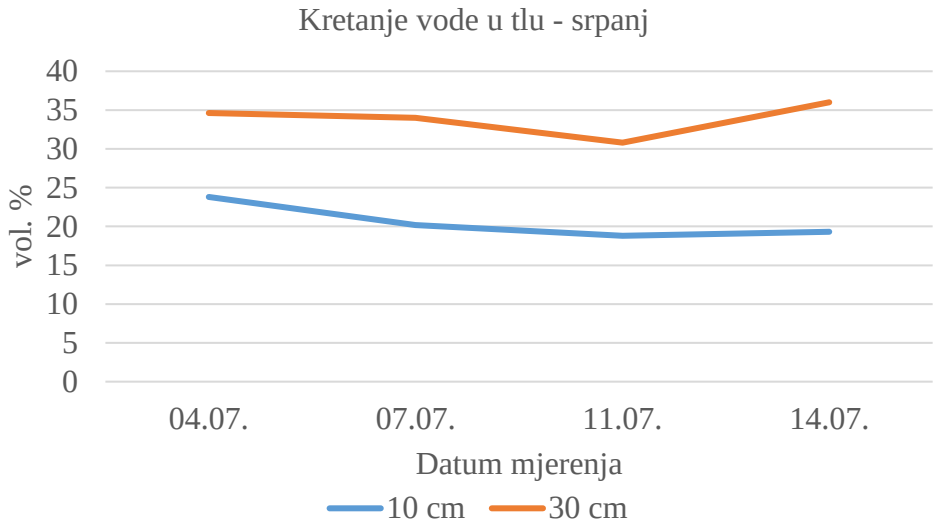
Sadržaj vode u tlu tijekom mjeseca lipnja prikazan je grafikonom 9. Uslijed nedostatka oborine sadržaj vode u tlu na dubini od 10 cm bio je ispod Tv. Kao što je vidljivo iz grafikona 9., u razdoblju od 5. do 16. lipnja sadržaj vode u tlu na dubini od 10 cm nije bilo moguće izmjeriti. U razdoblju od 5. do 16. lipnja sveukupno je palo 1,9 l m^2 oborine nakon čega su vrijednosti na 10 cm dubine bile 15 vol. %. Nakon oborina 26. lipnja (grafikon 2) zabilježen je porast sadržaja vode u tlu do 36,6 vol. % što je blizu vrijednosti PVK-a.

Na dubini od 30 cm na početku mjeseca lipnja sadržaj vode u tlu bio je vrlo nizak, na granici Tv te je nakon oborina na početku mjeseca (25,3 l m^2) rastao do vrijednosti 100 % PVK-a. Kako je vidljivo iz grafikona 11., uređaj je zabilježio oborinu 2. lipnja (16,3 l m^2) samo na dubini od 30 cm. Naime, sadržaj vode u tlu je mjeren prije oborine tako da je vidljiv porast sadržaja vode u tlu idućih dana. TDR uređaj zabilježio je pad sadržaja vode u tlu nakon 7. lipnja sve do vrijednosti 13,2 vol. % što je za tip tla na pokušalištu sadržaj vode u tlu kada dolazi do trajnog venuća (Tv). Nakon oborina 26. lipnja sadržaj vode u tlu na dubini od 30 cm raste do 48,5 vol. % što je uređaj zabilježio (grafikon 9), a nakon toga uslijed nedostataka oborine sadržaj vode u tlu opada. Vidljiva je osjetljivost senzora na promjenu sadržaja vode u tlu čak i uslijed manjih oborina što je u skladu sa navodom Chandler i sur. (2004.). Autori

navode izraženu osjetljivost TDR senzora na promjenu vlažnosti tla pri dobrom kontaktu između senzora i tla.



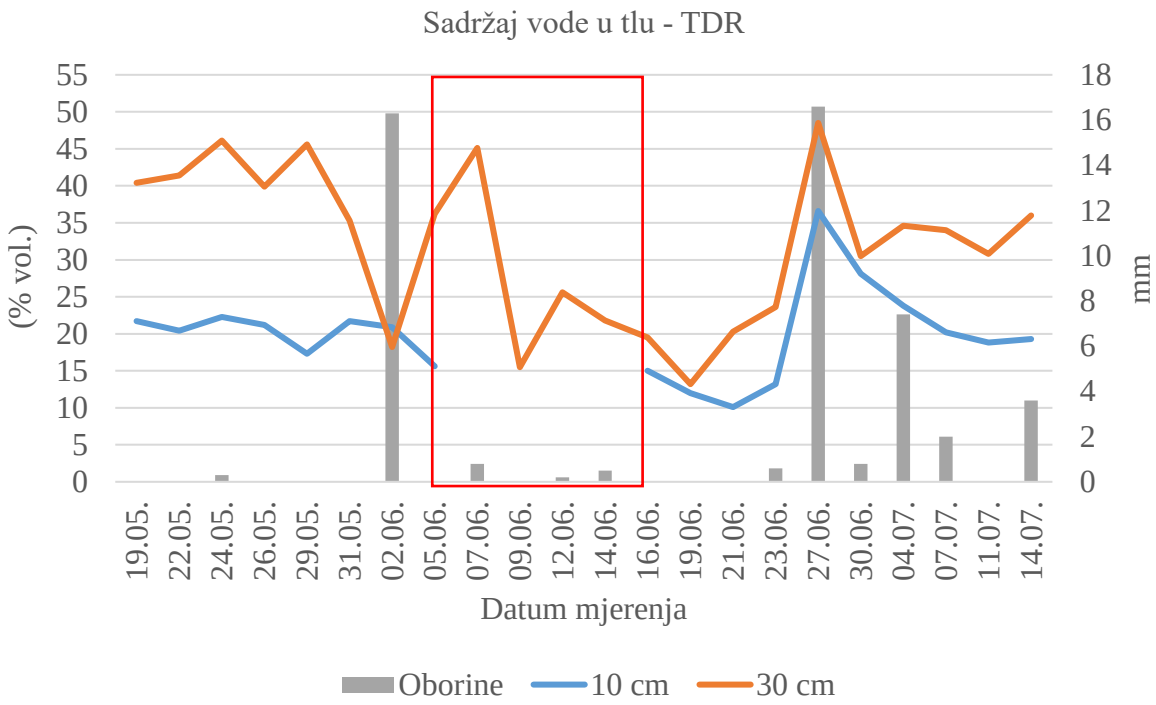
Grafikon 9. Kretanje sadržaja vode u tlu praćeno TDR uređajem tijekom mjeseca lipnja 2017. godine



Grafikon 10.Sadržaj vode u tlu izmjeren TDR uređajem tijekom mjeseca srpnja 2017. godine

Tijekom prve polovice mjeseca srpnja vrijednosti na 10 cm dubine bile su u rasponu od 23,8 do 23,3 vol. % što je blizu vrijednosti Tv. Odnosno sadržaj vode u tlu na 10 cm dubine bio je toliko nizak da su oštećenja na biljkama ireverzibilna. Prema rezultatima mjerenja na dubini od 30 cm sadržaj vode u tlu bio je u rasponu od 30,8 do 36 vol. % što prema interpretaciji proizvođača predstavlja vrijednost LKV.

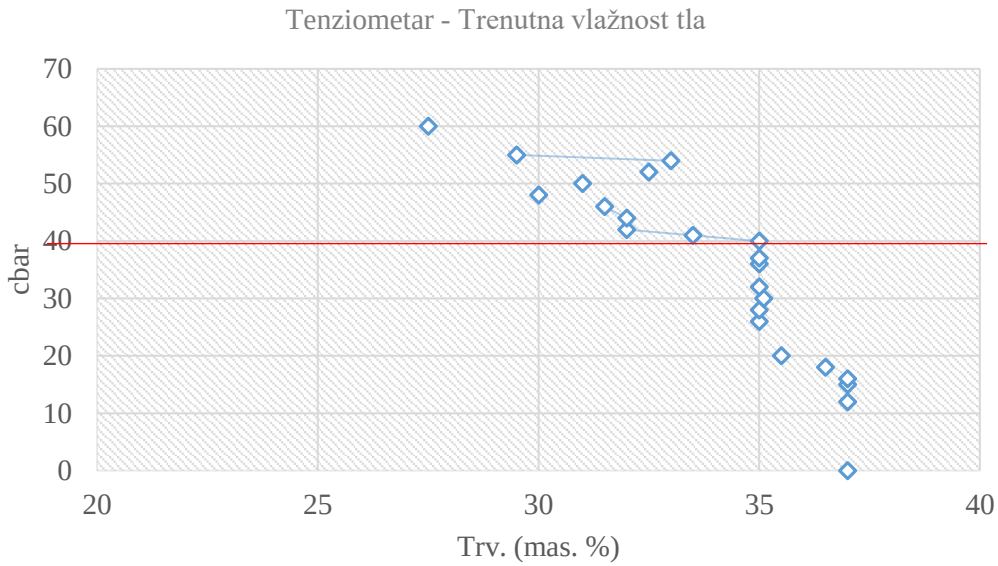
Iz grafikona 11. vidljiva je dinamika rezultata mjerenja ovisno o količini oborine. Izuzeti se mogu rezultati senzora na 10 cm dubine jer nije zabilježio povećanje vlažnosti tla nakon oborine 2. lipnja (16, l m^2). Nasuprot tome, vlažnost tla bila je toliko niska da uređaj nije mogao izmjeriti. Vjerodostojnija i ujednačenija mjerenja senzorima na 45 cm dubine može biti rezultat kompaktnijeg, homogenijeg i zbijenijeg tla u kojem mikropore dominiraju te je bolji kontakt tla i senzora što u značajnoj mjeri može uzrokovati nepozdane rezultate. Upravo radi toga važan je čimbenik čovjek sa svojim iskustvom i znanjem. Ali (2009.) navodi kako TDR uređaj pokazuje *in situ* vrijednosti dobivene promatranjem, a koje je potrebno interpretirati na osnovu umjeravanja uređaja. Pri tome treba naglasiti važnost prethodne obuke, znanje i iskustvo kako bi se prepoznale greške i što točnije odredio trenutak početka navodnjavanja.



Grafikon 11. Sadržaj vode u tlu (vol. %) i oborine (mm) tijekom razdoblja istraživanja

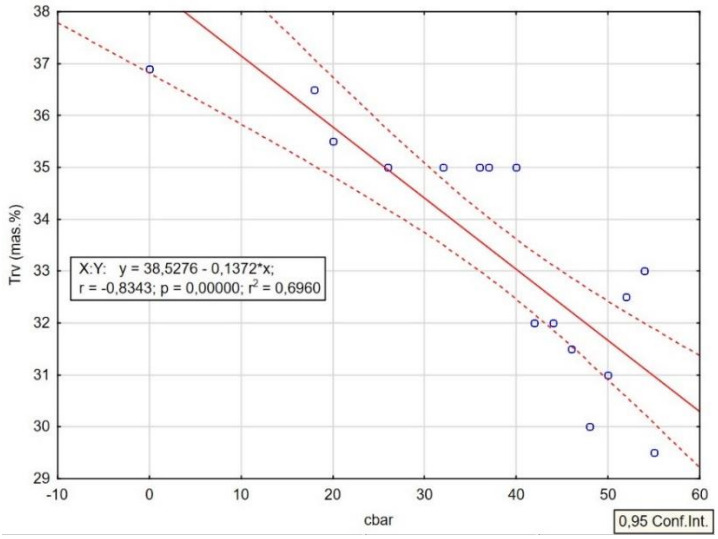
4.4. Umjeravanje uređaja te usporedba rezultata mjerenja

Odnos između trenutne vlažnosti tla (mas. %) i vrijednosti koje su očitane na tenziometru (cbar) prikazane su grafikonom 12. Iz grafikona je vidljiv odnos između trenutne vlažnosti tla i mjerenja na uređaju koja se mijenja uslijed sadržaja vode u tlu. Kako se sadržaj vode u tlu smanjuje tako rastu sile držanja vode za čestice tla odnosno vrijednosti na uređaju rastu. Odnos je ovisan o teksturi tla pa je stoga krivulju umjeravanja (grafikon 12) potrebno načiniti za svaki tip tla. Nakon umjeravanja tenziometra za tip tla na pokusnoj parceli vidljivo je odstupanje od preporuke proizvođača. Naime, prema preporuci proizvođača uobičajena vrijednost za navodnjavanja praškasto glinaste ilovače je 50 do 60 cbar, no prema rezultatima umjeravanja za navedeno tlo trenutak početka navodnjavanja bi trebao biti na 40 cbar.



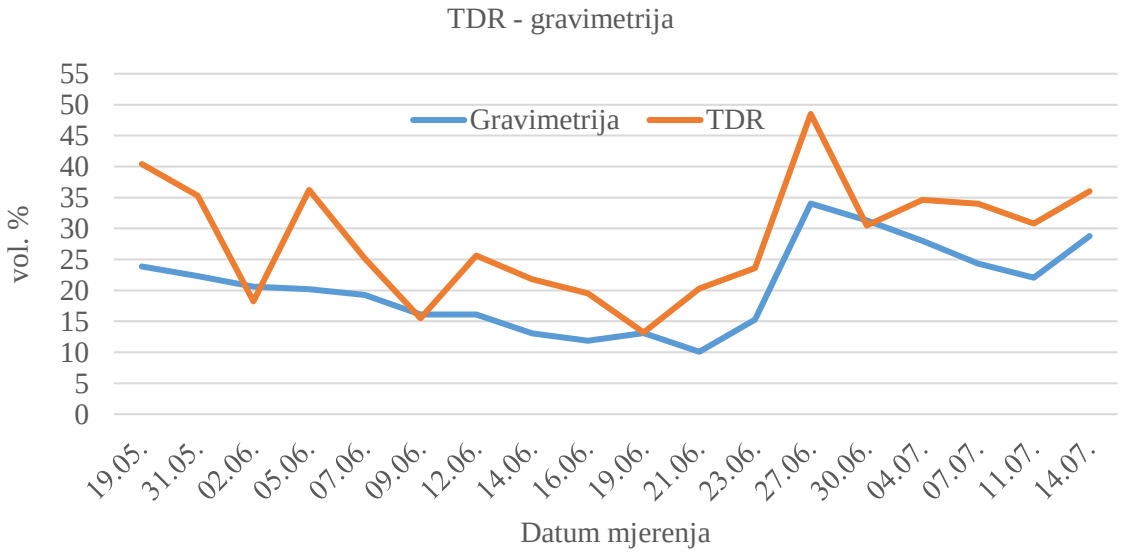
Grafikon 12. Krivulja umjeravanja za tenziometar

Najmanje izmjerene vrijednosti na uređaju bile su 60 cbar premda se sadržaj vode u tlu i dalje smanjivao, ali vrijednosti na uređaju su ostale iste. Pri toj vrijednosti postignut je termodinamički ekvilibrijum vodene pare. Analizom korelacijske veze utvrđena je vrlo jaka negativna povezanost (r = - 0,8*) između trenutne vlažnosti i mjerenja tenziometrom što je zadovoljavajuće obzirom na mali broj mjerenja. Korelacijska veza i pripadajuća jednadžba regresije prikazane su grafikonom 13. Vrijednost korelacijske veze interpretirana je prema Roemer-Orphal-ovoj tablici.



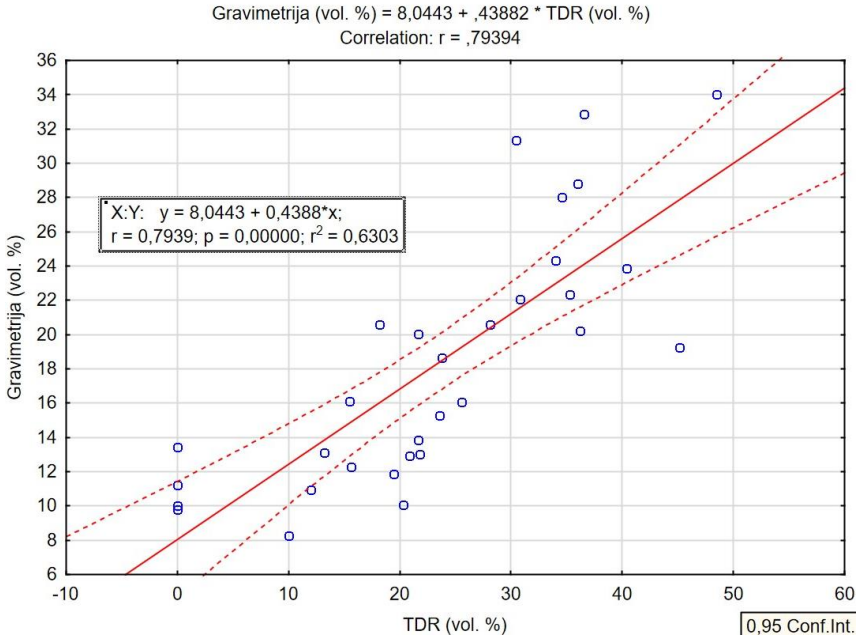
Grafikon 13. Korelacijska povezanost i jednadžba regresije (tenziometar – trenutna vlažnost tla)

Odnos između TDR (vol. %) mjerenja i gravimetrije prikazane je grafikonom 14. Premda u preporukama proizvođača stoji kako TDR uređaj nije potrebno prije upotrebe kalibrirati (umjeravati) za potrebe diplomskog rada izrađena je krivulja koja predstavlja odnos TDR mjerenja i trenutne vlažnosti (vol. %) dobivene gravimetrijom. Iz grafikona 14. vidljiva je veća točnost mjerenja pri većoj vlažnosti tla jer su najujednačenija mjerenja TDR uređajem i gravimetrijom odmah iza oborina. Navedeno potvrđuje Brevik (2012.) u rezultatima istraživanja.



Grafikon 14. Odnos TDR mjerenja i gravimetrije (vol. %)

Analizom korelacijske veze dobivena je vrlo jaka pozitivna povezanost (r = 0,79*) između TDR mjerenja (vol. %) te trenutne vlažnosti tla (vol. %) dobivena gravimetrijom (grafikon 15) što je zadovoljavajuće obzirom na mali broj mjerenja. Topp i sur. (1980.) u rezultatima istraživanja navode jaku vezu (R^2 = 0.995, n = 4) između TDR mjerenja i gravimetrije. Odstupanja su moguća radi krupnijih pora, odnosno većih pukotina u tlu ili radi teškoća prilikom ulaska sonde u tlo što su također Reeves i Smith (1992.) naveli u rezultatima svoga istraživanja, a Topp i Davis (1985.) navode kako se navedeni problem može riješiti tako da se sondom u tlo ulazi pod kutom.



Grafikon 15. Korelacijska povezanost između TDR (vol. %) mjerenja i trenutne vlažnosti tla dobivene gravimetrijom (vol. %)

5. ZAKLJUČAK

Nakon istraživanja provedenog na pokušalištu Poljoprivrednog instituta u Osijeku, može se zaključiti kako su se obje metode pokazale pouzdanima, te su pratile trend kretanja sadržaja vode u tlu ovisno o njegovom porastu ili padu. Utvrđena je vrlo jaka negativna korelacija između tenziometra i trenutne vlažnosti tla (r = - 0,8*), te vrlo jaka pozitivna korelacija između očitavanja TDR-a i trenutne vlažnosti tla (r = 0,79*) unatoč malom broju mjerenja. U iznimno sušnim razdobljima tijekom istraživanja tenziometar je prestao raditi, te ga je bilo potrebno servisirati jer je sva voda iz uređaja istekla u suho tlo. U istom razdoblju TDR uređaj nije bio u mogućnosti izmjeriti sadržaj vode u tlu na dubini od 10 cm. Prema tome oba uređaja prepoznala su kritični nedostatak vode u tlu. Istraživanjem je pokazano brzo uspostavljanje kontakta između uređaja i tla jer su nakon 24 sata vrijednosti na uređaju porasle i pokazale stvarno stanje vlažnosti tla što je potvrđeno gravimetrijskim mjerenjem. Rezultati mjerenja razlikovali su se ovisno o dubini postavljenog uređaja no bez obzira na dubinu tenziometri su registrirali i najmanje promjene u vlažnosti tla. TDR uređaj nije zabilježio veću količinu oborine na 10 cm dubine početkom mjeseca lipnja, a vrijednosti su često odstupale pa je stoga bila važna uloga čovjeka kako bi se prepoznala mjerenja koja odgovaraju stvarnom stanju vlažnosti tla. Velika odstupanja mogla bi biti posljedica velike osjetljivosti uređaja na promjene vlažnosti tla ili strukturu tla obzirom na pukotine. Nadalje TDR uređaj pokazao je manju točnost u sušnim uvjetima. Preporuča se umjeravanje tenziometra i TDR uređaja za tip tla na kojem se navodnjavanja i mjeri sadržaj vode u tlu. Prema rezultatima istraživanja i većem dijelu vegetacijskog razdoblja u tlu nije bilo dovoljne količine vode kao i oborine koje bi nadoknadile nedostatak vode u tlu te se prema meliorativnoj praksi preporuča nadoknaditi manjak vode navodnjavanjem kako bi stres izazvan sušom bio sveden na minimum.

6. POPIS LITERATURE

Abubaker, J. (2009.): Irrigation scheduling for efficient water use in dry climates. Master thesis, Swedish University of Agricultural Sciences.

Aksić, M. (2011.): Određivanje vremena zalivanja tenziometrom. Agronišava – Niš.

Ali, S. (2009.): Evaluation of soil moisture sensors for irrigation scheduling of strawberries. MSc Thesis, McGill University.

Amos, M. J. (2015.): Development of a Time Domain Reflectometry sensor for cone penetration testing. Department of Civil and Geological Engineering, University of Saskatchewan.

Antić, M., Jović, N., Avdalović, V. (1982.): Pedologija. Naučna knjiga, Beograd.

Brevik, E.C., Batten, R. A. (2012.): Evaluation of the FieldScout TDR300 for Determining Volumetric Water Content in Sandy South Georgia Soils. Soil Horizons, 1 – 5.

Clay J. (2004.): World Agriculture and Environment. A Commodity by Commodity. Guide to Impacts and Practices, Island Press.

Chandler, D. G., Seyfried M., Murdock M., McNamara J. (2004.): Field Calibration of Water Content Reflectometers. Soil Sci. Soc. Am. J., 68 (5): 1 – 9.

Dukes, M. D., Scholberg, J.M. (2005.): Soil moisture controlled subsurface drip irrigation on sandy soils. Applied Engineering in Agriculture, 21 (1): 89 – 101.

European Environment Agency, EEA (2017.): Water use by sectors. Dostupno na: https://www.eea.europa.eu/themes/water/water-resources/water-use-by-sectors, 19. 08. 2017.; 13 : 59.

Evett S. R., Tolk J. A., Howell T. (2006.): Soil Profile Water Content Determination: Sensor Accuracy, Axial Response, Calibration, Temperature Dependence, and Precision. Vadose Zone Journal, 2 (4): 444 - 475.

Evett, S.R., Schwartz, R.C., Casanova, J.J., Heng, L.K. (2011.): Soil water sensing for water balance, ET and WUE. Agricultural Water Management, 104: 1 – 9.

Food and Agricultural Organisation of United Nation, FAO (2003.): Aquastat. Dostupno na:

http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en, 13. 09. 2017.; 20 : 15.

Gong, Y., Cao, Q., Sun, Z. (2003.): The effects of soil bulk density, clay content and temperature on soil water content measurement using time-domain reflectometry. Hydrological Processes, 17: 3601 – 3614.

Haman, D.Z., Yeager, T.H. (2003.): Controlling Irrigation with Tensiometers and Time Domain Reflectometry (TDR). Final Report, University of Florida.

Hamed, Y., Samy, G., Persson, M. (2006.): Evaluation of the WET sensor compared to time domain reflectometry. Hydrological Sciences Journal, 51 (4): 671 – 681.

Ibarra, S. (1997.): Soil moisture and tensiometer measurements made to assist the management of supplementary irrigation of maize in eastern Ontario. Department of Agricultural & Biosystems Engineering, Macdonald Campus of McGill University, Montreal.

Leib, B.G., Jabro, J.D., Matthews, G.R. (2003.): Field Evaluation and Performance Comparison of Soil Moisture Sensors. Soil Science, 168 (6): 396 – 408.

Madjar, S., Šoštarić, J. (2009.): Navodnjavanje poljoprivrednih kultura. Sveučilište Josipa Juraja Strossmayera, Poljoprivredni fakultet, Osijek.

Marković, M. (2013.): Utjecaj navodnjavanja i gnojidbe dušikom na urod i kvalitetu zrna hibrida kukuruza (Zeay mays L.). Doktorska disertacija. Poljoprivredni fakultet u Osijeku.

Muñoz-Carpena, R. (2004.): Field Devices For Monitoring Soil Water Content. Fact Sheet ABE 343 of the Department of Agricultural and Biological Engineering, Florida.

Payero, J. O., Tarkalson, D. D., Irmak, S. (2006.): Use Of Time Domain Reflectometry For Continuous Monitoring Of Nitrate-Nitrogen In Soil And Water. Biological Systems Engineering: Papers and Publications, University of Nebraska, Lincoln.

Reeves, T. L., Smith M. A. (1992.): Time domain reflectrometry for measuring soil water content in range surveys. J. Range. Manage., 45: 412 – 414.

Smajstrla, A. G., Locascio, S. J. (1990.): Irrigation scheduling of drip-irrigated tomato using tensiometers and pan evapotranspiration. Proc, Fla. State Hort. Soc., 103: 88 – 91.

Škorić, A. (1982): Priručnik za pedološka istraživanja. Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb.

Špoljar, A. (2015.): Pedologija. Zrinski d.d., Čakovec.

Topp, G.C., Davis J.L., Annan A.P. (1980.): Electromagnetic determination of soil water content: Measurement in coaxial transmission lines. Water Resour. Res., 16: 574 – 582.

Topp, G.C., J.L. Davis. (1985.): Time-domain reflectometry (TDR) and its application to irrigation scheduling. Advances in Irrigation Scheduling, 3: 107 – 127.

Vis, E., Kumar, R., Mitra, S. (2007.): Comparison of Distribution Uniformities of Soil Moisture and Sprinkler Irrigation in Turfgrass. Plant Science Department, California Polytechnic State University Pomona.

7. SAŽETAK

U završnom radu prikazane su i uspoređene metode TDR-a (*Time Domain Reflectrometry*) i tenziometra za praćenje sadržaja vode u tlu. Uređaji su umjereni za tlo na pokušalištu te su izmjerene vrijednosti uspoređene. Istraživanje je postavljeno na pokušalištu Poljoprivrednog instituta Osijek 2017. godine (45°32'S i 18°44'I, 90 m. n. m.). Uređaji za mjerenje sadržaja vode u tlu postavljeni su na pokusne parcele na kojima je posađen grašak. U istraživanju nije bilo tretmana navodnjavanja tako da je praćena dinamika sadržaja vode u tlu kao posljedica količine i rasporeda oborine ili kao posljedica eventualnog utjecaja podzemne vode. Usporedno s mjerenjem sadržaja vode u tlu tenziometrima i TDR uređajem uzorkovano je tlo s dubina na kojima je mjerena vlažnost tla. Prema rezultatima istraživanja uređaji su uglavnom registrirali promjene u vlažnosti tla. U prosjeku vrijednosti na tenziometrima bile su 36 cbar (30 cm) te 31,6 cbar (45 cm). Tijekom istraživanja vrijednosti na tenziometru koji je bio postavljen na 30 cm bile su u rasponu od 18 do 55 cbar, a na dubini od 45 cm vrijednosti su bile od 12 do 60 cbar. TDR mjerenja kod senzora duljine 10 cm bile su u rasponu od 10 do 36,6 vol. %, a kod senzora 30 cm duljine vrijednosti su bile u rasponu od 13,2 do 48,5 vol. %. Tijekom većeg dijela razdoblja istraživanja sadržaj vode u tlu na obje bio je oko vrijednosti lentokapilarne vlažnosti te je nedostatak vode u tlu bilo potrebno nadoknaditi navodnjavanjem. Utvrđena je vrlo jaka negativna korelacija između tenziometra i trenutne vlažnosti tla ($r = - 0,8^*$), te vrlo jaka pozitivna korelacija između očitavanja TDR-a i trenutne vlažnosti tla ($r = 0,8^*$).

8. SUMMARY

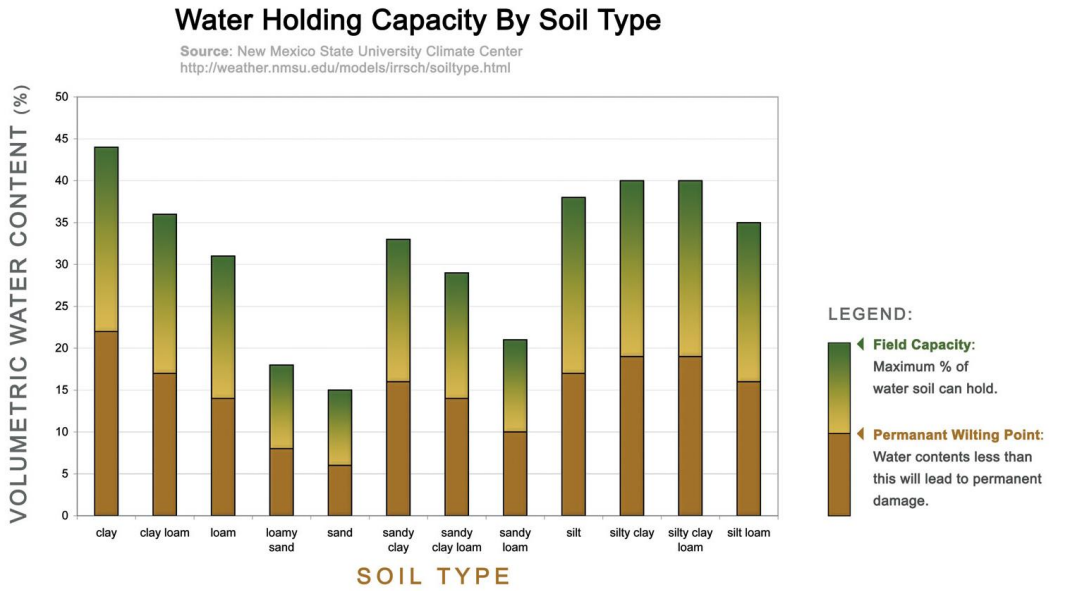
This thesis is about the use of TDR (*Time Domain Reflectometry*) method and tensiometer method for measuring of soil water content for making a decison when to irrigate. The devices were calibrated for soil at a trial field and the measured values are compared. The research was set up at a trial field of Agricultural institute in Osijek during 2017 (45^{o}32'S and 18^{o}44'I, 90 AMSL). Devices used for measuring water soil content were set up in experimental plots in which peas plants are planted. There were no treatments of irrigation in this research, so the dynamic of water content in soil was measured as a result of amount and distributiom of rainfall or as a result of groundwater influence. Comparatively with measuring the soil water content with tensiometers and TDR device, the soil was sampled for gravimetric method from depths in which soil humidity was measured. In average the tensiometer readings on 30 cm depth was 36 cbar while on 45 cm depth the average reading was 31,6 cbar. On 30 cm tensiometer readings ranged from 18 do 55 cbar while on 45 cm tensiometer readings ranged from 12 to 60 cbar. As for TDR the readings ranged from 10 to 36,6 vol. % on 10 cm depth while on 30 cm readings ranged from 13,2 to 48,8 vol. %. In average both sensors for measuring soil water content have registered the changes in soil moisture. According to results in mainly part of the research period the soil water content was very low and there was a need to compensate the lack of water with irrigation. A strong negative correlation relationship was determined between tensiometer and current soil moisture (r = - 0.8*), and a strong positive correlation relationship between TDR readings and current soil moisture (r = 0.8*).

9. PRILOZI

Prilog 1. Volumni sadržaj vode u tlu te vodne konstante ovisno o tipu tla za TDR uređaj

Spectrum Technologies, Inc.
"To Measure Is To Know"

FIELDSCOUT
TDR SOIL MOISTURE SERIES



12360 S. Industrial Drive, East - Plainfield, IL 60585
toll free: 800.248.8873 - fax: 815.436.4460 - web: www.specmeters.com - email: info@specmeters.com

10. POPIS TABLICA

Tablica 1. Ukupna potrošnja vode po sektorima i kontinentima (km^3/god) (str. 1)

Tablica 2. Osnovna fizikalna i kemijska svojstva tla (str. 12)

Tablica 3. Deskriptivna statistika za tenziometre (N = 22) (str. 20)

Tablica 4. Deskriptivna statistika za TDR mjerenja (N = 22) (str. 25)

11. POPIS SLIKA

Slika 1. Priprema tenziometra (str. 13)
Slika 2. Oblaganje keramičke kapice vlažnim tlom (str. 13)
Slika 3. Tenziometri postavljeni u tlo (str. 13)
Slika 4. TDR uređaj (str. 14)
Slika 5. Mjerenje TDR uređajem (str. 14)
Slika 6. Uzorkovanje tla s određenih dubina (str. 15)
Slika 7. Sondiranje pedološkom sondom (str. 15)
Slika 8. Metalne posudice za sušenje uzoraka tla (str. 16)
Slika 9. Sušenje uzoraka tla u sušioniku (str. 16)

Napomena:
Fotografije korištene u diplomskom radu izvorno su djelo autora osim ako u tekstu nije drugačije naznačeno.

12. POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Srednje dnevne temperature zraka tijekom razdoblja istraživanja na području Osijeka (str. 18)

Grafikon 2. Dnevna količina oborine na području Osijeka tijekom razdoblja istraživanja (str. 19)

Grafikon 3. Razina podzemne vode (m) tijekom razdoblja istraživanja (str. 20)

Grafikon 4. Sadržaj vode u tlu praćen tenziometrima u mjesecu svibnju 2017. godine (str. 21)

Grafikon 5. Sadržaj vode u tlu praćen tenziometrima u mjesecu lipnju 2017. godine (str. 22)

Grafikon 6. Sadržaj vode u tlu praćen tenziometrima u mjesecu srpnju 2017. godine (str. 23)

Grafikon 7. Kretanje sadržaja vode u tlu (cbar) i oborine (mm) tijekom razdoblja mjerenja (str. 24)

Grafikon 8. Sadržaj vode u tlu praćen TDR uređajem tijekom mjeseca svibnja 2017. godine (str. 25)

Grafikon 9. Kretanje sadržaja vode u tlu praćen TDR uređajem tijekom mjeseca lipnja 2017. godine (str. 26)

Grafikon 10. Sadržaj vode u tlu izmjeren TDR uređajem tijekom mjeseca srpnja 2017. godine (str. 26)

Grafikon 11. Sadržaj vode u tlu (vol. %) i oborine (mm) tijekom razdoblja istraživanja (str. 27)

Grafikon 12. Krivulja umjeravanja za tenziometar (str. 28)

Grafikon 13. Korelacijska povezanost i jednadžba regresije (tenziometar – trenutna vlažnost tla) (str. 29)

Grafikon 14. Odnos TDR mjerenja i gravimetrije (vol. %) (str. 29)

Grafikon 15. Korelacijska povezanost između TDR (vol. %) mjerenja i trenutne vlažnosti tla dobivene gravimetrijom (vol. %) (str. 30)

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku **Diplomski rad**

Poljoprivredni fakultet u Osijeku

Sveučilišni diplomski studij Bilinogojstva, smjer Biljna proizvodnja

Usporedba TDR metode (Time Domain Reflectometry) i metode tenziometra u praćenju sadržaja vode u tlu

Mislav Jaić

Sažetak:

U završnom radu prikazane su i uspoređene metode TDR-a (Time Domain Reflectrometry) i tenziometra za praćenje sadržaja vode u tlu. Uređaji su umjereni za tlo na pokušalištu te su izmjerene vrijednosti uspoređene. Istraživanje je postavljeno na pokušalištu Poljoprivrednog instituta Osijek 2017. godine (45o32'S i 18o44'I, 90 m. n. m.). Uređaji za mjerenje sadržaja vode u tlu postavljeni su na pokusne parcele na kojima je posađen grašak. U istraživanju nije bilo tretmana navodnjavanja tako da je praćena dinamika sadržaja vode u tlu kao posljedica količine i rasporeda oborine ili kao posljedica eventualnog utjecaja podzemne vode. Usporedno s mjerenjem sadržaja vode u tlu tenziometrima i TDR uređajem uzorkovano je tlo s dubina na kojima je mjerena vlažnost tla. Prema rezultatima istraživanja uređaji su uglavnom registrirali promjene u vlažnosti tla. U prosjeku vrijednosti na tenziometrima bile su 36 cbar (30 cm) te 31,6 cbar (45 cm). Tijekom istraživanja vrijednosti na tenziometru koji je bio postavljen na 30 cm bile su u rasponu od 18 do 55 cbar, a na dubini od 45 cm vrijednosti su bile od 12 do 60 cbar. TDR mjerenja kod senzora duljine 10 cm bile su u rasponu od 10 do 36,6 vol. %, a kod senzora 30 cm duljine vrijednosti su bile u rasponu od 13,2 do 48,5 vol. %. Tijekom većeg dijela razdoblja istraživanja sadržaj vode u tlu na obje bio je oko vrijednosti lentokapilarne vlažnosti te je nedostatak vode u tlu bilo potrebno nadoknaditi navodnjavanjem. Utvrđena je vrlo jaka negativna korelacija između tenziometra i trenutne vlažnosti tla (r = - 0,8*), te vrlo jaka pozitivna korelacija između očitavanja TDR-a i trenutne vlažnosti tla (r = 0,8*).

Rad je izrađen pri: Poljoprivredni fakultet u Osijeku

Mentor: doc. dr. sc. Monika Marković

Broj stranica: 40

Broj grafikona i slika: 24 (15 grafikona i 9 slika)

Broj tablica: 4

Broj literaturnih navoda: 30

Broj priloga: 1

Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi: sadržaj vode u tlu, TDR, tenziometar

Datum obrane:

Stručno povjerenstvo za obranu:

1. Prof. Dr. Sc. Jasna Šoštarić, predsjednik

2. Doc. Dr. Sc. Monika Marković, mentor

3. Dr. Sc. Vladimir Zebec, član

4. Mr. Sc. Miroslav Dadić, zamjenski član

Rad je pohranjen u: Knjižnica Poljoprivrednog fakulteta u Osijeku**,** Sveučilištu u Osijeku, Vladimira Preloga 1.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek **Graduate thesis**

Faculty of Agriculture

University Graduate Studies, course Plant production

Controlling of Soil Water content with TDR method (Time Domain Reflectometry) and Tensiometer methods

Mislav Jaić

Abstract:

This thesis is about the use of TDR (Time Domain Reflectometry) method and tensiometer method for measuring of soil water content for making a decison when to irrigate. The devices were calibrated for soil at a trial field and the measured values are compared. The research was set up at a trial field of Agricultural institute in Osijek during 2017 (45o32'S and 18o44'I, 90 AMSL). Devices used for measuring water soil content were set up in experimental plots in which peas plants are planted. There were no treatments of irrigation in this research, so the dynamic of water content in soil was measured as a result of amount and distributiom of rainfall or as a result of groundwater influence. Comparatively with measuring the soil water content with tensiometers and TDR device, the soil was sampled for gravimetric method from depths in which soil humidity was measured. In average the tensiometer readings on 30 cm depth was 36 cbar while on 45 cm depth the average reading was 31,6 cbar. On 30 cm tensiometer readings ranged from 18 do 55 cbar while on 45 cm tensiometer readings ranged from 12 to 60 cbar. As for TDR the readings ranged from 10 to 36,6 vol. % on 10 cm depth while on 30 cm readings ranged from 13,2 to 48,8 vol. %. In average both sensors for measuring soil water content have registered the changes in soil moisture. According to results in mainly part of the research period the soil water content was very low and there was a need to compensate the lack of water with irrigation. A strong negative correlation relationship was determined between tensiometer and current soil moisture (r = - 0.8*), and a strong positive correlation relationship between TDR readings and current soil moisture (r = 0.8*).

Thesis performed at: Faculty of Agriculture in Osijek

Mentor: Monika Marković, Assistant professor

Number of pages: 40

Number of figures: 24 (15 charts and 9 pictures)

Number of tables: 4

Number of references: 30

Number of appendices: 1

Original in: Croatian

Key words: Soil Water content, TDR, tensiometer

Thesis defended on date:

Reviewers:

1. Professor Jasna Šoštarić, president of the Commision
2. Assistant professor Monika Marković, mentor
3. PhD Vladimir Zebec, member of the Commision
4. MSc Miroslav Dadić, the replacemenet member

Thesis deposited at: Library, Faculty of Agriculture in Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Vladimira Preloga 1.