

# Usporedba metoda elektrometrije i tenziometra za praćenje sadržaja vode u tlu

---

**Tepšić, Dino**

**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 Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:089093>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-28**



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](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA**  
**POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU**

Dino Tepšić, absolvent

Diplomski studij Bilinogojstvo, smjer Biljna proizvodnja

**USPOREDBA METODA ELEKTROMETRIJE I TENZIOMETRA ZA PRAĆENJE**  
**SADRŽAJA VODE U TLU**

**Diplomski rad**

**Osijek, 2017.**

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA**  
**POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU**

Dino Tepšić, absolvent

Diplomski studij Bilinogojstvo, smjer Biljna proizvodnja

**USPOREDBA METODA ELEKTROMETRIJE I TENZIOMETRA ZA PRAĆENJE**  
**SADRŽAJA VODE U TLU**

**Diplomski rad**

Povjerenstvo za ocjenu i obranu:

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. Fizika tla .....	3
1.2. Voda u tlu .....	4
1.3. Klasifikacija oblika vode .....	5
1.4. Vodne konstante .....	6
1.5. Kretanje vode u tlu.....	8
1.6. Trenutak početka navodnjavanja .....	9
1.6.1. Prema vizualnom (vanjskom) izgledu biljke.....	10
1.6.2. Prema procjeni vlažnosti tla .....	10
1.6.3. Prema unutarnjim (fiziološkim) promjenama biljke .....	10
1.6.4. Prema turnusima navodnjavanja .....	10
1.6.5. Prema kritičnom razdoblju biljke za vodu .....	11
1.6.6. Prema stanju vlažnosti tla.....	11
1.7. WATERMARK senzor – GranularMatrixSensor (GMS).....	12
1.8. TENZIOMETAR.....	14
2. PREGLED LITERATURE .....	16
3. MATERIJALI I METODE RADA .....	18
3.1. Određivanje trenutne vlažnosti tla .....	19
3.2. Priprema i postavljanje tenziometra.....	20
3.3. Priprema i postavljanje Watermark uređaja.....	21
3.4. Prikupljanje i analiza podataka .....	22
4. REZULTATI I RASPRAVA.....	23
4.1. Agroekološki uvjeti .....	23
4.2. Praćenje sadržaja vode u tlu tenziometrima.....	26
4.3. Rezultati mjerenja Watermark uređajem .....	29
5. ZAKLJUČAK .....	34
6. POPIS LITERATURE.....	35
7. SAŽETAK.....	37
8. SUMMARY .....	38
9. POPIS TABLICA.....	39
10. POPIS SLIKA .....	40
11. POPIS GRAFIKONA.....	41
TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA.....	42
BASIC DOCUMENTATION CARD .....	43

## 1. UVOD

Tlo je prirodno tijelo mineralnog i organskog sastava podijeljeno na horizonte različite debljine. Nastalo je postupnim razvojem iz matične stijene pod utjecajem pedogenetskih čimbenika i procesa. Ti se procesi odvijaju milijunima godina i neprestano su u tijeku. Tlo se neprestano mijenja u prirodnim ciklusima održavajući povoljnu strukturu i oslobađajući hranjive elemente neophodne za život biljaka i mikroorganizama u tlu. U poljoprivrednom smislu predstavlja tanji površinski sloj litosfere prorastao biljnim korijenjem, koji snabdijeva biljke vodom i drugim neophodnim tvarima. Mješavina je minerala, organskih tvari, plinova, tekućina i mnogobrojnih organizama koji zajednički podržavaju život na Zemlji. Tlo je prirodno tijelo nazvano pedosfera koje ima četiri važne funkcije: medij je za rast biljaka, sredina za pohranu vode, opskrbljivanje vodom i pročišćavanje vode, modifikator je Zemljine atmosfere te stanište za organizme. Nezamjenjivi je izvor sirovina, npr. gline, pijeska, praha, šljunka, kamena i minerala u cjelini, kao i izvor geotermalne energije i vode. Tlo je nesumnjivo najveći i najznačajniji prirodni resurs čovječanstva. Njegovim pretjeranim ili neodgovornim korištenjem dolazi do snižavanja njegove plodnosti i na kraju do upropaštavanja (degradacije). Grana geologije koja se bavi proučavanjem tla zove se pedologija (Madjar i Šoštarić, 2009.).

S aspekta ishrane bilja tlo je živ, dinamičan izvor hraniva nužan za život biljaka. Čini ga fizikalna sredina specifičnih kemijskih i bioloških svojstava, koja je karakteristična za antropogenizirane (ljudskom aktivnošću izmijenjene) tipove tala. U prirodnim ekosustavima kao što su šume i livade, plodnost tla je njegovo izvorno (prirodno) svojstvo, odnosno sposobnost održavanja biljne i životinjske produktivnosti. Razaranjem prirodnih ili tzv. djevičanskih tala sa svrhom proizvodnje hrane, uz višegodišnju primjenu agrotehničkih i hidrotehničkih mjera, drastično se mijenjaju svojstva tla (Vukadinović, 2016.).

Svojstva tla mogu se promatrati statički i dinamički. Statička svojstva uključuju: teksturu, strukturu, dubinu, apsolutnu masu, pH i električnu provodljivost jer se one u kratkom vremenu malo ili uopće ne mijenjaju. Dinamička svojstva podrazumijevaju izgled površine tla, sadržaj vode, raspoloživost hraniva i druge, relativno brzo promjenjive veličine na koje čovjek utječe agrotehnikom ili se mijenjaju pod utjecajem vremenskih uvjeta. Tekstura tla

podrazumijeva udio pojedinih čestica u građi čvrste faze tla ovisno o njihovoj veličini, dok struktura označava njihov međusobni raspored. Ta dva svojstva tla su međusobno čvrsto povezana i predstavljaju vrlo značajan čimbenik rasta biljaka i tvorbe prinosa. Prema fizikalnim svojstvima tla se mogu svrstati u najmanje pet klasa: laka pjeskovita i svjetla isprana tla; srednje teška tla; teška glinasta tla; vapnenasta tla te organska i tresetna tla .

Kruta faza sastavljena je iz mineralnog i organskog dijela, podjednake važnosti za biljke. Mineralnu (krutu) frakciju tla čine primarni minerali koji su podložni raspadanju i zanemarive su sposobnosti zadržavanja hraniva i vode te sekundarni ili glineni minerali koji zajedno s humusom čine organomineralni kompleks, aktivni i najvažniji dio tla (Vukadinović, 2016.).

Organska tvar u tlu ima presudnu i nezamjenjivu ulogu u nastanku plodnosti tla. Podrijetlom je od ostataka živih organizama koji su više ili manje razloženi i najvećim dijelom iznova grade organske spojeve tla, ali bitno različite u odnosu na živu tvar. U odnosu na količinu mineralnog dijela, organske tvari u tlu je malo, no ipak ta je količina od ključnog značaja. Naime, prisutnost organske tvari u tlu određuje razliku između tla kao prirodnog staništa za biljke i rastresite mase stijena koje su usitnjene u termičkim i kemijskim procesima raspadanja. Ona je jedini izvor energije za životnu aktivnost mikroorganizama tla pa bi eventualnim nestankom organske tvari došlo do katastrofalnih posljedica po čitav život na Zemlji.

Brz tehnološki napredak i potreba za sve većim količinama hrane uz intenzivnu upotrebu kemijskih sredstava u poljoprivredi uzrok je sve onečišćenju životnoj sredini, smanjenju njenih prirodnih mogućnosti regeneracije i sve bržoj devastaciji. Najveći dio poljoprivredne proizvodnje (>95%) još uvijek se temelji na intenzivnoj primjeni mineralnih gnojiva, pesticida, regulatora rasta i to se neće znatnije promijeniti u duljem vremenskom periodu obzirom na brz porast populacije ljudi. Najčešći onečišćivači tla su: ugljikovodici, teški metali (kadmij, olovo, krom, bakar, cink, živa i metaloid arsen), herbicidi, pesticidi, ulja, katran i dr.

Proces degradacije tla donosi promjene koje su čovjeku prividno male, barem u životu jedne ljudske generacije, što smanjuje potrebnu pozornost i odlaže pravovremeno poduzimanje mjera za zaustavljanje destruktivnih procesa. Stoga, briga o zemljišnim resursima, njegovim prirodnim bogatstvima i biološkoj raznolikosti zaokuplja sve širi krug

populacije, te sve više postaje odgovornost cjelokupne društvene zajednice (Vukadinović, 2016.).

### **1.1. Fizika tla**

Prema Pavićeviću (1972.) fizika tla proučava fizikalne osobine raznih tala u zavisnosti od teksture, strukture i sadržaja vode. Uključuje još: mehanička, termalna, električna, radioaktivna i druga svojstva tala, s tim što ih uvijek povezuje s odgovarajućim tipovima tla ili tlina pojedinih regija. Fizika tla proučava dvije znanstvene discipline poznate pod nazivima Fizika zemljišta i Mehanika tla. Između njih postoji dosta sličnosti, ali ima i razlika obzirom da zemljište proučavaju za različite praktične ciljeve. Ove dvije discipline imaju jedinstvenu metodiku istraživanja te proučavaju rastresite zemljišne mase. Pri tome Fizika zemljišta u užem smislu tretira osobine zemljišta sa agronomskog, a Mehanika tla sa inženjerskog stajališta.

Sa agronomskog stajališta proučavani su uglavnom gornji slojevi tla kao prirodnog tijela, oni koji su obrađivani ili navodnjavani, a osobine su im stvorene pod utjecajem klime, vegetacije, faune ili radom čovjeka. Fizika zemljišta ima zadatak da te osobine popravlja ili, ako su povoljne da ih održava, kako bi se u dotičnom tlu biljke lakše ukorjenjivale, zemljište se bolje obrađivalo ili imalo najbolje osobine s gledišta navodnjavanja, odvodnjavanja i slično. Pri tome se posebna pažnja poklanja teksturi, strukturi, vodozračnim i toplinskim odnosima, kao i mjerama potrebnim da se te osobine poprave ili održe u željenom stanju. Za potrebe agronomske prakse pažnja je najviše posvećena sloju dubokom 80 cm, mada melioracije zanima i znatno dublji sloj (2 do 4 m). U tom se sloju događaju najintenzivniji procesi, jače djeluju vanjski čimbenici i najizrazitije su promjene fizikalnih osobina.

Mehanika tla većinom proučava dublje slojeve rastresitih masa, što se kod zemljišta naziva matični supstrat. S inženjerskog stajališta, veća se pažnja poklanja slaganju slojeva, veličini, obliku i rasporedu čestica tla, specifičnoj težini, poroznosti, trenju, koheziji i otpornosti, a manja strukturi i nekim drugim osobinama koje su značajne sa agronomskog stajališta. Tla imaju različitu sposobnost upijanja vode, zadržavanja vode, procjeđivanja u dublje slojeve ili gubljenja isparavanjem, a sve to bazira se na fizikalnim osobinama tla (Pavićević, 1972.).

## 1.2. Voda u tlu

Voda je „medij života“ pa je dobra opskrbljenost vodom svih živih bića iznimno važna. Biljke najveći dio vode usvajaju korijenskim sustavom iz tla, ali je zbog njene iznimne važnosti mogu usvojiti listom kao i svim drugim organima (ukoliko nisu prekriveni debelom kutikulom ili korom). Naime, u hijerarhiji biljnih potreba voda je na drugom mjestu, odmah ispod potrebe za sunčevom energijom.

Voda se u tlu nalazi različitom silom vezana za čestice tla, molekule, koloide ili ione koje korijenski sustav kod usvajanja mora savladati pa se dijeli na pristupačnu (slobodnu) i nepristupačnu (vezanu) vodu. Sile koje vodu drže uz čestice tla su s jedne strane tenzija vlažnosti (površinske, hidrostatičke i gravitacijske sile), a s druge strane djeluje osmotski tlak vodene faze tla (Vukadinović, 2016.).

Madjar i Šošćarić (2009.) definiraju pojmove vezane i slobodne vode te navode njihovu podjelu. Vezana voda je voda koja se velikim silama drži za čestice tla ili unutar pora. Ona je nepokretna i obično je nepristupačna biljkama. Unutar vezane vode razlikuju se sljedeće kategorije vode: kemijski vezana voda, higroskopna voda i opnena ili filmska voda

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: kapilarna voda i gravitacijska ili cijedna voda

Prema Pavićeviću (1972.) postoji više izvora odakle tla dobivaju vodu. Prostorno su najveća područja gdje su padaline glavni, ako ne i jedini izvor vode u tlu, i one su poznate kao zone „suhog ratarenja“. Klima u tim područjima može biti humidna i aridna. Drugi važan izvor vode u tlu su podzemne vode. U riječnim dolinama, većim ravninama, pored jezera, lokalno na drugim mjestima, najčešće u reljefnim depresijama, podzemna voda se često nalazi na dubini odakle se kapilarama može popeti u zonu rizosfere. Padaline su u tim područjima značajne, ali kulture rjeđe stradavaju od suše zahvaljujući podzemnim vodama. Visoke podzemne vode, pored pozitivnih, mogu imati i negativne posljedice, a to su u većini slučajeva zabarivanje i zaslanjivanje tla. Navodnjavanje je treći važan izvor vode u tlu. U nekim područjima ono se primjenjuje kao dopunska mjera, a negdje predstavlja glavni izvor vode koji osigurava žetvu. Površine tla koje se mogu navodnjavati u svijetu su velike, no ova mjera još nije svugdje sprovedena.



Postoje i drugi izvori odakle tla dobivaju vodu, ali oni po značaju daleko zaostaju od navedenih. Tako recimo u suhim područjima vidljivi značaj može imati podzemna rosa nastala kondenzacijom vodene pare noću ili u hladnijim dobima godine. U sjevernim, hladnijim područjima važan izvor vode ljeti može biti led u tlu. Gornji slojevi trajno zamrznutog tla se ljeti odmrzavaju i to omogućuje porast trava, kao i uzgoj nekih ljetnih kultura (Pavičević, 1972.).

Značaj vode u tlu može se sagledati sa raznih stajališta:

- kemijskog raspadanja i stvaranja tla
- fizikalno – kemijskih i biokemijskih procesa
- kretanja tvari u profilu
- biljne ishrane
- obrade
- erozije i dr.

Voda u tlu je posebno značajna sa stajališta porasta biljaka. Od trenutka unošenja sjemena, pa sve do žetve, biljka iz zemljišta stalno uzima vodu, pri čemu količine ovise od kulture, razvojne faze i vremenskih prilika. Kada je zemljište plodno, biljka treba manje vode za uzimanje hranjivih tvari, kao što je i transpiracija manja kada je atmosfera zasićena vodenom parom. Nedostatak ili suvišak vode u tlu je razlog pojave poljoprivrednih melioracija. U nekim regijama prednost ima drenaža ili odvod suvišne vode, a u drugim irigacija ili navodnjavanje tla (Pavičević, 1972.).

Poznavanje potreba kultura za vodom tijekom vegetacijskog razdoblja ključan je podatak za provedbu navodnjavanja te ga je nužno utvrditi već kod planiranja i pripreme za navodnjavanje. Specifične potrebe pojedine kulture za vodom mogu se odrediti eksperimentalnim (dugotrajni, višegodišnji pokusi) ili proračunskim (izračun vrijednosti putem formule) metodama (Madjar i Šoštarić, 2009.).

### **1.3. Klasifikacija oblika vode**

Prema Pavičeviću (1972.) postoji nekoliko klasifikacija vode u tlu. Među postojećim klasifikacijama najznačajnije su podjele sljedećih znanstvenika:

*Briggs*- krajem prošlog stoljeća ustanovio je jednostavnu klasifikaciju i vodu u tlu podijelio na tri oblika: kristalnu, kapilarnu i gravitacijsku

*Lebedev*- on je vodu u tlu podijelio na sljedeće oblike: plinovitu, higroskopnu, opnenu, kapilarnu, gravitacijsku, vodu u čvrstom stanju (led), kristalnu, kemijski vezanu

*Cunker* - njegova klasifikacija imala je znatnu primjenu, pa je i danas još uvijek korištena i cijenjena. U njoj se izdvajaju sljedeći oblici vode u tlu: osmotska (u ćelijama), higroskopna, opnena, kapilarna, voda u stanju pare, podzemna te neki drugi oblici

*Bouyoucos* - uveo je termine slobodna i vezana voda u tlu, te izdvojio sljedeće oblike vode: gravitacijska, slobodna, neslobodna ili vezana - nju je podijelio na vodu vezanu koloidima i mikrokapilarnu

*Rode* - govori o kategorijama vode u tlu i izdvaja: kristalnu, čvrstu (led), plinovitu (vodena para), jako vezanu (adsorbiranu), labavo (slabo vezanu), slobodnu.

Teškoće oko usvajanja jedinstvene klasifikacije oblika vode u tlu proizlazi iz činjenice što se različito gleda na sile držanja i sile kretanja u tlu.

#### **1.4. Vodne konstante**

Prema Bošnjaku (1992.) vodnim konstantama se izražavaju pojmovi kvantitativnog sadržaja raznih oblika i formi vode u tlu, koji se nalaze u ravnoteži pod određenim uvjetima. Količina vode pri jednoj vodnoj konstanti nije ista kod različitih tala. Vodne konstante prvenstveno ovise od mehaničkog sastava, strukture, sadržaja humusa i sl. Postoje brojne vodne konstante tla, a sreću se pod raznim nazivima. Po Rodeu ima 10 vodnih konstanti tla. Poljski vodni kapacitet (PVK), lentokapilarna vlažnost (LKV) i vlažnost venjenja (Vv) su konstante bez čijeg poznavanja nema racionalnog navodnjavanja poljoprivrednih kultura. Pomoću njih se utvrđuje racionalni vodni režim tla te sagledava pokretljivost i pristupačnost vode biljkama. One su također osnova više elemenata za određivanje optimalnog vodnog režima pojedinih biljnih vrsta. Uz ove tri bitno je napomenuti i maksimalni vodni kapacitet (Mkv) kao jednu od bitnijih konstanti.

*Poljski vodni kapacitet (PVK)* - Sadržaj vode koji ostaje u tlu 24 do 48 sati nakon obilnih kiša, navodnjavanja ili plavljenja naziva se poljski vodni kapacitet. Naziv „poljski“ uveden je jer se vodni kapacitet određuje u uvjetima u polju („in situ“). Poljski vodni kapacitet predstavlja visoko stanje vlažnosti tla i vrlo je pogodno za uzgoj većine ratarskih,

površarskih, voćarskih i drugih kultura. U prirodnim uvjetima otvorenog polja ovo povoljno stanje vlažnosti tla traje kraće vrijeme jer se tlo suši. Vremenski dulje održavanje vlažnosti tla oko poljskog vodnog kapaciteta moguće je putem sustava za navodnjavanje, a posebno u zatvorenim proizvodnim prostorima (staklenicima i plastenicima). U melioracijskoj praksi se smatra da je poljski vodni kapacitet gornja granica optimalne vlažnosti tla. U navodnjavanoj poljoprivredi se prestaje sa dovodenjem vode kada tlo dođe u stanje vlažnosti poljskog vodnog kapaciteta. Vrijednosti poljskog vodnog kapaciteta ovise o svojstvima tla, naročito mehaničkog sastava strukture tla. Kod većine naših lakših tala (pjeskovita) iznosi 10 % do 20 %, za srednje teška tla (ilovasta) 20 % do 30 %, a za teška (glinasta) od 30 % do 40 % i više volumnog udjela. Sadržaj vode u tlu kod poljskog vodnog kapaciteta je velik, a sile s kojima se voda drži u tlu (u porama) su male i zato je voda vrlo pristupačna biljkama (Madjar i Šoštarić, 2009.).

*Lentokapilarna vlažnost tla (LKV)* - 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. Lentokapilarna vlažnost je nisko stanje vlažnosti tla i nepogodno stanište za kulturno bilje, koje počinje trpjeti („žeđati“) zbog nedostatka pristupačnih oblika vode. Biljke doživljavaju početni vodni stres, koji se negativno odražava na njihov urod i kvalitetu ploda. Sadržaj vode u tlu kod lentokapilarne vlažnosti je mali i oskudan, a sile s kojima se voda drži u tlu su povećane i zato je voda teže pristupačna korijenju kulturnih biljaka (Madjar i Šoštarić, 2009.).

*Vlažnost venjenja biljaka (VV)* - Sadržaj vode u tlu pri kojem kulturne biljke nepovratno venu i ugibaju naziva se vlažnost venjenja biljaka. To su prilike kada korijenje u tlu nema na raspolaganju dovoljno vode za održavanje fizioloških procesa. Vode je malo, a ona se drži velikim silama u finim porama ili oko čestica tla. Kod vlažnosti venjenja u tlu ostaje određena količina vode koja zavisi o vrsti tla i njegovoj strukturi. 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 (Madjar i Šoštarić, 2009.).

*Maksimalni vodni kapacitet (MKV)* - 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. Ovo stanje vlažnosti tla je vrlo nepovoljno za poljoprivredne kulture jer biljke trpe od suvišne vode. Tlo je prevlažno, a u porama nema zraka toliko nužnog za životne procese biljaka i one se pomalo „guše“. Situacija je pogotovo loša na težim tipovima tala gdje ovo stanje vlažnosti može potrajati dulje vrijeme te dolazi do propadanja usjeva i stvaranja „plješina“ na oranicama. Da bi se izbjegle česte pojave prevlaživanja tla, nužne su mjere odvodnjavanja kojima se reguliraju vodo-zračni odnosi u poljoprivrednom zemljištu (Madjar i Šošćarić, 2009.)

### **1.5. Kretanje vode u tlu**

Kretanje i držanje vode u zemljištu je jako složen proces. Tu dolaze do izražaja različite sile i nekoliko fizičkih zakona: 1. gravitacija; 2. trenje; 3. površinski napon; 4. privlačenja polariziranih molekula vode česticama tla (Pavićević, 1972.).

Voda se u tlu stalno 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 (ascendentno) 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 npr., 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, porozitetu i trenutnom stanju vlažnosti tla. U dobro strukturiranim i dobro obrađenim tlima vrijednosti infiltracije su vrlo povoljne. Stoga je obrada poljoprivrednih površina 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. Poznajući infiltraciju nekog tla, moguće je uskladiti količine i intenzitet dodavanja vode prilikom 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. Pri filtraciji voda se uglavnom kreće kroz makropore, te ovisi o broju, oblicima i rasporedu makropora u tlu. Izražava se u jedinicama mm/s, m/dan. Vrijednosti filtracije tla su značajni parametri u praksi odvodnjavanja poljoprivrednih zemljišta (Madjar i Šoštarić, 2009.).

## **1.6. Trenutak početka navodnjavanja**

Madjar i Šoštarić (2009.) navode kako je kod navodnjavanja vrlo važno odrediti pravilan trenutak kada treba započeti sa navodnjavanjem.

Ako se s navodnjavanjem počne prije nego što je to potrebno i ako se navodnjava prečesto, nepotrebno će se potrošiti veća količina vode i energije, što će financijski opteretiti proizvodnju. Osim toga, fizikalna svojstva tla će biti narušena, hranjive tvari će se ispirati u dublje slojeve i biti će slabije pristupačna biljci, što također ima za posljedicu negativan ekonomski i ekološki učinak.

Danas se u praksi trenutak početka navodnjavanja može odrediti na nekoliko načina:

- Prema izgledu biljke
- Prema unutarnjim fiziološkim promjenama biljke
- Prema turnusima navodnjavanja
- Prema kritičnom razdoblju biljke za vodu

- Prema procjeni vlažnosti tla
- Prema stanju vlažnosti tla

#### *1.6.1. Prema vizualnom (vanjskom) izgledu biljke*

To je najstariji način određivanja trenutka početka navodnjavanja. Temelji se na procjeni promjena na biljkama – promjeni boje i izgleda lišća (uvelost). Međutim sve biljke ne reaguju 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. Ovakav način određivanja trenutka navodnjavanja je nesiguran i treba ga izbjegavati jer su moguće greške u procjeni, a navodnjavanje je skupa investicija da bi se dozvolila mogućnost česte pogreške.

#### *1.6.2. Prema procjeni vlažnosti tla*

Ova metoda 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.

#### *1.6.3. Prema unutarnjim (fiziološkim) promjenama biljke*

Ovakav način određivanja trenutka početka navodnjavanja 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<sup>1</sup>.

#### *1.6.4. Prema turnusima navodnjavanja*

Turnus navodnjavanja je vremensko razdoblje (u danima) između dva navodnjavanja. Teoretski se turnus izračunava se prema sljedećoj formuli:

$$T = O : Du$$

gdje je T = turnus navodnjavanja u danima;

O = obrok navodnjavanja (mm)

Du = dnevni utrošak vode (mm/danu).

---

<sup>1</sup>Refraktometrom određujemo postotak suhe tvari u nekom proizvodu. Služi i za određivanje šećera u moštu, medu, sokovima i sl.

Za određivanje dnevnog utroška vode potrebno je poznavati mjesečnu vrijednost evapotranspiracije koja se podjeli sa brojem dana za koji se mjesec određuje (30 ili 31 dan). Izračunati turnusi navodnjavanja ne mogu se kruto primjenjivati, već se korigiraju s oborinama. Primjerice, ukoliko padne više od 25 mm oborina, turnus se produžava za još jedan cijeli turnus. Ako između dva turnusa padne 10 do 25 mm oborina navodnjavanje se odgađa za pola turnusa, a oborine manje od 10 mm se zanemaruju, a turnus navodnjavanja se ne odgađa.

Iz navedenog se može zaključiti da je ovakav način određivanja trenutka navodnjavanja pogodan za sušna (aridna) područja gdje izostaju oborine. Osim toga, trenutak navodnjavanja pomoću turnusa, pogodan je za zaštićene prostore gdje nema priljeva prirodnih oborina.

Kod turnusa navodnjavanja koji se primjenjuju na otvorenom uzgoju, velike površine se podijele na manje parcele. Tada rasporede navodnjavanja treba uskladiti sa turnusima na taj način da završetkom navodnjavanja zadnje parcele treba početi navodnjavati parcelu koja je bila prva navodnjavana.

#### *1.6.5. Prema kritičnom razdoblju biljke za vodu*

Ovakav način određivanja trenutka početka navodnjavanja bazira se na poznavanju faza razvoja određene kulture i njezine potrebe za vodom. Nije u potpunosti pouzdan jer grubo određuje navodnjavanje u onoj fazi razvoja biljke koja je vrlo kritična, ne uvažavajući mogućnost navodnjavanja prije ili nakon završetka kritične faze ako to zahtijevaju nepovoljne klimatske prilike.

#### *1.6.6. Prema stanju vlažnosti tla*

Ovaj način određivanja trenutka početka navodnjavanja se najviše primjenjuje u praksi. Prema stanju vlažnosti tla sa navodnjavanjem treba početi kada je sadržaj vode u tlu na dubini koju želimo navodnjavati jednak vrijednosti lentokapilarne vlažnosti tla (LKV). Teoretski izgleda vrlo jednostavno, ali javlja se problem određivanja trenutnog sadržaja vlažnosti tla, odnosno poznavanje vrijednosti lentokapilarne vlažnosti i poljskog vodnog kapaciteta.

Postoji više načina mjerenja vlažnosti tla, a može se obaviti izravno na terenu ili posredno u laboratoriju.

- ❖ Laboratorijsko mjerenje vlažnosti tla (gravimetrija) je preciznije, ali sporo i nepraktično, jer zahtjeva uzimanje uzoraka tla i obradu u laboratoriju. Metoda gravimetrije je najtočnija i najpouzdanija metoda te služi kao osnova za umjeravanje uređaja.
- ❖ Mjerenje na terenu obavlja se raznim instrumentima, a rezultati o stanju vlažnost tla se utvrđuju trenutno i moguće je vrlo brzo intervenirati sa navodnjavanjem.

U praksi te u znanstvenom radu korišteni su najčešće uređaji koji rade na principu elektrometrije (Watermark), reflektrometrije (TDR) te tenziometri. Rezultati mjerenja ovise o svojstvima tla pa je stoga uređaje potrebno prethodno umjeriti. Bez obzira o kojoj metodi je riječ od uređaja se očekuje visoka točnost, odnosno preciznost podataka, mjerenja koja ne ovise o temperaturi tla ili pH reakciji tla, dugotrajnost te lako korištenje.

Hanson i sur. (2000.) su istražili na koji način tenziometri, Watermark i TDR uređaji reagiraju na promjene sadržaja vode u tlu. Uređaji su postavljeni na 6 lokacija u dolini San Joaquin u Kaliforniji. Mjerenja su vršena na 15, 30, 45 i 60 cm dubine tla i to dva puta tjedno tijekom istraživanja koje je ovisno od lokacije trajalo između 1 i 2 mjeseca. Tenziometri i Watermark uređaji su reagirali slično, s tim što je Watermark pokazivao bolje rezultate na tlima s manjim sadržajem vode od Tenziometra. TDR je reagirao na promjene vlažnosti kod tla sa finom teksturom, ali ne i kod pjeskovitih tala.

Jabro i sur. (2003.) proučavali su učinkovitost senzora u profilu tla dubokom 90 cm. Poljski pokus započeo je 1998. godine u mjestu Prosser, Washington. Tijekom trogodišnjeg istraživanja (98., 99., 00.) postavljeno je sveukupno 24 senzora, a među njima treba izdvojiti: tenziometre, Watermark, EnviroScan, AquaTel, AquaFlex, Trime i AquaPro. Senzori su testirani na praškastoj ilovači na kojoj je bila zasađena lucerna kako bi se vidjelo mogu li pokazati razinu sadržaja vode u tlu kao i odrediti broj navodnjavanja. Rezultati pokazuju kako je većina senzora bila u stanju uspješno pratiti promjene razine sadržaja vode u tlu tijekom vegetacijske sezone.

### **1.7. WATERMARK senzor – GranularMatrixSensor (GMS)**

Watermark senzori omogućuju bolje razumijevanje o sadržaju i kretanju vode u tlu te na taj način omogućuju bolje planiranje navodnjavanja te točno određivanje učinkovitosti navodnjavanja ili oborina. Očitavanje senzora dva do tri puta tjedno tijekom navodnjavanja daje preciznu sliku o sadržaju vode u tlu.



Watermark uređaj mjeri sadržaj vode u tlu metodom elektrometrije, a u upotrebi je od 1978. godine, kada je i patentiran. Mjeri intenzitet napetosti vode u tlu. Kako se mijenja napetost s količinom vode u tlu tako se mijenja i otpor. Watermark se sastoji od mjerača i senzora izrađenih od gipsa pa su u struci često poznati pod nazivom „gipsani senzori“.

Senzor se sastoji od para elektroda visoko otpornih na koroziju koje su ugrađene u gipsani matrix te obavijene poroznim materijalom i postavljene u perforiranu cijev. Senzori postavljeni u tlo ostaju u njemu do kraja vegetacije te se prema preporuci proizvođača mogu upotrebljavati do dvije godine nakon čega pouzdanost izmjerenih vrijednosti znatno opada. Gips unutar senzora ima ulogu pufera što je vrlo važno jer izmjerene vrijednosti nisu ovisne o promjeni pH tla.

Watermark uređaj izražava vrijednosti u centibarima (cb) ili kilopaskalima (kPa). Može biti prenosiv što omogućava mjerenje većeg broja senzora postavljenih na proizvodnoj površini. Jednako tako može biti postavljen na tlo te priključen na automatski čitač s memorijom što olakšava prikupljanje podatka.

Voda u tlu prenosi električni impuls. Kako se tlo suši, voda se povlači iz senzora te se otpor povećava. Suprotno od toga, kad se tlo ponovno navlaži, otpor se smanjuje. Prema tome pri vrijednosti 0 cbar sadržaj vode u tlu je pri vrijednosti 100 % poljskog vodnog kapaciteta (PVK), a kako sadržaj vode u tlu opada vrijednosti na uređaju rastu. Kolika će bit vrijednost na uređaju kod lento kapilarne vlažnosti tla (LKV) određuje se umjeravanjem uređaja.

Prednosti Watermarka: jednom postavljeni senzori mogu u tlu ostati do kraja vegetacije, a u slučaju oštećenja mogu biti lako zamijenjeni. Senzore je moguće postaviti na više dubina što olakšava praćenje sadržaja vode u zoni korijenovog sustava te na većim dubinama kako korijen raste. Senzori su neosjetljivi na promjenu pH i temperaturu tla. Uređaj je lako prenosiv i lak za održavanje.

Postavljanje i upotreba Watermark uređaja

- a) *Izbor mjesta za senzor* - poželjno je postaviti više od jednog senzora na lokaciji te na različite dubine. Npr., jedan senzor u gornjem sloju tla, kod korijenovog sustava (do 30cm), a drugi dublje u profil tla.
- b) *Postavljanje* - način postavljanja senzora ovisan je o metodi navodnjavanja: navodnjavanje brazdama ili plavljenjem; navodnjavanje prskalicama;

navodnjavanje središnjeg dijela (centra) parcele; navodnjavanje kapanjem ili mikro navodnjavanje.

- c) *Dubina* - dubina postavljanja senzora ovisi o dubini ukorjenjivanja usjeva, ali može također biti pod utjecajem dubine tla i teksture. Kod povrća s plitkim ukorjenjivanjem, jedna dubina može biti dovoljna (korijenov sustav na dubini manjoj od 30 cm). Kod usjeva s dubljim ukorjenjivanjem, preporuka je mjeriti vlažnost tla na minimalno dvije dubine. Kod dubokih, dobro dreniranih tala, usjevi će se generalno ukorjenjivati dublje, ako je dostupna vlaga. U osnovi, senzore bi trebalo postaviti u gornjem sloju tla (do 30 cm).
- d) *Instalacija senzora* - senzore je potrebno namočiti preko noći u vodi. Uvijek se instalira mokar senzor. Prije postavljanja u tlo senzore je potrebno u nekoliko navrata navlažiti i osušiti kako bi se poboljšali rezultati očitavanja senzora u prvih par navodnjavanja.
- e) *Mjerenje* - ključni element u pravilnom mjerenju vlažnosti tla je korisnik. Uobičajeno je sadržaj vode u tlu mjeriti dva do tri puta između navodnjavanja. Na temelju očitanih vrijednosti moguće je podijeliti tla prema količini vode u tlu:

→ 0 – 10 cbar = zasićena tla (MKV)

→ 10 – 30 cbar = adekvatno vlažno tlo (PVK)

→ 30 – 60 cbar = uobičajeni raspon za navodnjavanje (većina tala) (LKV)

→ 60 – 100 cbar = uobičajeni raspon za navodnjavanje na teškim glinenim tlima

→ 100 – 200 cbar = tlo postaje opasno suho za maksimalnu proizvodnju (TV)

## 1.8. TENZIOMETAR

Tenziometar je uređaj koji mjeri vodni potencijal tla te pokazuje sposobnost biljke da usvaja vodu iz tla. U praksi navodnjavanja tenziometri su često korišteni za određivanje trenutka početka navodnjavanja (irrigation scheduling) jer se jednostavno postavljaju i koriste. Tenziometri mogu biti automatizirani, oni kontroliraju kada vodni potencijal tla opadne do unaprijed određene kritične vrijednosti (Smajstrla i Dalton, 1998.).

Smajstrla i Dalton (1998.) dijele tenziometar na sljedeće komponente: porozna čašica povezana preko staklene cijevi s barometrom. Porozna čašica je konstruirana od keramike zbog svoje čvrstoće kao i zbog poroznosti odnosno propusnosti za vodu. Tijelo cijevi je

prozirno tako da se voda unutar tenziometra može lako vidjeti. Cijena tenziometra ovisi o njegovoj duljini ili dubini na kojoj će biti postavljen. Prilikom mjerenja tenziometar se postavlja u tlo tako da porozna čašica bude na onoj dubini koja se ispituje. To znači da je za svaku lokaciju mjerenja vlage i za svaku dubinu potreban poseban tenziometar i stoga se izrađuju tenziometri različite dužine. Potom se cijev do vrha napuni destiliranom vodom ili otopinom koja sprječava razvoj algi, odstrane se mjehurići zraka te se hermetički zatvori. Tenziometar daje pouzdanije rezultate pri višoj vlažnosti tla, pa se preporučuje za povrtlarske kulture koje zahtijevaju ovakve uvjete uzgoja.

Zbog izlaska vode kroz poroznu kapicu u tlu vrijednosti na uređaju su u rasponu od 0 do 85 cb. Iznad 85 cb voda prelazi u paru, a instrument će prekinuti očitavati sadržaj vode u tlu. U pjeskovitim tlima preporuča se navodnjavati kada su vrijednosti 10 i 20 cb (Smajstrla i Dalton, 1998.).

#### Rukovanje tenziometrom

Aksić (2011.) opisuje na koji način rukovati tenziometrom, a postupak se dijeli na četiri koraka opisana u daljnjem tekstu.

- 1) *Priprema* - nakon što je tenziometar odnosno cijev napunjena vodom potrebno je pokriti keramički vrh namočenom papirnatom maramicom da se instrument ne bi isušivao do mjesta postavljanja.
- 2) *Instalacija* - otvoriti poroznu kapicu instrumenta, i tako otvorenog ga umočiti u vodu tokom noći (koristiti neko čisto, nehrđajuće posuđe od stakla). Voda će ući u instrument kroz keramički vrh, a ovu operaciju moguće je ponoviti nekoliko puta. Zatim je potrebno iskopati rupu u tlu s cijevi od ½". Standardna cijev od ½" će napraviti rupu u koju će se instrument savršeno uklopiti. Tenziometar je potrebno postaviti na dubinu korijenovog sustava biljke. Važno je uspostaviti dobar kontakt s tlom kako bi mjerenja bila pouzdanija.
- 3) *Zaštita* - instrument treba instalirati tako da se mehanički ne ošteti tijekom uobičajenih poljoprivrednih radova. Također, uređaje je potrebno pokriti i jasno označiti. Kod područja sa temperaturama nižim od 0 °C brojčanik treba zaštititi od mraza pokrivanjem izolirajućim materijalom ili stavljanjem kutije. Kod višegodišnjih biljaka, drveća ili vinove loze, tenziometar je moguće pokriti blatom ili skinuti brojčanike tokom zime.

- 4) *Skladištenje* - kod sezonskih biljaka, gdje će tlo tokom zime biti prazno, tenziometar je potrebno izvaditi prije prvog mraza te dobro očistiti unutrašnjost vodom. Ne bi smjelo dopustiti da se keramički vrh osuši dok je prljav. Poroznu kapicu je potrebno postaviti u čistu plastičnu posudu s vodom tokom noći tako da čista voda prolazi kroz vrh, gravitacijskim tokom. Nakon toga instrument treba odložiti na sigurno mjesto. Brojčanik može imati vode u sebi i stoga mora biti skladišten tamo gdje su temperature iznad nule, kako se ne bi zaledio.

### Princip rada tenziometra

Kod suhog tla, voda istječe iz uređaja, smanjujući količinu vode u uređaju i stvarajući vakuum koji se onda očitava na brojčaniku. Što je tlo suše, to su veće vrijednosti. Kod navodnjavanja ovaj proces je obrnut. Naime, vakuum koji je stvoren zbog suhog tla sada uvlači vodu iz tla nazad u instrument te brojčanik pokazuje niže vrijednosti. Instrument se ponaša kao „umjetni korijen“ s brojčanikom koji konstantno mjeri u kojem obimu korijen usvaja vodu. Tenziometar konstantno mjeri trenutnu vlažnost tla u zoni korijenovog sustava biljke. Sa zalijevanjem se počinje kada je vrijednost na vakuummetru u opsegu između 20 i 40 kPa, a prekida se kada je vrijednost ispod 10 kPa (Aksić, 2011.).

## **2. PREGLED LITERATURE**

Hanson i sur. (2000.) su istraživali kako će praćenje vlažnosti tla povećati učinkovitost navodnjavanja. U istraživanju navode kako se senzori za praćenje sadržaja vode u tlu mogu koristiti kako bi se utvrdio: točan interval između navodnjavanja, dubina vlaženja, dubina ekstrakcije korijena te adekvatnost vlaženja. Testirali su rad senzora na različitim usjevima i postigli sljedeće rezultate: *Rajčica navodnjavana brazdama* - neposredno nakon navodnjavanja vlažnost tla kod rajčice uzgajane na praškastoj ilovači bila je otprilike jednaka poljskom vodnom kapacitetu na svim dubinama. Očitavanja Watermarka bila su manja od 20 cb. Između navodnjavanja, sadržaj vode u tlu narastao je za oko 35 %, dok su očitavanja na senzoru skočila čak i do 85 cb. Kada su u kolovozu prestali navodnjavati, razina vlažnosti je kroz kraće razdoblje pala ispod 30 %. Očitavanja Watermarka generalno su porasla na vrijednosti iznad 100 cb. Mjerenja upućuju na to da se na parceli optimalno upravljalo navodnjavanjem. *Lucerna navodnjavanja metodom kišenja* - Navodnjavano je svakih nekoliko dana. Tekstura tla je prelazila iz ilovače (u plitkom sloju) u pjeskovitu

ilovaču (u dubljim slojevima). Generalno, očitavanja Watermarka bila su između 10 i 20 cb što je bilo približno poljskom vodnom kapacitetu. Međutim, vlažnost tla varirala je u odnosu na dubinu. Očitavanja Watermarka na dubini od oko 10 cm počela su rasti u svibnju kao posljedica porasta evapotranspiracije. U isto vrijeme vlažnost tla počela je opadati na toj dubini. U zaključku autori navode kako je na većim dubinama bilo potrebno povećati obrok navodnjavanja.

Glavni cilj istraživanja Peree i sur. (2013.) bio je procijeniti učinkovitost tenziometra i Watermarka u različitim poljskim uvjetima. Tenziometar i Watermark su postavljeni na dubine od 15 i 30 cm na tri navodnjavane farme luka s lakom, srednjom i teškom teksturom tla, u tri ponavljanja. Istraživanje je provedeno u dolini Rio Grande na jugu Teksasa. Učinak oba senzora bio je slabiji na dubini od 15 cm u usporedbi sa 30 cm. Senzori postavljeni u srednje teškom tlu bili su najučinkovitiji. Iako je učinkovitost senzora na većoj dubini bila bolja tokom cijele sezone, sadržaj vode loše je očitao kod oba senzora. Senzori postavljeni bliže površini tla mogli su podleći utjecajima vlage i suše, lošeg održavanja ili postavljanja. U zaključku autori preporučuju postavljanje Watermarka i tenziometra na dubine veće od 30 cm kako bi izbjegli probleme gubljenja kontakta sa senzorom zbog sušenja tla.

Prema rezultatima istraživanja Marković (2013.) učinkovitost Watermark senzora ovisan je o vremenskim uvjetima. Odnosno dubina postavljanja senzora ne bi trebala biti jednaka u prosječnim klimatskim godinama i u godinama s ekstremnim vremenskim uvjetima. Watermark senzori u ekstremno kišnoj 2010. godini nisu zabilježili česte izmjene sušnoga i vlažnoga razdoblja te su stoga vrijednosti bile nepouzdanе. Pored toga postavljanje senzora na dubinu od 30 cm u ekstremno kišnoj godini nije povoljno jer se u dubljim slojevima tla nalazi voda koju biljka može iskoristiti. Nadalje dodatnim dodavanjem obroka navodnjavanja dolazi do pojave prekomjernog sadržaja vode u tlu što dovodi do nedostatka kisika, gušenja korijena i sniženje prinosa.

Navodnjavanje većom količinom vode nego što je biljci potrebno može dovesti do nepotrebnih gubitaka. Problem je posebice izražen u aridnim područjima gdje je količina oborine nedovoljna pa navodnjavanje ima osnovni karakter. Prekomjernim trošenjem vode za navodnjavanje snižava se razina podzemne vode. Navedeni problem prisutan je u Arapskim zemljama gdje se teži očuvanju vodnih resursa te racionalno korištenje u biljnoj proizvodnji. Al-Ghobari (2014.) proučavao je učinkovitost navodnjavanja, pravilno

određivanje trenutka početka navodnjavanja u uzgoju rajčice koja je navodnjavanja subirigacijom. Trenutak početka navodnjavanja bio je prema ET te sadržaju vode u tlu mjeren Watermark sensorima te kontrolni tretman na kojem je navodnjavano prema vremenskim uvjetima. Prema rezultatima istraživanja ušteda vode za 5,84 % i 20,8 % bila je na tretmanu na kojem je trenutak početka navodnjavanja određen prema ET. U odnosu na Watermark tretman ET tretman rezultirao je prinosom rajčice većim za 7,89 % i 11,33%.

Proulx (1998.) proučavali su najbolju metodu za određivanje vlažnosti tla u uzgoju krumpira. Autori navode kako je moguće koristiti Watermak i tenziometar uređaje međutim naglašavaju kako je potrebno imati krivulju umjeravanja kako bi se vrijednosti cbar i volumnog sadržaja vode u tlu povezale s trenutačnom vlažnosti tla. Nadalje autori navode kako su Aquaterr senzori osjetljivi na promjenu temperature tla pa stoga ne preporučuju upotrebu u uzgoju krumpira.

Thomson i sur. (2006.) istraživali su učinkovitost Watermark 200SS i tenziometra u nasadu paprike i lubenice. Tretmani navodnjavanja bili su: 100, 50 i 0 % ET. Autori ističu kako je Watermark senzor sporije reagirao na promjene vlažnosti tla u dobro ocjedinim tlima te preporučuju upotrebu senzora uz prethodno umjeravanje za agroekološke uvjete u kojima se koristi.

### **3. MATERIJALI I METODE RADA**

Istraživanje je postavljeno na pokušalištu Poljoprivrednog instituta Osijek 2017. godine. Na pokusnoj parceli uzgajane su sorte graška bez navodnjavanja. Praćena je dinamika sadržaja vode u tlu kao posljedica oborina.



Slika 1. Pokusna parcela s graškom

Prema Marković (2013.) tlo na pokusnoj parceli klasificirano je kao antropogenizirani hidromeliorirani hipoglej, po teksturi praškasto glinasta ilovača stabilnih mikroagregata. Kako je vidljivo iz tablice 1 tlo odlikuje niska poroznost i kapacitet za zrak. Retencijski kapacitet za vodu je osrednji, a sadržaj gline povećava se dubinom. Na dubini do 30 cm reakcija tla je neutralna, a na dubini od 45 cm alkalna.

Tablica 1. Fizikalna i kemijska svojstva tla na pokusnoj parceli

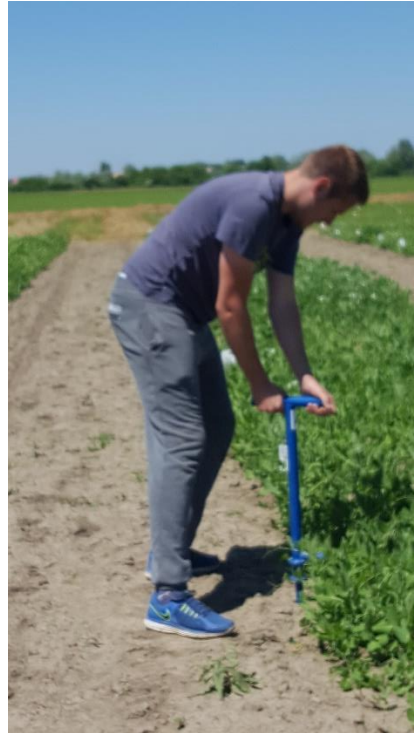
Dubina cm	Poroznost %	Kv %	Kz %	Gustoća tla (g cm <sup>3</sup> )		pH	
				δv	δč	(H <sub>2</sub> O)	(KCl)
0 - 30	44,97	37,64	7,33	1,56	2,83	5,59	6,60
30 - 45	43,91	38,53	5,38	1,52	2,71	6,85	7,64

### 3.1. Određivanje trenutne vlažnosti tla

Trenutna vlažnost tla određivana je usporedno s mjerenjima sadržaja vode u tlu tenziometrima i Watermark uređajima. Pomoću pedološke sonde uzorkovano je tlo s dubine na kojoj su postavljeni mjerni uređaji (slika 2 i 3.).



Slika 2. Određivanje dubine za uzrokovanje tla



Slika 3. Uzrokovanje tla  
(fotografija: M. Marković, 2017.)

Uzorci tla sušeni su na preciznoj analitičkoj vagi marke *Soehle* te su nošeni na sušenje u laboratorij. Na taj način određena je masa vlažnog tla ( $mv$ ). Uzorci tla sušeni su na  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  do konstantne mase kako bi se nakon vaganja dobila masa suhog tla ( $ms$ ) i računala trenutna vlažnost ( $Trv$ ) na temelju izraza:

$$Trv (\%) = \frac{mv - ms}{ms} * 100$$

gdje je:

$Trv$  = trenutna vlažnost tla (%)

$mv$  = masa vlažnog tla (g)

$ms$  = masa suhog tla (g)

### 3.2. Priprema i postavljanje tenziometara

Prije ukopavanja u tlo provjerena je ispravnost uređaja. Tenziometri su napunjeni destiliranom vodom nakon čega su iz cijevi uklonjeni mjehurići zraka kako bi se stvorio vakuum. Tijekom punjenja tenziometra vrijednost na uređaju bila je 0 cbar. Nakon nekog vremena vrijednosti na uređaju su rasle iz razloga što se sadržaj vode u tenziometru



smanjivao. Uređaji su potom stavljeni u posudu s vodom kako se porozna kapica ne bi osušila do ukopavanja u tlo.

Na pokusnoj parceli načinjeni su otvori pomoću pedološke sonde. Otvori su dubinom odgovarali duljini tenziometra. Prije samoga postavljanja u tlo na vrhu porozne kapice načinjena je kapica od vlažnog tla kako bi se što bolje uspostavio odnos između tla i porozne kapice. Otvor je napunjen sitnim tlom te je na posljedku zaliven vodom radi čega su vrijednosti na uređaju očitane tek nakon 48 sati.



Slika 4. Tenziometar postavljen u tlo

### **3.3. Priprema i postavljanje Watermark uređaja**

Prije ukopavanja u tlo senzori su u nekoliko navrata vlaženi i sušeni te je provjereno jesu li senzori ispravni očitavanjem s uređajem. Vrijednosti na uređaju bile su 0 cbara što znači da su uređaji ispravni odnosno da je na vlažnom senzoru vrijednost 100 % PVK. Prije samoga ukopavanja u tlo senzori su odloženi u posudu s vodom te su vlažni ukopani u tlo (slika 5). Otvori su pripremljeni pomoću pedološke sonde na 30 i 45 cm dubine odnosno na iste dubine kao i tenziometri (slika 6).



Slika 5. Priprema senzora



Slika 6. Tenziometar i Watermark uređaji postavljeni u tlo

Sadržaj vode u tlu mjeren je dva do tri puta tjedno, ovisni o oborinama. Vrijednosti su zabilježene, statistički obrađene i grafički prikazane. Na osnovu dobivenih rezultata izrađena je krivulja umjeravanja za tenziometar i Watermark uređaj.

### 3.4. Prikupljanje i analiza podataka

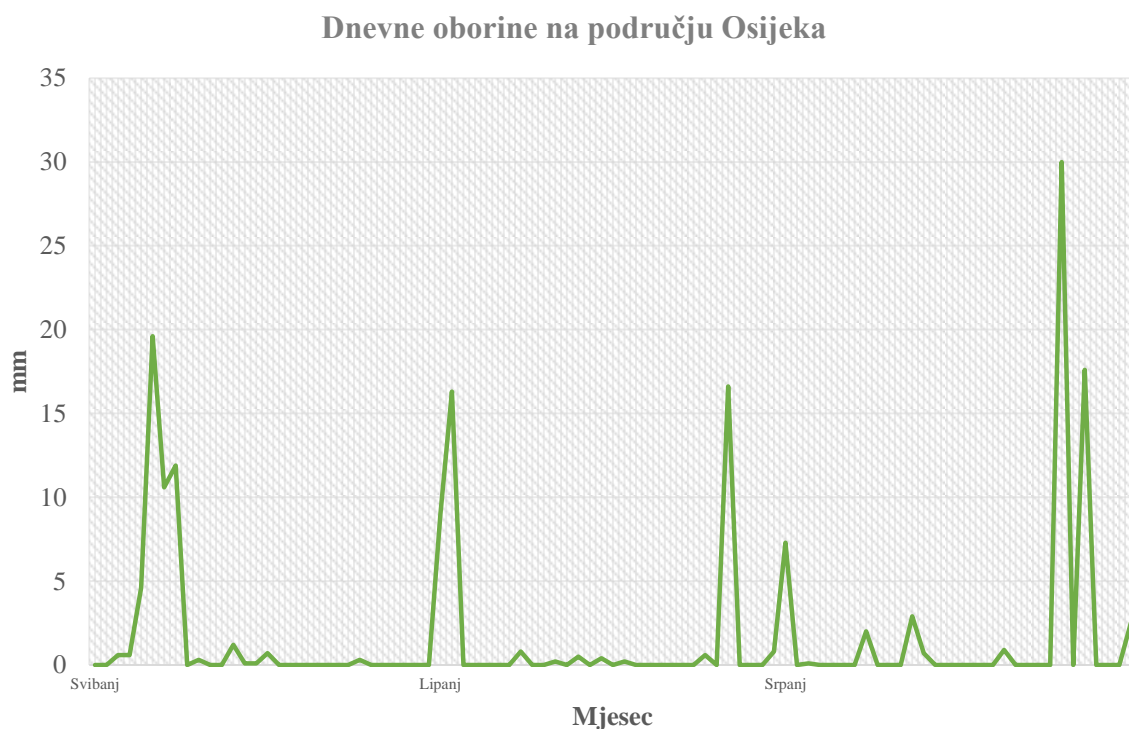
Pored praćenja sadržaja vode u tlu tijekom istraživanja mjerena je razina podzemne vode u tlu, a podaci o dnevnoj količini oborine (mm), srednjim dnevnim temperaturama zraka ( $^{\circ}\text{C}$ ) dobiveni su od Državnog hidrometeorološkog zavoda. Razina podzemne vode mjerena je u zdencu udaljenom 300 m od pokusne parcele pomoću „zviždaljke“.

Podaci su prikupljeni te grafički prikazani. Deskriptivna statistika, korelacijska povezanost između rezultata mjerenja i trenutačne vlažnosti tla te pripadajuća jednadžba regresije odrađena je statističkim programom STATISTICA 12 (Dell. Inc., Tulsa, USA).

## 4. REZULTATI I RASPRAVA

### 4.1. Agroekološki uvjeti

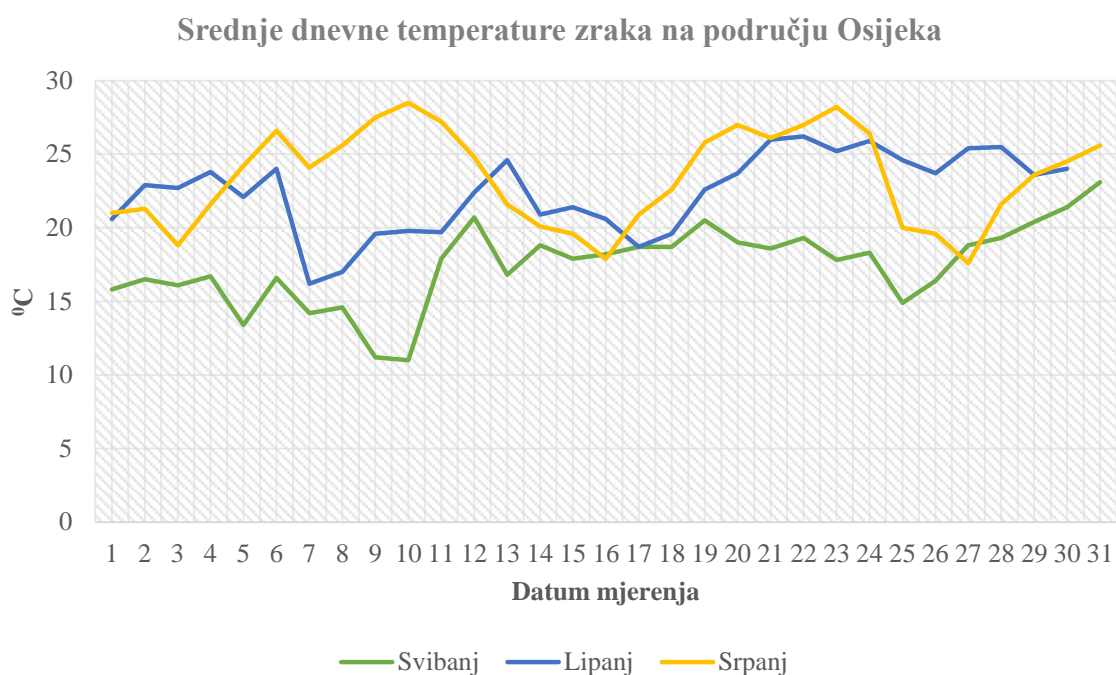
Dnevna količina oborine na području Osijeka tijekom razdoblja istraživanja prikazana je grafikonom 1. Tijekom mjeseca svibnja nije bilo značajnijih odstupanja u količini oborina. Količina oborine u mjesecu svibnju bila je za 7,9 mm manja od višegodišnjeg prosjeka (2017, = 50,6 mm; 1961. – 1990. = 58,5 mm). Mjesec lipanj bio je 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). U mjesecu srpnju nije bilo značajnijih odstupanja u količini oborine premda je zamijećen nepravilniji raspored oborine tijekom mjeseca. Naime ukupna količina oborine tijekom mjeseca srpnja je gotovo jednaka kao i u tridesetogodišnjem razdoblju (2017. = 64 mm; 1961. – 1990. = 64,8 mm) no kako je vidljivo iz grafikona, značajnije oborine pale su 25. srpnja (30 mm) što nije imalo utjecaja na rezultate istraživanja.



Grafikon 1. Dnevna količina oborine na području Osijeka tijekom razdoblja istraživanja

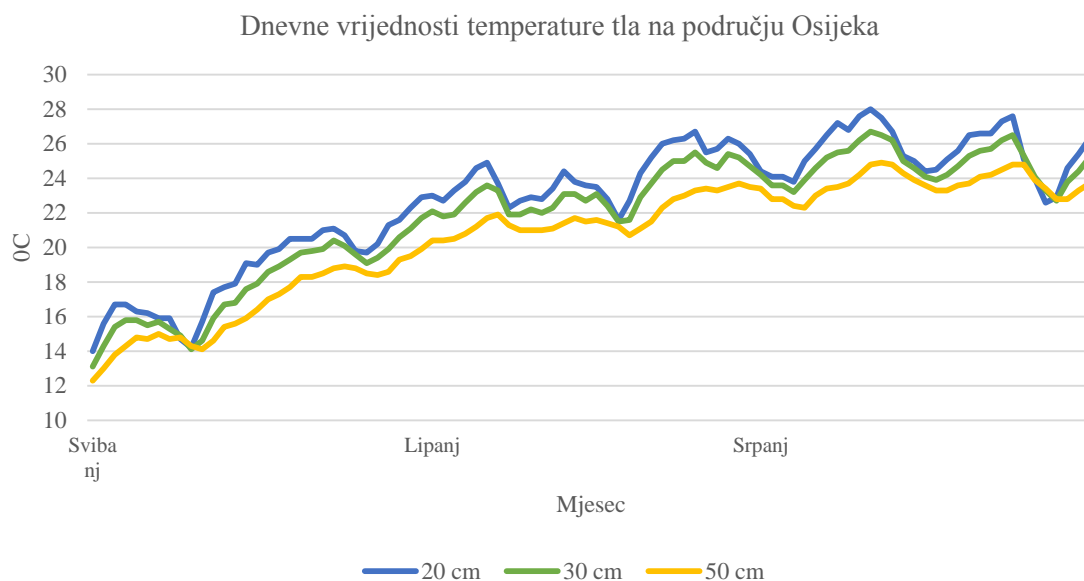
Kako je vidljivo iz grafikona 2, srednje dnevne temperature zraka na području Osijeka tijekom razdoblja istraživanja bile su u rasponu od 17,5 °C u mjesecu svibnju do 25,4 °C u mjesecu srpnju. Najniža dnevna temperatura zraka zabilježena je 10. svibnja (11 °C), a

najviša temperatura zraka 10. srpnja (28,5 °C). Srednja mjesečna temperatura zraka u svibnju bila je za 1 °C viša u odnosu na višegodišnji prosjek. U mjesecu lipnju srednja mjesečna temperatura zraka 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).



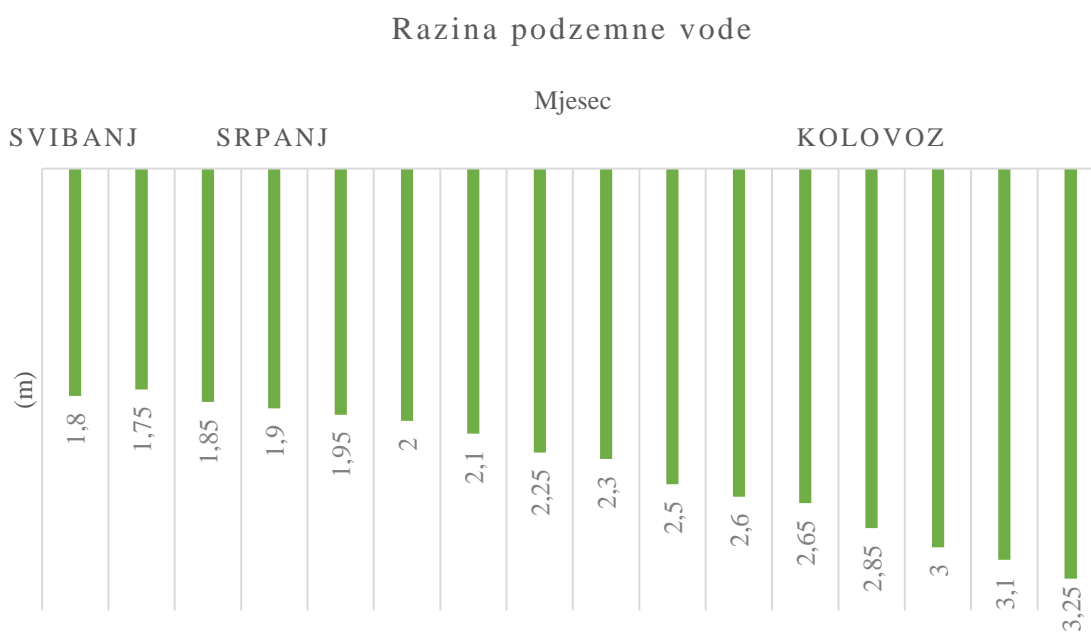
Grafikon 2. Srednje mjesečne temperature zraka na području Osijeka tijekom razdoblja istraživanja

Srednje dnevne temperature tla na 20, 30 i 40 cm dubine prikazane su grafikonom 3. Na dubini od 20 cm srednja dnevna temperatura tla bila je u rasponu od 14 do 26,3 °C. Na dubini od 30 cm temperatura tla bila je niža i kretala se u rasponu od 13,1 do 25,2 °C dok je na dubini od 40 cm temperatura tla bila najniža i bila je u rasponu od 13 do 23,7 °C. Sve vrijednosti izražene su od mjeseca svibnja do srpnja.



Grafikon 3. Srednje dnevne temperature tla na području Osijeka tijekom razdoblja istraživanja

Razina podzemne vode bila je u rasponu od 1,8 m u mjesecu svibnju do 3,25 m u mjesecu srpnju (grafikon 4). Obzirom na razinu podzemna voda nije imala utjecaja na rezultate mjerenja.



Grafikon 4. Razina podzemne vode tijekom razdoblja istraživanja



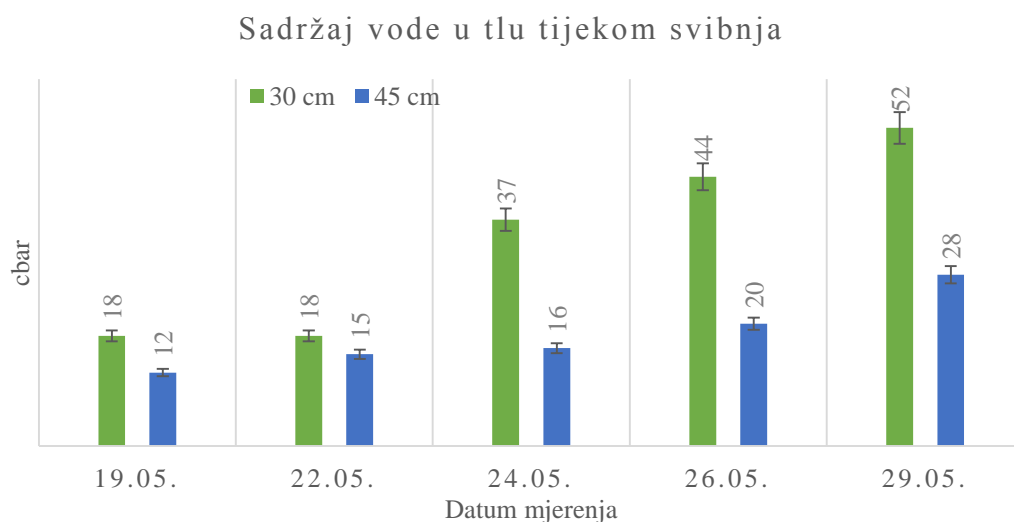
## 4.2. Praćenje sadržaja vode u tlu tenziometrima

U prosjeku sadržaj vode u tlu na dubini od 30 cm bio je 36 cbar. Kretao se u rasponu od 0 do 55 cbar (tablica 2). Na dubini od 45 cm sadržaj vode u tlu u prosjeku je bio 31,59 cbar, a kretao se u rasponu od 0 do 60 cbar.

Tablica 2. 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

Tijekom mjeseca svibnja na dubini od 30 cm vrijednosti na tenziometru bile su od 18 do 52 cbar (grafikon 5). Do sredine mjeseca sadržaj vode u tlu zadovoljavao je potrebe biljaka jer naime prema preporuci proizvođača za tip tla koji je na pokušalištu, od 11 do 30 cbar je sadržaj vode u tlu koji odgovara vrijednosti PVK. Nakon toga sadržaj vode u tlu opada do vrijednosti LKV te je potrebno navodnjavati kako bi se izbjegao stres izazvan sušom. Prema preporuci proizvođača vrijednosti od 30 do 50 cbar predstavljaju uobičajene vrijednosti za navodnjavanje.



Grafikon 5. Sadržaj vode u tlu praćen tenziometrima tijekom mjeseca svibnja 2017. godine

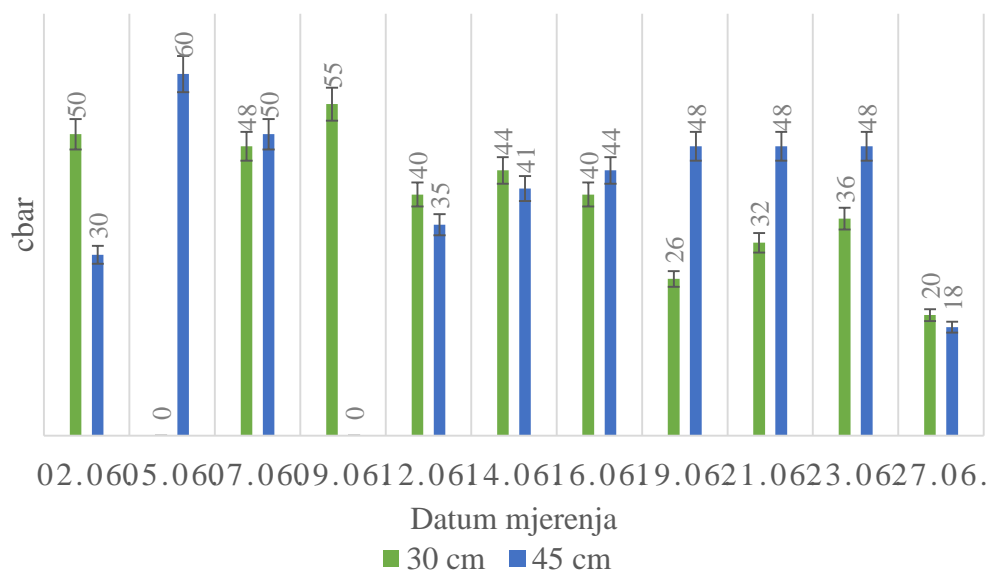
Na dubini od 45 cm vrijednosti na tenziometru bile su u rasponu od 12 do 28 cbar, odnosno količina vode u tlu na toj dubini bila je dostatna za potrebe biljaka.

U većem dijelu mjeseca lipnja na dubini od 30 cm sadržaj vode u tlu bio je na razini LKV, odnosno sadržaj vode u tlu je bio nizak i nije u potpunosti zadovoljavao potrebe biljaka (grafikon 6). Kako je vidljivo iz grafikona 6, 5. lipnja vrijednost na uređaju bila je 0 cbar što nije posljedica oborine nego je uslijed niskog sadržaja vode u tlu sva voda iz uređaja istekla u tlo te je uređaj prestao raditi. Uređaj je izvađen i servisiran, a iduće mjerenje bilo je 24 sata nakon ponovnog postavljanja uređaja u tlo.

Iz grafikona 6 vidljivo je brzo uspostavljanje kontakta između porozne kapice i tla jer je vrijednost na uređaju kod idućeg mjerenja porasla od 0 do 48 cbar. Sve do 16. lipnja sadržaj vode u tlu na dubini od 30 cm bio je iznad 40 cbar. Tenziometar je pokazao osjetljivost na manje promjene sadržaja vode u tlu. Naime sredinom mjeseca lipnja pala je manja količina oborine (13. lipnja = 0,5, 15. lipnja 0,4, 17. lipnja = 0,2 mm) no kako je vidljivo iz grafikona tenziometar je na 30 cm dubine zabilježio promjenu te su vrijednosti pale na 26 cbar. Uslijed izostanka oborine vrijednosti na uređaju rastu do 36 cbar te nakon oborine 27. lipnja (16,6 mm, grafikon) vrijednosti na uređaju padaju na 20 cbar što je na granici PVK.

Na dubini od 45 cm sadržaj vode u tlu bio je u rasponu od 18 do 60 cbar (grafikon 6). Također kao i kod tenziometra koji je bio postavljen na 30 cm uslijed suhog tla sva voda iz uređaja je istekla te je 9. lipnja uređaj servisiran, a iduće mjerenje bilo je nakon 24 sata. Najviša vrijednost na uređaju izmjerena je 5. lipnja (60 cbar) kada je sadržaj vode u tlu bio na granici točke venuća. Sve do kraja mjeseca lipnja odnosno do 27. lipnja sadržaj vode u tlu bio je vrlo nizak. Tenziometar postavljen na 45 cm dubine zabilježio je oborinu 26. lipnja kada je palo 16,6 mm te su vrijednosti na uređaju pale na 18 cbar što predstavlja vrijednost PVK.

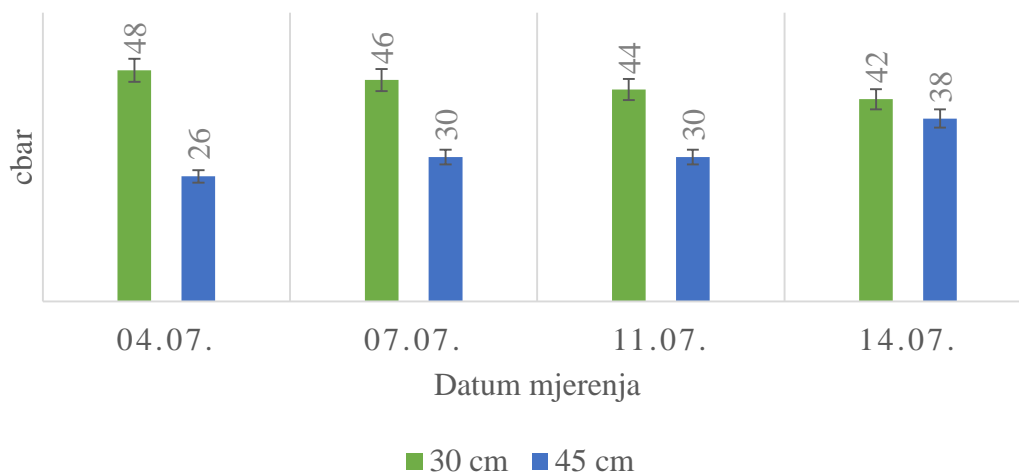
### Sadržaj vode u tlu tijekom lipnja



Grafikon 6. Sadržaj vode u tlu praćen tenziometrima tijekom mjeseca lipnja 2017. godine

Tijekom mjeseca srpnja na 30 cm dubine sadržaj vode u tlu bio je na vrijednosti LKV (> 40 cbar) odnosno nedostatak vode u tlu bilo je potrebno nadoknaditi navodnjavanjem (grafikon 7). Na dubini od 45 cm vrijednosti su bile u rasponu od 26 do 38 cbar što znači da se sadržaj vode i na toj dubini smanjivao do vrijednosti LKV.

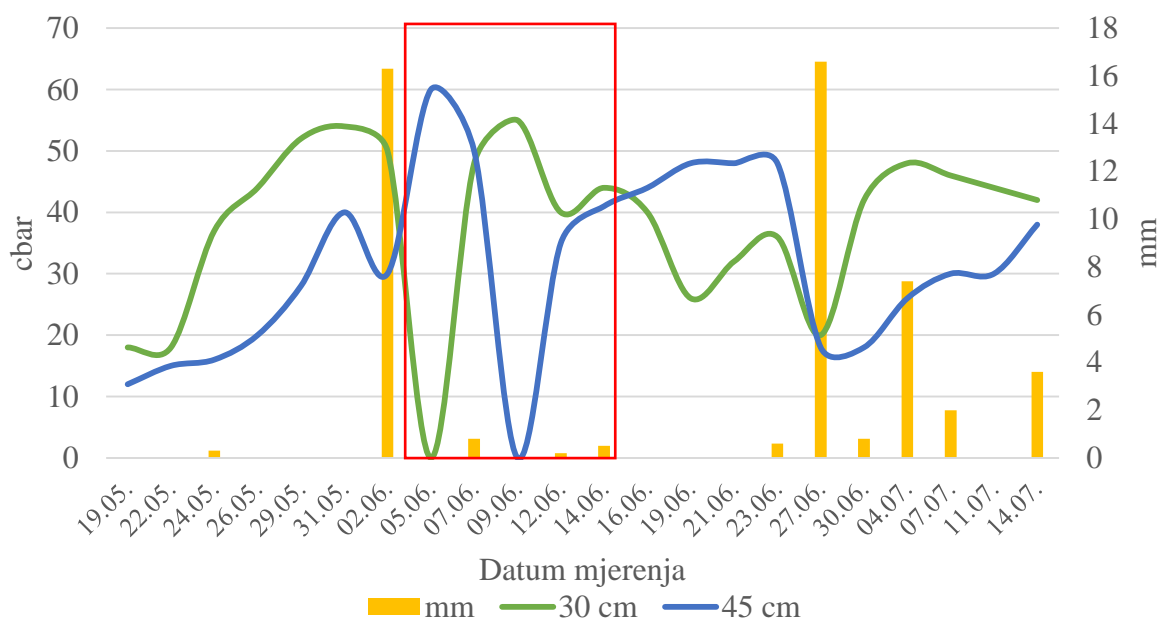
### Sadržaj vode u tlu tijekom srpnja



Grafikon 7. Sadržaj vode u tlu praćen tenziometrima tijekom mjeseca srpnja 2017. godine



Iz grafikona 8 vidljiva je dinamika sadržaja vode u tlu koja prati raspored i količinu oborine. Nadalje, vidljivo je razdoblje kada je uređaje bilo potrebno servisirati i ponovno uspostavljanje kontakta između tla i porozne kapice. Na osnovu čega se može zaključiti kako su tenziometri učinkoviti u praćenju dinamike vlažnosti tla te u određivanju trenutka početka navodnjavanja.



Grafikon 8. Dinamika vlažnost tla (cbar) i oborine (mm) tijekom razdoblja istraživanja

### 4.3. Rezultati mjerenja Watermark uređajem

U prosjeku na dubini od 30 cm Watermark mjerenja (tablica 3) su tijekom razdoblja istraživanja bila 51,59 cbar, a na dubini od 45 cm (47,18 cbar). Prema tome na obje dubine sadržaj vode u tlu bio je na vrijednosti LKV odnosno nedostatak vode u tlu bilo je potrebno nadoknaditi navodnjavanjem.

Minimalna vrijednost na 30 cm dubine bila je 22 cbar, a na 45 cm dubine bila je 18 cbar. Minimalne vrijednosti predstavljaju sadržaj vode u tlu kod vrijednosti LKV. Maksimalne vrijednosti na obje dubine bile su 199 cbar što znači da je u tlu sadržaj vode bio na razini Tv, odnosno tlo je bilo toliko suho da uređaj nije mogao izmjeriti.

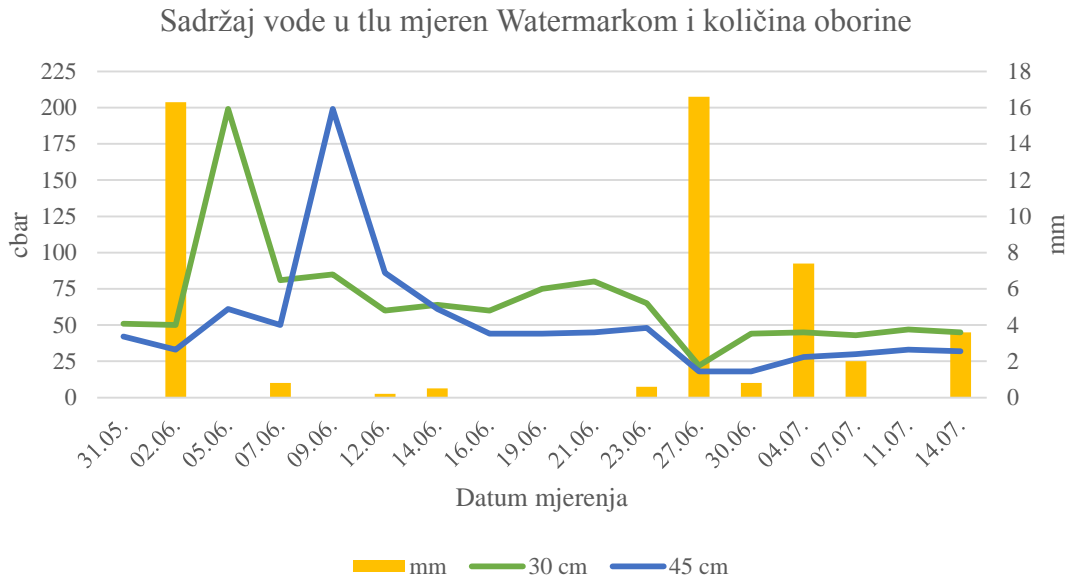
Tablica 3. Srednja, minimalna i maksimalna vrijednost mjerenja Watermark uređajem na obje dubine (N = 22)

Dubina senzora	Srednja vrijednost	Minimum	Maksimum
30	51,59	22	199
45	47,18	18	199

Sadržaj vode u tlu na obje dubine kao i dnevna količina oborine tijekom razdoblja istraživanja prikazani su grafikonom 9. U većem dijelu razdoblja istraživanja sadržaj vode u tlu bio je na razini LKV. Vidljiv je veći sadržaj vode u tlu na dubini od 45 cm tijekom cijelog razdoblja istraživanja.

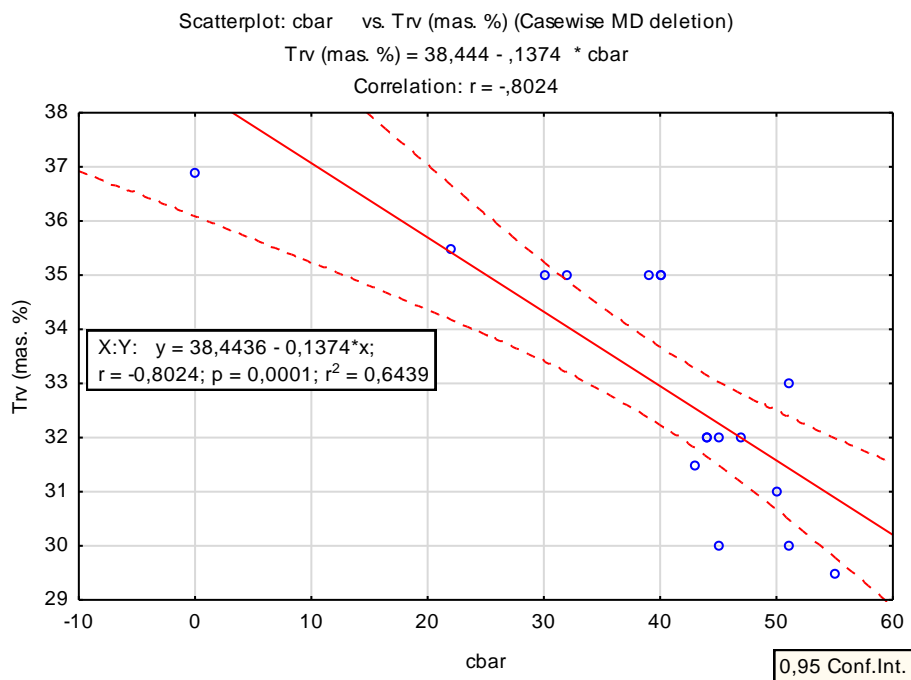
Na početku mjeseca lipnja sadržaj vode u tlu bio je ekstremno nizak tako da su vrijednosti na obje dubine pokazivale 199 cbar što znači da je sadržaj vode u tlu na 30 cm 5. lipnja bio toliko nizak da uređaj nije mogao izmjeriti. Na dubini od 45 cm vrijednost na uređaju bila je 199 cbar 9. lipnja što pokazuje razlike u sušenju tla ovisno o dubini profila. Oborine koje su pale 2. lipnja uređaji nisu zabilježili za razliku od oborina 27. lipnja kada je palo 16,6 mm. Uređaji su zabilježili promjenu pa su na senzoru na dubini od 30 cm vrijednosti s 80 cbar pale na 18 cbar, odnosno od LKV do PVK. Senzor na dubini od 45 cm je također zabilježio promjenu vlažnosti tla pri čemu su vrijednosti s 50 cbar pale na 18 cbar što također predstavlja vrijednost PVK.

Od 27. lipnja do kraja razdoblja mjerenja sadržaj vode u tlu na obje dubine bio je ispod 50 cbar što je prema rezultatima umjeravanja na granici 60 % PVK. Za osjetljive kulture plitkog korijenovog sustava nedostatak vode u tlu trebalo bi nadoknaditi navodnjavanjem.

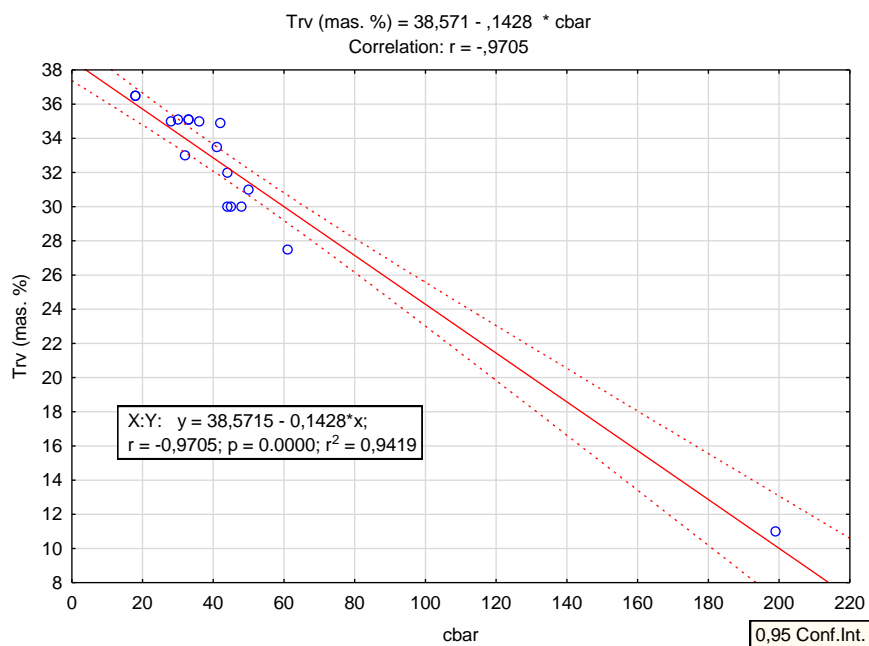


Grafikon 9. Sadržaj vode u tlu mjereno Watermarkom (cbar) i količina oborine (mm) tijekom razdoblja istraživanja

Analizom korelacijske povezanosti utvrđena je vrlo jaka negativna korelacija ( $r = -0,9^*$ ,  $N = 22$ ) između Watermark mjerenja i trenutne vlažnosti tla određene gravimetrijom na 30 cm (grafikon 10) i 45 cm (grafikon 11) dubine.



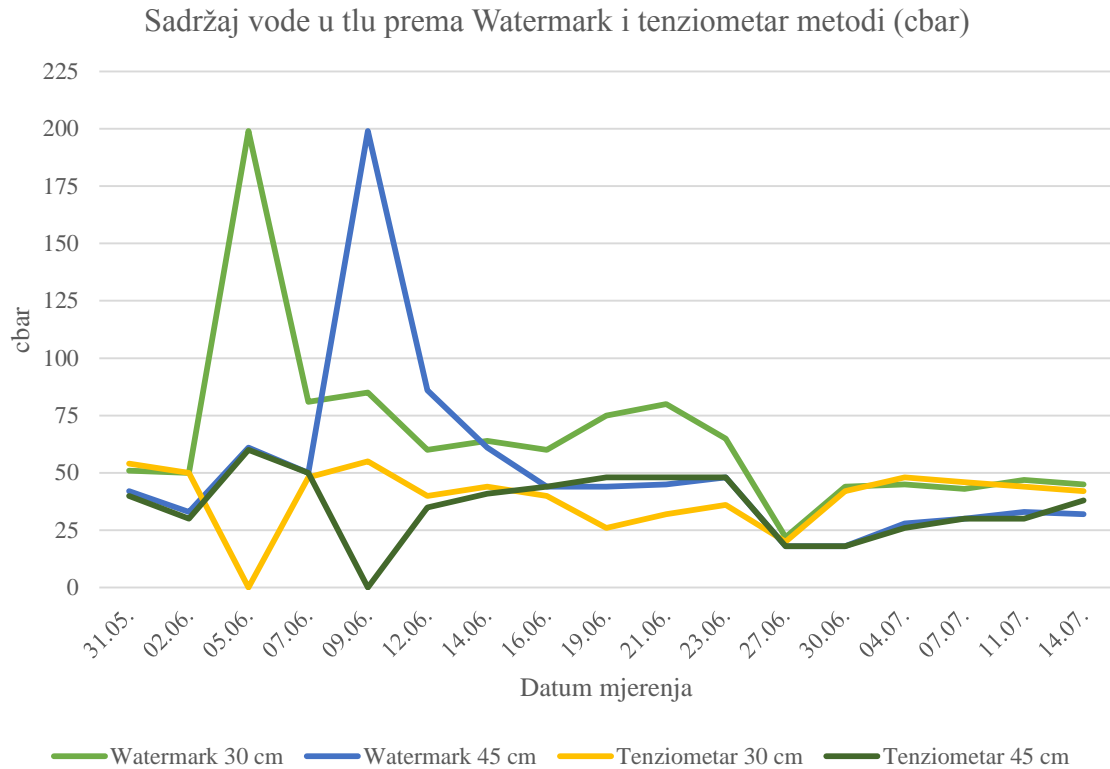
Grafikon 10. Korelacijska povezanost između Watermark mjerenja i trenutne vlažnosti tla na 30 cm dubine



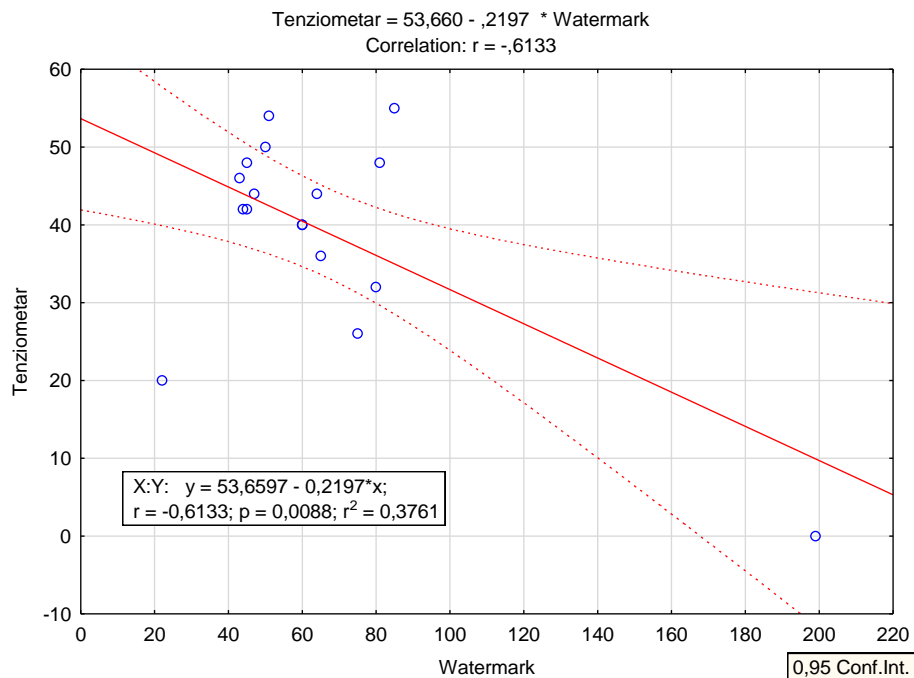
Grafikon 11. Korelacijska povezanost između Watermark mjerenja i trenutne vlažnosti tla na 45 cm dubine

Iz grafikona 12 vidljiv je odnos između rezultata mjerenja Watermark i tenziometrima (cbar) na obje dubine. Analizom korelacijske veze utvrđena je srednje jaka negativna korelacijska povezanost (grafikon 13). Kako je vidljivo iz grafikona 12 u razdoblju od 5. do 9. lipnja kada je sadržaj vode u tlu bio ekstremno nizak vrijednosti na Watermark uređaju bile su 199 cbar što je uobičajena vrijednost pri izrazito niskom sadržaju vode u tlu. U istom razdoblju vrijednosti na tenziometrima bile su 0 cbar, kao što je prethodno prikazano u rezultatima. U ovom slučaju 0 cbar ne predstavlja vrijednost 100 % PVK nego stanje u kojem uređaj nije mogao izmjeriti vlažnost tla jer je sva voda iz senzora prešla u suho tlo. Iz navedenoga može se zaključiti kako je to razlog negativne korelacijske povezanosti između rezultata mjerenja.

U preostalom dijelu istraživanja vrijednosti na oba uređaja i obje dubine pratile su dinamiku vlažnosti tla ovisno o količini oborine.



Grafikon 12. Sadržaj vode u tlu prema Watermark i tenziometar metodi (cbar) na 30 cm i 45 cm dubine senzora



Grafikon 13. Korelacijska povezanost između mjerenja dobivenih Watermark i tenziometar metodama na 30 cm dubine senzora

## **5. ZAKLJUČAK**

Watermark senzori i tenziometri korisni su pri određivanju trenutačne vlažnosti tla kako bi trenutak početka navodnjavanja bio što pravilnije određen. Obzirom da dobivene vrijednosti ovise o tipu tla te dubini na koju se postavljaju, preporuča se uređaje umjeriti za agroekološke uvjete u kojima se planiraju koristiti. Prije krajnjega zaključka potrebno je uzeti u obzir manji broj provedenih mjerenja te činjenicu kako je u većem dijelu razdoblja istraživanja tlo bilo suho, oborina nije bilo dovoljno te nisu bile pravilno raspoređene i na kraju agrotenička mjera navodnjavanja je izostavljena. Prema tome dinamika vlažnosti tla je u vrlo uskom rasponu te se preporuča provesti daljnja istraživanja kako bi zaključci bili vjerodostojniji.

## 6. POPIS LITERATURE

Al-Ghobari, H. M. (2014.): The assessment of automatic irrigation scheduling techniques on tomato yield and water productivity under a subsurface drip irrigation system in a hyper arid region. *Transactions on Ecology and The Environment*, 185: 55 – 66.

Aksić, M., (2011.): *Određivanje vremena zalivanja tenziometrom*. Univerzitet u Prištini.

Bošnjak, Đ., (1992.): *Praktikum iz navodnjavanja poljoprivrednih kultura*. Novi Sad.

Hanson, B. R., Peters, D., Orloff, S., (2000.): Effectiveness of tensiometers and electrical resistance sensors varies with soil condition. *California Agriculture* 54 (3): 47-50.

Hanson, B. R., Orloff, S., Peters, D., (2000.): Monitoring soil moisture helps refine irrigation management. *California Agriculture*. 54 (3).

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

Madjar, S., Šoštarić, J., (2009.): *Navodnjavanje poljoprivrednih kultura*. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Poljoprivredni fakultet u Osijeku.

Marković, M. (2013.): *Utjecaj navodnjavanja i gnojidbe dušikom na urod i kvalitetu zrna hibrida kukuruza (*Zea mays* L.)*. Doktorska disertacija. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Poljoprivredni fakultet u Osijeku.

Pavićević, N. (1972.): *Fizika zemljišta*. Savez studenata poljoprivrednog fakulteta Beograd.

Perea, H., Enciso, J., Jifon, J., Nelson, S., Fernandez, C., (2013.): On-Farm Performance of Tensiometer and Granular Matrix Soil Moisture in Irrigated Light, Medium, and Heavy Textured Soils. *Subtropical Plant Science* 65: 1-7.

Proulx, S., Sri Ranjan, R., Klassen, G. (1998.): Evaluation of soil moisture sensors in potato fields. *An ASAE Meeting Presentation*, 98 – 118.

Shock, C. C., Feibert, E. B. G., Saunders, L. D., (1998.): Potato yield and quality response to deficit irrigation. *Horticultural Science*. 33: 655-659.

Smajstrla, G.A., Dalton S.H., (1998.): Tensiometers for Soil Moisture Measurement and Irrigation Scheduling. Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida.

Thompson, R.B., Gallardo, M., Aguera, T., Valdez, L.C., Fernandez, M.D., (2005.): Evaluation of the Watermark sensor for use with drip irrigated vegetable crops. Springer-Verlag. Universidad de Almeria. Spain.

Thomson, S.J., Armstrong, C.F., (1987.): Calibration of the Watermark model 200 soil moisture sensor. Applied Engineering in Agriculture. 3: 186-189.

Vukadinović, V., Vukadinović, V., (2016.): Tlo, gnojidba i prinos - Što uspješan poljoprivrednik mora znati o tlu, gnojidbi i tvorbi prinosa. Elektroničko izdanje. Osijek.  
[http://ishranabilja.com.hr/literatura/eKnjiga\\_Tlo-gnojidba-prinos.pdf](http://ishranabilja.com.hr/literatura/eKnjiga_Tlo-gnojidba-prinos.pdf)

Internetske stranice:

<https://hr.wikipedia.org/wiki/Tlo> - (13. 4. 2017, 13:12)

<https://en.wikipedia.org/wiki/Soil> - (13. 4. 2017., 13:35)

<http://www.irrometer.com/pdf/sensors/403%20WATERMARK%20Sensor-WEB.pdf> -  
(25. 4. 2017. 21:03)

<http://www.irrometer.com/pdf/instruction%20manuals/sensors/701%20Meter%20Manual-WEB.pdf> - (28. 4. 2017., 19:55)



## 7. SAŽETAK

Istraživanje je postavljeno na pokušalištu Poljoprivrednog instituta Osijek (2017.) na hidromelioriranom hipogleju. Proučavane su metode elektrometrije (Watermark) i tenziometri u praćenju sadržaja vode u tlu kako bi se što točnije odredio trenutak početka navodnjavanja i time smanjio stres izazvan nedostatkom ili suviškom vode. Sveukupno je sadržaj vode u tlu mjeren 22 puta, a vrijednosti su bile kako slijedi: na tenziometru koji je postavljen na 30 cm dubine u prosjeku su vrijednosti bile 36 cbar, minimalne vrijednosti su bile 0 cbar, a maksimalne vrijednosti 55 cbar; na tenziometru koji je postavljen na 45 cm dubine vrijednosti su u prosjeku bile 31,59 cbar, minimalne vrijednosti bile su 0 cbar, a maksimalne 60 cbar. Nadalje, vrijednosti izmjerene Watermark uređajem bile su kako slijedi: na senzoru koji je postavljen na 30 cm dubine prosječna vrijednosti bila je 51,59 cbar, minimalna vrijednosti bila je 22 cbar, a maksimalna 199 cbar; na senzoru koju je postavljen na 45 cm dubine prosječne vrijednosti bile su 47,18 cbar, minimalne vrijednosti bile su 18 cbar, a maksimalne 199 cbar. Potrebno je uzeti u obzir vrijeme kada je sadržaj vode u tlu bio kritično nizak uslijed čega su vrijednosti na tenziometru bile 0 cbar što inače predstavlja vrijednost kod sadržaja vode u tlu pri vrijednosti 100 % PVK. U većem dijelu vegetacije sadržaj vode u tlu bio je na razini LKV odnosno sadržaj vode u tlu bilo je potrebno nadoknaditi navodnjavanjem. Oba uređaja su u većem dijelu razdoblja istraživanja registrirali promjenu u vlažnosti tla s iznimkom kada je prije oborine sadržaj vode u tlu bio kritično nizak te tenziometre bilo potrebno servisirati. No unatoč tom nedostatku preporuča se upotreba Watermark i tenziometar metode u određivanju trenutka početka navodnjavanja uz prethodno umjeravanje za agroekološke uvjete u kojima će biti korišteni.

## 8. SUMMARY

The study was conducted on research station of Agricultural Institute Osijek (2017) on hydromeliorated hypoglej. The main goal of the research was to study the use of electrometry (Watermark) and tensiometer method for measuring soil water content in irrigation scheduling so that the stress caused by excessive as well as lack of water would be minimized as much as it is possible. In total soil water content was measured 22 times and the results are as follows: for tensiometer buried on 30 cm the mean value was 36 cbar, minimum value was 0 cbar while the maximum value was 55 cbar. Furthermore, for tensiometer buried on 45 cm the mean value was 31,59 cbar, minimum value was 0 cbar while the maximum value was 60 cbar. As for Watermark sensors the results are as follows: the mean value was 51,59 cbar, minimum value was 22 cbar while the maximum value was 199 cbar while the results for sensors on 45 cm the results are as follows: the mean value was 47,18 cbar, minimum value was 18 cbar while the maximum value was 199 cbar. During the beginning of month June, the soil water content was extremely low so that the tensiometer readings where 0 which in this case does not represents the 100 % of field water capacity but the error since all of the water from the tensiometer tube was sucked into dry soil. In the main part of the study period the soil water content was low and there was a need to irrigate and to compensate the lack of water with irrigation water. Both sensors (method) used in this study have registered the soil water content dynamic with exception in period of extremely low soil water content when the tesianometer needed to be serviced. Nevertheless, both of the method are useful in irrigation scheduling yet the calibration for specific conditions is necessary before the use.

## **9. POPIS TABLICA**

Tablica 1. Fizikalna i kemijska svojstva tla na pokusnoj parceli (str. 18)

Tablica 2. Deskriptivna statistika za tenziometre (N = 22) (str. 25)

Tablica 3. Srednja, minimalna i maksimalna vrijednost mjerenja Watermark uređajem na boje dubine (N = 22) (str. 29)

## **10. POPIS SLIKA**

Slika 1. Pokusna parcela s graškom (str. 18)

Slika 2. Određivanje dubine za uzrokovanje tla (str. 19)

Slika 3. Uzorkovanje tla (str. 19)

Slika 4. Tenziometar postavljen u tlo (str. 20)

Slika 5. Priprema senzora (str. 21)

Slika 6. Tenziometar i Watermark uređaji postavljeni u tlo (str. 21)

Sve fotografije u radu izvorno su djelo autora osim ako u tekstu nije posebno naznačeno

## 11. POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Dnevna količina oborine na području Osijeka tijekom razdoblja istraživanja (str. 22)

Grafikon 2. Srednje mjesečne temperature zraka na području Osijeka tijekom razdoblja istraživanja (str. 23)

Grafikon 3. Srednje dnevne temperature tla na području Osijeka tijekom razdoblja istraživanja (str. 24)

Grafikon 4. Razina podzemne vode tijekom razdoblja istraživanja (str. 24)

Grafikon 5. Sadržaj vode u tlu praćen tenziometrima tijekom mjeseca svibnja 2017. godine (str. 25)

Grafikon 6. Sadržaj vode u tlu praćen tenziometrima tijekom mjeseca lipnja 2017. godine (str. 27)

Grafikon 7. Sadržaj vode u tlu praćen tenziometrima tijekom mjeseca srpnja 2017. godine (str. 27)

Grafikon 8. Dinamika vlažnost tla (cbar) i oborine (mm) tijekom razdoblja istraživanja  
Rezultati mjerenja Watermark uređajem (str. 28)

Grafikon 9. Sadržaj vode u tlu mjeren Watermarkom (cbar) i količina oborine (mm) tijekom razdoblja istraživanja (str. 30)

Grafikon 10. Korelacijska povezanost između Watermark mjerenja i trenutne vlažnosti tla na 30 cm dubine (str. 30)

Grafikon 11. Korelacijska povezanost između Watermark mjerenja i trenutne vlažnosti tla na 45 cm dubine (str. 31)

Grafikon 12. Sadržaj vode u tlu prema Watermark i tenziometar metodi (cbar) na 30 cm i 45 cm dubine senzora (str. 32)

Grafikon 13. Korelacijska povezanosti između mjerenja dobivenih Watermark i tenziometar metodama na 30 cm dubine senzora (str. 32)

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Diplomski rad

Poljoprivredni fakultet u Osijeku

Sveučilišni diplomski studij Bilinogojstva, smjer Biljna proizvodnja

Usporedba metoda elektrometrije i tenziometra za praćenje sadržaja vode u tlu

Dino Tepšić

**Sažetak:** Istraživanje je postavljeno na pokušalištu Poljoprivrednog instituta Osijek (2017.) na hidromelioriranom hipogleju. Proučavane su metode elektrometrije (Watermark) i tenziometri u praćenju sadržaja vode u tlu kako bi se što točnije odredio trenutak početka navodnjavanja i time smanjio stres izazvan nedostatkom ili suviškom vode. Sveukupno je sadržaj vode u tlu mjereno 22 puta, a vrijednosti su bile kako slijedi: na tenziometru koji je postavljen na 30 cm dubine u prosjeku su vrijednosti bile 36 cbar, minimalne vrijednosti su bile 0 cbar, a maksimalne vrijednosti 55 cbar; na tenziometru koji je postavljen na 45 cm dubine vrijednosti su u prosjeku bile 31,59 cbar, minimalne vrijednosti bile su 0 cbar, a maksimalne 60 cbar. Nadalje, vrijednosti izmjerene Watermark uređajem bile su kako slijedi: na senzoru koji je postavljen na 30 cm dubine prosječna vrijednost bila je 51,59 cbar, minimalna vrijednost bila je 22 cbar, a maksimalna 199 cbar; na senzoru koji je postavljen na 45 cm dubine prosječne vrijednosti bile su 47,18 cbar, minimalne vrijednosti bile su 18 cbar, a maksimalne 199 cbar. Potrebno je uzeti u obzir vrijeme kada je sadržaj vode u tlu bio kritično nizak uslijed čega su vrijednosti na tenziometru bile 0 cbar što inače predstavlja vrijednost kod sadržaja vode u tlu pri vrijednosti 100 % PVK. U većem dijelu vegetacije sadržaj vode u tlu bio je na razini LKV odnosno sadržaj vode u tlu bilo je potrebno nadoknaditi navodnjavanjem. Oba uređaja su u većem dijelu razdoblja istraživanja registrirali promjenu u vlažnosti tla s iznimkom kada je prije oborine sadržaj vode u tlu bio kritično nizak te tenziometre bilo potrebno servisirati. No unatoč tom nedostatku preporuča se upotreba Watermark i tenziometar metode u određivanju trenutka početka navodnjavanja uz prethodno umjeravanje za agroekološke uvjete u kojima će biti korišteni.

**Rad je izrađen pri:** Poljoprivredni fakultet u Osijeku

**Mentor:** doc. dr. sc. Monika Marković

**Broj stranica:** 42

**Broj grafikona i slika:** 17 (11 grafikona i 6 slika)

**Broj tablica:** 3

**Broj literaturnih navoda:** 16

**Broj priloga:** 0

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Ključne riječi:** sadržaj vode u tlu, elektrometrija (Watermark), 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

**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, Plant production**

### **Controlling of Soil Moisture Content with Electrometry and Tensiometer Method**

Dino Tepšić

**Abstract:** The study was conducted on research station of Agricultural Institute Osijek (2017) on hydromeliorated hypoglej. The main goal of the research was to study the use of electrometry (Watermark) and tensiometer method for measuring soil water content in irrigation scheduling so that the stress caused by excessive as well as lack of water would be minimized as much as it is possible. In total soil water content was measured 22 times and the results are as follows: for tensiometer buried on 30 cm the mean value was 36 cbar, minimum value was 0 cbar while the maximum value was 55 cbar. Furthermore, for tensiometer buried on 45 cm the mean value was 31,59 cbar, minimum value was 0 cbar while the maximum value was 60 cbar. As for Watermark sensors the results are as follows: the mean value was 51,59 cbar, minimum value was 22 cbar while the maximum value was 199 cbar while the results for sensors on 45 cm the results are as follows: the mean value was 47,18 cbar, minimum value was 18 cbar while the maximum value was 199 cbar. During the beginning of month June, the soil water content was extremely low so that the tensiometer readings were 0 which in this case does not represent the 100 % of field water capacity but the error since all of the water from the tensiometer tube was sucked into dry soil. In the main part of the study period the soil water content was low and there was a need to irrigate and to compensate the lack of water with irrigation water. Both sensors (method) used in this study have registered the soil water content dynamic with exception in period of extremely low soil water content when the tensiometer needed to be serviced. Nevertheless, both of the methods are useful in irrigation scheduling yet the calibration for specific conditions is necessary before the use.

**Thesis performed at:** Faculty of Agriculture in Osijek

**Mentor:** Monika Marković, Assistant professor

**Number of pages:** 42

**Number of figures:** 17 (3 charts and 11 pictures)

**Number of tables:** 3

**Number of references:** 16

**Number of appendices:** 0

**Original in:** Croatian

**Key words:** Soil Water content, electrometry (Watermark), tensiometer

**Thesis defended on date:**

**Reviewers:**

1. Professor Jasna Šoštarić, president of the Commission
2. Assistant professor Monika Marković, mentor
3. PhD Vladimir Zebec, member of the Commission

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