

# Određivanje količine vode u tlu kod padinskog tla pomoću senzorske tehnologije

---

Jurišić, Dora

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Agriculture / Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:204:849198>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-17**



Repository / Repozitorij:

[Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu  
Agronomski fakultet

University of Zagreb  
Faculty of Agriculture



# **ODREĐIVANJE KOLIČINE VODE U TLU KOD PADINSKOG TLA POMOĆU SENZORSKE TEHNOLOGIJE**

DIPLOMSKI RAD

Dora Jurišić

Zagreb, rujan, 2021.



Sveučilište u Zagrebu  
Agronomski fakultet

University of Zagreb  
Faculty of Agriculture



Diplomski studij:

Poljoprivredna tehnika - Melioracije

# **ODREĐIVANJE KOLIČINE VODE U TLU KOD PADINSKOG TLA POMOĆU SENZORSKE TEHNOLOGIJE**

DIPLOMSKI RAD

Dora Jurišić

Mentor:

Doc. dr. sc. Vilim Filipović

Zagreb, rujan, 2021.



Sveučilište u Zagrebu  
Agronomski fakultet

University of Zagreb  
Faculty of Agriculture



## IZJAVA STUDENTA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, **Dora Jurišić**, JMBAG 0178106488, rođena 06.03.1996. u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradila diplomski rad pod naslovom:

### **ODREĐIVANJE KOLIČINE VODE KOD PADINSKOG TLA POMOĆU SENZORSKE TEHNOLOGIJE**

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedina autorica ovoga diplomskog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj diplomski rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga diplomskog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznata s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

*Potpis studentice*





Sveučilište u Zagrebu  
Agronomski fakultet

University of Zagreb  
Faculty of Agriculture



## IZVJEŠĆE

### O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studentice **Dora Jurišić**, JMBAG 0178106488, naslova

#### ODREĐIVANJE KOLIČINE VODE KOD PADINSKOG TLA POMOĆU SENZORSKE TEHNOLOGIJE

obranjen je i ocijenjen ocjenom \_\_\_\_\_, dana \_\_\_\_\_.

Povjerenstvo:

potpisi:

- |    |                              |                     |       |
|----|------------------------------|---------------------|-------|
| 1. | Doc. dr. sc. Vilim Filipović | mentor              | _____ |
|    | Vedran Krevh mag ing. agr.   | neposredni voditelj | _____ |
| 2. | Doc. dr. sc. Lana Filipović  | član                | _____ |
| 3. | Doc. dr. sc. Igor Bogunović  | član                | _____ |

## Zahvala

Zahvaljujem svojim roditeljima, sestrama i cijeloj obitelji na pruženoj financijskoj i moralnoj podršci tijekom studiranja.

Zahvaljujem svom dečku i prijateljima na svakoj pomoći koju su mi pružili za vrijeme studija, kao i na podršci.

Najveće hvala mom mentoru doc. dr. sc. Vilimu Filipoviću, te neposrednom voditelju Vedranu Krevhu, mag. ing. agr. na strpljenju, ukazanom povjerenju, velikoj pomoći i pruženom znanju tijekom izrade diplomskog rada.

Također hvala doc. dr. sc. Lani Filipović na velikoj pomoći oko statističkih obrada podataka i tablica.

## SADRŽAJ

1.	UVOD .....	1
1.1.	Cilj rada .....	1
2.	PREGLED LITERATURE.....	2
2.1.	Značajke padinske poljoprivrede .....	2
2.2.	Hidrološki procesi na padinskim tlima .....	5
2.3.	Primjena navodnjavanja na padini.....	7
2.4.	Kretanje vode u tlu.....	9
2.5.	Struktura i tekstura tla .....	10
2.6.	Senzorska tehnologija .....	11
2.7.	Invazivni senzori mjerenja vlage u tlu .....	12
2.8.	Neinvazivni senzori vlage u tlu .....	17
3.	MATERIJALI I METODE.....	19
3.1.	Opis lokacije .....	19
3.2.	Oprema za praćenje hidrološkog ciklusa postavljena na pokusu SUPREHILL.....	20
3.3.	Kemijske i fizikalne značajke tla .....	25
3.4.	Statistička obrada podataka.....	25
4.	REZULTATI I RASPRAVA .....	26
4.1.	Meteorološki podaci .....	26
4.2.	Mjerenje volumetrijske vlage tla pomoću senzora.....	29
4.3.	Rezultati statističke obrade.....	33
5.	ZAKLJUČAK.....	35
6.	POPIS LITERATURE.....	36
7.	PRILOZI.....	39
7.1.	Slike .....	39
7.2.	Grafovi.....	40
7.3.	Tablice .....	40
8.	ŽIVOTOPIS.....	41



## **SAŽETAK**

Diplomskog rada studentice **Dora Jurišić**, naslova

### **ODREĐIVANJE KOLIČINE VODE KOD PADINSKOG TLA POMOĆU SENZORSKE TEHNOLOGIJE**

Ovaj diplomski rad bavi se problematikom količine vode i njenom dinamikom u padinskim tlima. Cilj rada je pomoću terenskih istraživanja i senzorske tehnologije prikazati količinu vode na nekoliko pozicija na padini na istraživanom području. Određivana je količina vlage u tlu na vrhu, sredini i dnu padine, na četiri dubine (20, 40, 60 i 80 cm). Mjerenja su provedena tijekom 6 mjeseci na vinogradsko-vinarskom pokušalištu Jazbina. Najviše vrijednosti vlage pokazali su senzori na dubini od 40 cm, dok su senzori instalirani na 20 cm pokazali najveću dinamiku u izmjerenim vrijednostima. Vlaga u tlu na dubini od 20 cm od površine tla se statistički značajno razlikovala između vrha i dna padine, pri čemu je najviša vlaga zabilježena na vrhu padine, a najniža na dnu padine. Sadržaj vlage u tlu na dubini od 80 cm se statistički značajno razlikovao s obzirom na sve pozicije na padini, pri čemu je najviša vlaga zabilježena na vrhu padine, a najniža na sredini padine.

**Ključne riječi:** padinsko tlo, senzori, količina vode u tlu, hidrologija

## **SUMMARY**

Of the master's thesis – student **Dora Jurišić**, entitled

### **DETERMINING SOIL WATER CONTENT IN SLOPING SOIL USING SENSOR TECHNOLOGY**

This thesis is focused on evaluating soil water quantity and dynamics in sloping soil at several positions along the slope using fieldwork research and sensor technology. Soil moisture was examined at four soil depths (20, 40, 60 and 80 cm) and at three positions on the slope: at the top, middle, and the bottom of the slope. The monitoring took place during six months at the Jazbina experimental station. Results showed that sensors installed at 40 cm of soil depth recorded the highest average values of moisture, while those installed at 20 cm showed more oscillations in measured values. Statistical analysis showed that soil moisture at 20 cm of soil depth was significantly different along the slope, with the highest value measured at the top, and the lowest at the bottom of the slope. Soil moisture at 80 cm of soil depth was also significantly different along the slope, with the highest moisture detected at the top, and the lowest at the middle of the slope.

**Keywords:** sloping soil, sensor technology, water quantity, hydrology

## 1. UVOD

Površina zemlje se neprestano mijenja. No, procesi koji dovode do promjena, način na koji će se tlo promijeniti tijekom vremena te kako te promjene utječu na hidrološke, ekološke i geomorfološke procese još uvijek nije u potpunosti istraženo. S obzirom na svojstva, tla se dijele na postojana i na ona koja se vrlo brzo mijenjaju, što značajno utječe na količinu i kvalitetu vode u tlu. Najveći utjecaj stvara se na brežuljcima, odnosno padinama gdje bočni i vertikalni transportni procesi imaju izraženo djelovanje u različitim vremenskim razdobljima. Voda, kao i vegetacija, oblikuju površinska te podzemna svojstva padina klimatskim utjecajima, razvojem samog tla te erozijom. Posljedično, ti procesi kontroliraju putove toka vode u tlu. Distribucija vode u tlu ima jaki utjecaj na vegetaciju, no isto tako vegetacija povratno utječe na dinamiku toka vode u tlu. Premda svi procesi imaju međusobne utjecaje, njihova međusobna djelovanja tek su nedavno postala predmet intenzivnijeg istraživanja. U ovom je radu pažnja usmjerena na određivanje količine vode u tlu, točnije u padinskom tlu, pomoću senzorske tehnologije. Postoji nekoliko vrsta senzora pomoću kojih se mjeri vlaga u tlu, temperatura tla, električne provodljivosti tla te pH vrijednost tla, što će detaljnije biti objašnjeno u nastavku rada.

### 1.1. Cilj rada

Cilj ovog diplomskog rada jest odrediti razlike u količini vode u tlu primjenom senzora koji se nalaze na tri različite pozicije, a to su vrh, sredina i dno padine, na četiri različite dubine.

## 2. PREGLED LITERATURE

### 2.1. Značajke padinske poljoprivrede

Lokalne heterogenosti izrazito su važne pri karakterizaciji padinskih poljoprivrednih tala. Lokalne heterogenosti potiču procese preferencijalnog toka vode koja se nalazi u tlu, a isto tako i neujednačeno vlaženje tla, kao i nelinearnu distribuciju gnojiva i pesticida u agroekosustavima. Jedan od procesa koji negativno utječe na kvalitetu samog tla, kao i vodnih resursa, je erozija. Erozija je dugotrajni proces koji ovisi o nekoliko čimbenika, a to su nagib padine, karakteristike tla, intenzitet te količina oborina i biljni pokrov (Topić i sur., 2017.). Navedeni proces odvija se na način da se pod utjecajem vode i/ili vjetra dio čestica odvaja od površine tla te se premješta na veću ili manju udaljenost (Kisić, 2016.). Shodno tome, tlo je jedan od najsnažnije degradiranih elemenata koji se nalazi u prirodi. Erozija poljoprivrednih tala u potpunosti se smatra štetnim učinkom, što dokazuju i razne negativne implikacije koje su svrstane u nekoliko osnovnih činjenica. Prvenstveno, nagib terena i erozija utječu na gubitak vrijednog površinskog sloja tla unutar kojeg se nalaze najveće količine hranjivih tvari koje direktno utječu na rast te prinos kultura (Ritter, 2012.). Organske tvari, kao i mineralna gnojiva, gube se erozijskim odnošenjem na niže, odnosno donje dijelove padina gdje se zatim akumuliraju. Nadalje, što se tiče nastanka novog tla, potrebno je naglasiti kako je taj proces, uspoređujući ga s erozijom, puno sporiji. Procesom erozije dolazi do degradacije tla na kojem taj proces započinje. Osim navedenog, dolazi i do degradacije površine na kojoj se taloži erodirani materijal. Šteta koja je vidljiva na poljoprivrednim tlima nije jedina jer se na taj način onečišćuju i jezera, rijeke te mora, kroz procjeđivanje i otjecanje pesticida ili visoko koncentrirana hraniva i slično. Sukladno navedenom, erodirano je tlo najveći svjetski polutant površinske vode što dokazuju i izračuni čiji rezultati pokazuju kako se u oceane izliva preko 20 milijardi tona erozijskog materijala na godišnjoj razini. Stupanj erozije tla ovisi o utjecajnim čimbenicima, a to su (Topić i sur., 2017.):

- vrsta i intenzitet oborina
- površinsko otjecanje
- vjetar
- nagib terena i tlo
- biljni materijal
- mjere zaštite tla

Ovaj se proces odvija kroz tri faze, a to su (Topić i sur., 2017.):

1. Odvajanje pojedinih čestica od mase tla
2. Prenošenje erozijskog materijala vodom ili vjetrom
3. Taloženje

Što se tiče nagnutih terena, veći degradacijski efekt ima vodena erozija. Jedinica mase ili jedinica volumena po jedinici površine u jedinici vremena izražavaju stupanj gubitka tla. Postoji nekoliko osnovnih skupina u koje je podijeljena erozija tla vodom (Kisić, 2016.):

- erozija uzrokovana udarom kišnih kapi
- erozija uzrokovana otjecanjem
- međubrazna erozija
- brazdasta erozija
- bujična/jaružna erozija

Izraženi reljef predstavlja temeljni uzrok erozije tla. Upravo zbog toga obrada poljoprivrednih tala mora biti vođena osnovnim principima u skladu s podjelom površina prema reljefu. Na poljoprivrednim tlima s nagibom do 3° nema opasnosti od erozijskih procesa te se tlo može koristiti za uzgoj svih kultura. Kada je riječ o terenu s nagibom od 7° do 15°, potrebno je oblikovati terasu na kojoj se uzgajaju pretežito drvenaste kulture. Nadalje, kod nagiba od 15° do 40° potrebno je oblikovati strme terase na kojima se mogu uzgajati vinogradi, a često služe i kao šume te permanentni travnjaci. Prema nagibu terena na kojoj se terase podižu razlikuju se tri kategorije terasa, a to su (Aničić i Perica, 2003.):

1. Terasa čija se gradnja izvodi na padinama gdje je nagib od 13 do 44%
2. Terasa čija se gradnja izvodi za uzgoj vinove loze
3. Terasa čija se gradnja izvodi na padinama gdje je nagib iznad 44%

Većinom su tla gdje je nagib iznad 40° šume, stoga se ne poduzimaju mjere zaštite od erozije (Špoljar, 2016.). S obzirom na to da su mjere kojima se provodi borba protiv erozije poprilično složene i skupe, nerijetko se događa da se one zapravo i ne provode. Na slici 2.1.1. nalazi se shematski prikaz iskorištavanja tla prema stupnju nagiba.



Slika 2.1.1 Shematski prikaz iskorištavanja tla prema stupnju nagiba

Izvor: Jug, I. (2013.), Izbor i uređenje terena pred zasnivanje trajnih nasada,

[http://pedologija.com.hr/Literatura/Zem\\_resursi/Izbor%20i%20uredjenje%20terena.pdf](http://pedologija.com.hr/Literatura/Zem_resursi/Izbor%20i%20uredjenje%20terena.pdf) (28.06.2021)

Voda u trodijelnom sastavu tla predstavlja važan utjecaj na fizikalno-mehaničke karakteristike tla. Primjerice, kod kapilarnog dizanja i bubrenja, kod tečenja vode niz kosine kroz razne brane te ispod građevina, kod dodatnih slijeganja građevina što je izazvano promjenom razine podzemne vode ili pak stabilnosti pijeska prilikom potresa te pojavljivanja likvefakcije (Petrinjak i sur., 2018.).

Voda u tlu se najčešće javlja u tekućoj fazi, a postoje dva osnovna pravca prema kojima voda provodi svoje djelovanje. Ona ima svoje djelovanje u svim procesima koji dovode do stvaranja tla, a to su (Petrinjak i sur., 2018.):

- trošenje minerala
- stvaranje gline
- razgradnja organskih tvari
- ispiranje tvari i dr.

Voda u tlu ima nekoliko uloga, a to su (Petrinjak i sur., 2018.):

- sudjelovanje u fizikalno-kemijskim procesima trošenja minerala
- sudjelovanje u sintezi sekundarnih minerala
- sudjelovanje u sintezi te mineralizaciji organske tvari
- pH vrijednost te redoks potencijal ovisni su o količini vode u tlu
- utjecaj na temperaturni režim tla
- salinizacija i alkalizacija tla.

U tlu postoji nekoliko oblika vode (Madjar i Šoštarić, 2009.):

- kemijski vezana voda – nije pristupačna biljci; ukoliko u obliku  $H^+$  i  $OH^-$  ulazi u sustav različitih minerala naziva se kristalnom vodom, a ukoliko je vezana za minerale kao molekula naziva se konstitucijska voda
- higroskopna voda – higroskopicitetom dolazi do navlačenja relativne vlage iz zraka na čestice tla; u tlu se drži pod velikim tlakom (30 bara i više) s obzirom na to da je biljkama točka venuća na oko 15 bara
- filmska ili opnena voda – obavija čestice tla i nastavlja se na higroskopnu vodu; ovaj oblik vode može se podijeliti na nepokretnu filmsku vodu koja nije pristupačna biljkama i odgovara dvostrukoj vrijednosti higroskopiciteta te na pokretnu filmsku vodu koja je pristupačna biljkama te je opna vode dovoljno izražena kako bi se voda mogla kretati
- kapilarna voda – nastavlja se na opnenu filmsku vodu te ispunjava kapilarne pore. Karakterizira ju visoka pokretnost u svim smjerovima i pristupačnost za biljke te je radi navedenog od velike važnosti za poljoprivredu
- gravitacijska ili procjedna voda – cijedi se pod utjecajem gravitacijske sile kroz makropore tla.

## 2.2. Hidrološki procesi na padinskim tlima

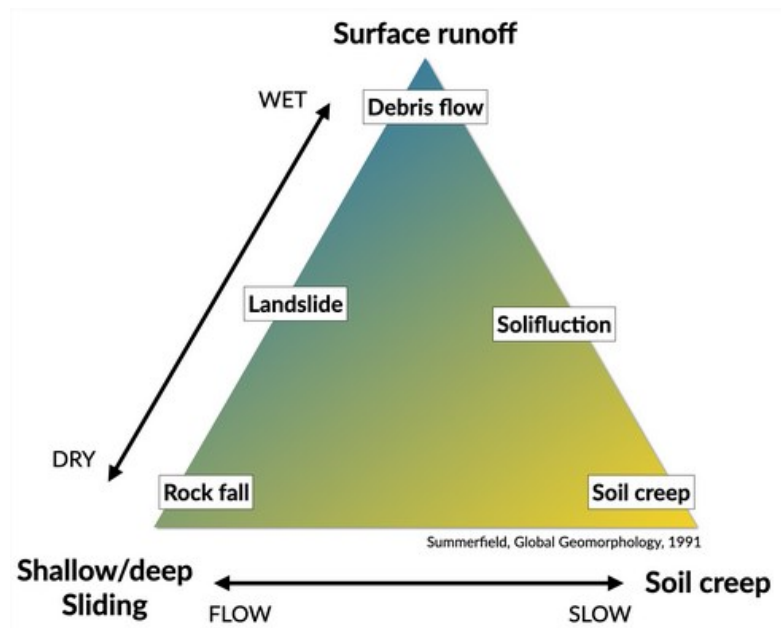
Brežuljci, odnosno padine predstavljaju gotovo 90% kopnene površine. Kretanje tla nizbrdo u brdsko-planinskim regijama dugoročno može imati presudnu ulogu u upravljanju brzinom kojom se krajolik kroz vrijeme razvija. Premda se nerijetko smatra kako usjek rijeke pokreće reakciju krajolika na klimatske i tektonske promjene, procesi erozije padina proizvode i dovode sedimente u kanale pri čemu utječu na stope usjeka rijeke. Kako bi se razumjele klimatske promjene, valja uzeti u obzir vremenske utjecaje te transportne procese na padinama (Huggett, 2011.).

Padine su sastavni dio krajolika koji dovode vodu i sedimente u potoke i ostale oblike površinskih voda. Padine stvaraju katene, odnosno povezane sekvence koje se protežu od drenažnog dijela pa do dna doline. Uzimajući u obzir klimu, vegetaciju, litologiju te geološku strukturu, odnosno njihovu različitost prema mjestu pojavljivanja, nije začuđujuća činjenica da se padine pojavljuju u raznim oblicima i segmentima. No, bez obzira na različitost, istraživanja pokazuju kako postoje područja koja imaju karakterističan oblik padine prema kojem se određuje izgled terena. Takve padine su većinom u uravnoteženom stanju te pod određenim ograničenjima, kao što su stijene i klima (Huggett, 2011.).

Padine mogu biti u obliku stjenovitih površina te ih tlo može prekriti. Padine koje su prekrivene regolitom, odnosno tlom, s eventualno ponekom izloženom stijenom, češći su tip padina.

Padinsko tlo nastaje pod utjecajem gravitacije, sunčevog zračenja, oborina (krute i otopljene tvari koje se nalaze u atmosferi) i vlage. Izlazi sedimenta na padini događaju se putem evapotranspiracije, pročišćavanjem vode te kretanjem otopljenih tvari u tlo, kao i uklanjanjem sedimenata raznim utjecajima. Ostatak sedimenata koji izlaze iz sustava kontroliraju se dostupnošću erozijskih mehanizama koji se nakupljaju na površini padine, odnosno na dnu. Primjerice, u dnu padine nalazi se potok koji potiče uklanjanje taloga čije se kretanje događa nizbrdo. Ukoliko je ispušt potoka nedovoljno velik za podnošenje ostataka, talog će se nakupiti na dnu padine. Brojni su čimbenici koji utječu na veličinu ulaza, odnosno izlaza sedimenta na padinama, a ti čimbenici uključuju geologiju temeljnih stijena, klimu te prirodu padine koja vodi do šire površine. Između ulaza i izlaza je ravnoteža čiji je zadatak vršiti kontrolu nad oblikovanjem padine koja je u razvoju (Pidwirny, 2006.).

Gravitacija, voda te promjene temperature predstavljaju tri sile koje čine padinski proces. Također, treba navesti kako i u nekim situacijama djelovanja biljaka i životinja ima svoje djelovanje. Padine imaju nagibe koji služe za transport materijala s vrha padina prema dnu. Transport može biti izravan, uključujući samo gravitaciju, ili uključuje i vodu koja se kreće niz padinu. Gravitacija može prenijeti materijal u padu ukoliko je otpor materijala na njegovo zadržavanje nedovoljno. Vrlo slično, voda koja teče dužinom cijele površine nosi čestice tla te samim time ima potencijal donijeti materijal. Kada gradijent padne ispod kritične razine kako bi se materijal zadržao u transportu, dolazi do procesa taloženja. Na slici 2.2.1 u nastavku slijedi prikaz padinskog procesa (Huggett, 2011.).



Slika 2.2.1 Padinski proces

Izvor: Hillslope proces,

<https://earthsurface.readthedocs.io/en/latest/hillslope.html> (03.07.2021.)

Postoji nekoliko procesa na padini koji služe u transportu regolita te ostalih materijala od vremenskih utjecaja. Njihovo kretanje može biti sporo i kontinuirano te brzo i isprekidano.



### 2.3. Primjena navodnjavanja na padini

Navodnjavanje je proces, odnosno mjera gdje se nastoje nadopuniti prirodne oborine u trenutku kada za vrijeme vegetacije nema dovoljno vode u tlu te se rast i razvoj uzgajanih kultura ne može odvijati. Navodnjavanje je u suvremenoj poljoprivredi vrlo važno, a osobito na onim površinama na kojima je odvodnja regulirana. Pri pravilnoj izvedbi navodnjavanja ostvaruje se napredniji uzgoj koji doprinosi visokim i kvalitetnim prinosima (Kantoci, 2012.). Na razini Europske unije, potrošnja vode na poljoprivredu iznosi u prosjeku 44% od ukupne potrošnje (EEA, 2015.). Postoje i neki negativni utjecaji navodnjavanja koji se ističu u Europskoj uniji (EEA, 2015.):

- povećanje erozije na površinama koje se nalaze na padinama
- onečišćenje mineralima i povećanje slanosti tla iz podzemnih voda
- sniženje razine podzemne vode – isušivanje jezera i slično
- onečišćenje vode hranjivima te pesticidima
- oštećivanje staništa – iscrpljivanje vodonosnika na način crpljenja vode u svrhu navodnjavanja
- zamjena visoko vrijednih polu-prirodnih sustava s intenzivnim oblicima navodnjavanja

No, navodnjavanje može doprinijeti povećanju bioraznolikosti putem stvaranja novih staništa. Primjerice, kod navodnjavanja vinograda najčešće upotrebljavana metoda navodnjavanja je površinsko navodnjavanje. Među redovima se izvlači jedna ili nekoliko brazda dubine 15 do 20 cm i to na svakih 60 do 80 cm. Nakon navodnjavanja i nakon što se voda upije te se tlo posuši, brazde se zatvaraju (Pokos-Nemec, 2008.). Što se tiče navodnjavanja kišenjem, ono se može upotrebljavati i protiv mraza. Ipak, najčešće se upotrebljava navodnjavanje kapanjem. Kao najznačajnija prednost prilikom navodnjavanja kapanjem svakako postoji mogućnost da se istovremeno s navodnjavanjem primjenjuju i tekuća gnojiva. Kod tla gdje nagib prelazi 5%, vrlo je važno primijeniti kapaljke koje imaju kompenzirajući pritisak koji osiguravaju ujednačenu distribuciju vode na početku i na kraju reda u vinogradima. U onim vinogradarskim nasadima koji se nalaze na padinskim područjima gdje je razina vjetrova vrlo visoka, ne preporučuje se navodnjavanje mini-rasprskivačima (Kantoci, 2012.).

Proces gnojidbe ima značajan utjecaj na kvalitetu i visinu prinosa i to promjenama količina, dinamike i odnosa raspoloživih biljnih hraniva, bez obzira unosi li se u tlo u rizosferi ili direktno u nadzemnim dijelovima biljke putem folijarne aplikacije. U situaciji kad je raspoloživost hraniva nedovoljna prije gnojidbe i činitelj proizvodnje je limitirajući, gnojidba doprinosi povećanju prinosa. No, kada je raspoloživost hraniva dovoljna prije gnojidbe te činitelj proizvodnje nije bio limitirajući, gnojidba ne povećava prinos, no može doprinijeti pozitivnom utjecaju na samu kvalitetu prinosa (Lončarić, 2015.).

Proces gnojidbe ima velik utjecaj na plodnost tla, kao i na stabilnost prinosa. Te su dvije karakteristike povezane – naime, veća plodnost tla dovodi do veće raspoloživosti hraniva. Također, treba naglasiti da tlo tako ima veću sposobnost da neutralizira nepovoljne prirodne utjecaje, poput suše u ljeti te nepovoljne utjecaje uzrokovane suvišnom ili nedostatnom

gnojdbom, a na taj se način postiže stabilnost prinosa. Što je tlo manje plodno to je manja sposobnost da neutralizira pogrešan proces gnojidbe. Razlog tome jest taj što nema mogućnost osigurati dovoljno raspoloživih hraniva putem procesa mobilizacije, a isto tako nema mogućnost adsorbirati hraniva koja su prekomjerno dodana. Ukoliko se dogodi da je nedostatna gnojidba, odnosno izostanak gnojidbe siromašnih tla učestali, u tom će slučaju doći do degradacije tla, padom plodnosti i padom raspoloživosti hraniva (Lončarić, 2015.). S druge strane, optimalno gnojenje siromašnih tala doprinosi rastu plodnosti tla te rastu raspoloživih hraniva.

Kao jedan od značajnih aspekta održivosti poljoprivredne proizvodnje i očuvanja okoliša je opterećenje okoliša poljoprivredom. Pod značajno ekološko opterećenje pripada prekomjerna gnojidba s fosforom i dušikom, no isto tako, opterećenje može biti i zbog vremenski neodgovarajuće gnojidbe, neodgovarajuće primjene aplikacije gnojiva te neodgovarajućih oblika hraniva. Sve navedene posljedice proizašle su iz toga što je raspoloživost hraniva veća u odnosu na sezonske potrebe usjeva te nepotrebnih gubitaka hraniva (Lončarić, 2015.).

Vinogradi su primjer nasada koji se često uzgajaju na iznimno propusnim tlima i na takvim tlima vrlo često dolazi do ispiranja hranjiva. Sukladno tome, preporučuje se da se u osnovna i dopunska gnojiva ukupne količine potrebnih mineralnih gnojiva dodaju dušična gnojiva i to u više obroka. Primjena gnojiva, odnosno osnovna gnojidba odvija se u jesen kada se i obrađuje vinograd, dok se dopunska gnojidba provodi u proljeće te za vrijeme vegetacije (Kantoci, 2008.).

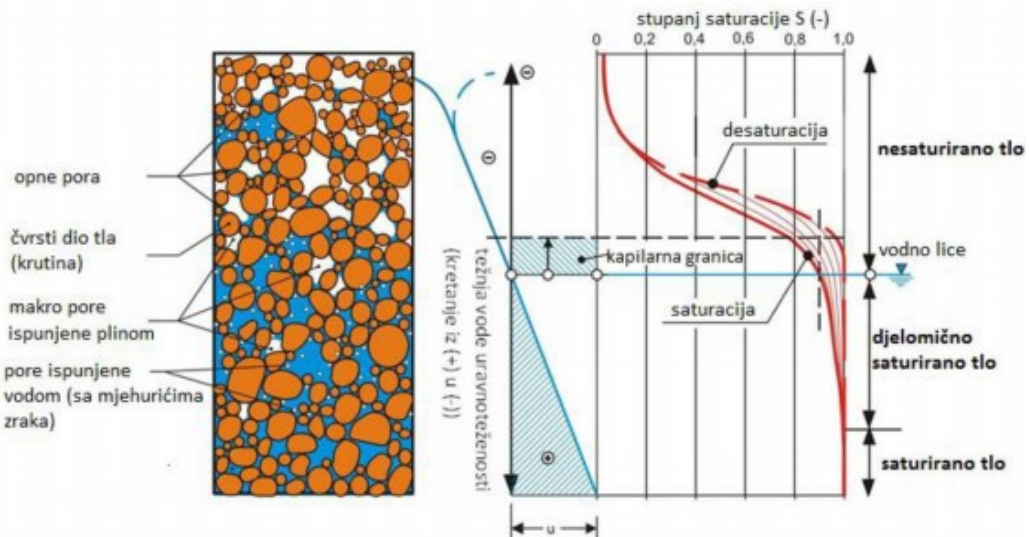
## 2.4. Kretanje vode u tlu

Gibanje, odnosno kretanje vode u tlu odvija se kroz zasićeno, odnosno saturirano tlo i nezasićeno, odnosno nesaturirano tlo. Brzina, kao i smjer kretanja određeno je od strane agregatnog stanja vode, količine vode, strukture, teksture i poroznosti tla te sadržaja organske tvari koja je u tlu i sili koja stvara kretanje (Mustać, 2015.). Postoje tri temeljna oblika kretanja vode u tekućem obliku, a to su (Šimunić, 2013.):

1. Kapilarno kretanje vode – iz područja veće vlažnosti u područje manje vlažnosti
2. Infiltracija – neuravnoteženo upijanje bočnim i vertikalnim kretanjem u nezasićeno tlo, utjecajem kapilarnih sila, osmotskih sila te sile gravitacije
3. Filtracija – utjecajem gravitacije dolazi do procjeđivanja viška vode iz zasićenog tla u dublje slojeve putem makropora tla

Gjetvaj (2006.) navodi kako je tok u nezasićenom tlu vertikalalan, dok je u zasićenom horizontalan. Voda se u tlu može kretati u svim mogućim smjerovima, a ono može biti descendentno, ascendentno te lateralno. Kretanje vode uzrokovano je kapilarnim silama, silom gravitacije te hidrostatskim tlakom, dok na smjer kretanja utječe sila kohezije koja se događa u kapilarama tla. Prilikom procesa navodnjavanja tla ili prirodnog vlaženja tla putem oborina, kretanje vode događa se prema dolje, odnosno descendentno, dok se tijekom kapilarnog vlaženja putem podzemne vode, voda kreće ascendentno, odnosno prema gore. Prilikom bočnog, odnosno lateralnog kretanja vode dolazi do vlaženja u svim smjerovima.

Prema Mustaću (2015.), saturirana i nesaturirana zona dijeli se na granici koja se zove vodno lice. Sve pore koje se nalaze ispod granice vodnog lica u tlu ispunjene su vodom, a takvo se područje naziva potpuno zasićeno područje. S druge strane, pore koje se nalaze iznad granice vodnog lica ispunjene su vodom samo djelomično, no mogu biti i u potpunosti te se to područje naziva kapilarnom zonom. Nadalje, područje adhezijske vode nalazi se iznad područja kapilarne zone, a ondje se voda u tankom sloju veže za čvrste čestice tla te se to područje dijeli na područje higroskopne vlage i membranske vlage. Mustać (2015.) navodi kako su pore tla u adhezijskom području ispunjene zrakom i vodenom parom stoga se područje koje se nalazi iznad kapilarne zone naziva još i nezasićenom zonom tla. Kretanje vode koje se događa u području adhezijske membranske vode potaknuto je termodinamičkim, kapilarnim te elektrostatičkim silama, dok utjecaj na kretanje vode u području higroskopne vlage ima samo termodinamička sila (Jović, 2006.). U nastavku slijedi slika (2.4.1) na kojoj je prikazan presjek tla s vidljivom strukturom obzirom na sustav pora.



Slika 2.4.1 Presjek tla s vidljivom strukturom obzirom na sustav pora  
 Izvor: Kohler, J. (2016), Geotechnical Engineering,  
<http://blog.hj-koehler.de/boden-unter-wasser/> (28.06.2021.)

Različita je količina kinetičke i potencijalne energije vode u tlu. Premda je kretanje vode u tlu poprilično sporo, može se reći kako je kinetička energija zanemariva. Što se tiče potencijalne energije, ona se određuje sukladno položaju tijela u polju sila, kao i unutarnjem stanju stvari. Potencijalna je energija važna prilikom karakteriziranja stanja vode u tlu. Kretanjem vode iz područja gdje je potencijalna energija visoka u područja gdje je mala, postiže se uravnoteženost vode u tlu (Or i Wraith, 1997.). Vodni se potencijal iskazuje u obliku potencijalne energije po jedinici volumena vode iz uzorka tla. Vodni potencijal tako čine četiri potencijala, a to su gravitacijski, matrični, osmotski i tlačni potencijal (Or i Wraith, 1997.).

U tlu tok vode može biti ujednačen bez ikakvih karakterističnih promjena toka s vremenom, odnosno može biti stacioniran, a isto tako i nestacioniran te zasićen te nezasićen i nestacioniran. Tok koji je nestacioniran i nezasićen je najčešći oblik toka koji se događa u prirodnim uvjetima (Or i Wraith, 1997.).

## 2.5. Struktura i tekstura tla

Struktura tla prikazuje kako su temeljne čestice – prah, pijesak i glina, povezane u veće grudice, odnosno u strukturne agregate. Strukturni agregati značajno utječu na mogućnost kretanja vode i zraka kroz samo tlo (npr. Karažija, 2015.). No isto tako, ima značajan utjecaj i na ukorjenjivanje biljnih kultura, kao i na aktivnost mikroorganizama koji se nalaze u tlu. Što se tiče teksture, ona podrazumijeva relativan omjer između mehaničkih čestica tla, a to su prah, pijesak i glina. Pijesak predstavlja grublje mineralne čestice koje mogu biti razne veličine te su vidljive golim okom. Ona tla čiji je udio pijeska veći, većinom su rastresita i dreniranost je povoljnija. No, kod takvih tala je kapacitet za vodu smanjen. Prah je sitnija čestica od pijeska, glatka je te nije vidljiva golim okom. Tla gdje je udio praha povećan propusnost za vodu je

smanjena. Takva tla zadržavaju hraniva, a ujedno su zbog utjecaja vode i vjetra sklona eroziji. Glina je najfinija čestica tla, a kada je u suhom stanju iznimno je glatka, dok je u mokrom vrlo ljepljiva i klizava. Ona tla koja su bogata glinom imaju mogućnost zadržavati znatne količine hraniva i to radi koloida koji povećavaju aktivnu površinu. No, kod takvih je tla kretanje vode i zraka vrlo otežano. Ujedno, nedostatak glinovitih tla jest ta što su prilikom suše, odnosno nedostatka vode sklona pucanju (npr., Karažija, 2015.).

Tekstura tla ima utjecaj na potencijalnu erodibilnost tla. Drugim riječima, što je grublja tekstura tla to je manja aktivna površina čestica tla, a to smanjuje otpornost tla na eroziju. S dubinom tla se mijenja i tekstura tla no, tekstura površinskog horizonta tla predstavlja temeljni faktor prilikom erozije vodom. Obzirom na erozijski utjecaj na teksturu, količine gline i praha veće su na gornjim površinama padine, a na donjim je dijelovima više pijeska (Bašić i sur., 2002.). Također, tekstura tla ima utjecaj na infiltraciju, a i sto tako i na stabilnost agregata i brzinu otjecanja. Tla čija je tekstura pjeskovita, ilovasta te pjeskovito ilovasta manje su sklona eroziji za razliku od tla čija je tekstura praškasta te je udio gline veći (Ritter i Eng., 2012.). Poesen (1993.) je otkrio da se muljevito ilovasto tlo opire agregatnom raspadu i održava visoku stopu infiltracije. Glavnu ulogu kod stabilnosti agregata ima sadržaj gline. Primjerice, istraživanja su pokazala da tla čiji udio gline iznosi od 10 do 30%, dovodi do slabije stabilnih agregata koji su se pomoću simulirane kiše raspršili i tako se stvorilo lako erodirajuće tlo s površinskom pokoricom te je rezultiralo smanjenom poroznosti samog tla. Nadalje, tla čiji je udio gline manji od 10%, uz utjecaj kišnih kapi glina nije bila dostatna kako bi se uspjele zatvoriti pore tla. To je dovelo do niskog potencijala erozije te do visoke stope infiltracije. Kod tla čiji je sadržaj gline iznad 30% dolazi do pružanja dovoljne agregatne stabilnosti čime se uspjeva spriječiti raspršivanje agregata, kao i začepljenje pora tla prilikom simulacija kiše. Na taj se način uspjeva smanjiti potencijal erozije, odvajanje i tok vode. Tlo koje je muljevito održava visoku stopu infiltracije te se suprotstavlja agregatnom raspadu. Istraživanja su pokazala kako je pijesak, od svih mehaničkih čestica tla, čestica koja ima najnižu koheziju, posjeduje najveću stopu disperzije čestica tla prilikom raspršivanja energije kišnih kapi po površini tla. Nakon pijeska slijedi glina te potom ilovača (Quansah, 1981.).

## **2.6. Senzorska tehnologija**

Kako bi provođenje agrotehničkih mjera bilo uspješnije, važno je biti upoznat s pojmom vlage tla. Znanje o vlažnosti tla ne samo da doprinosi boljim rezultatima poljoprivredne proizvodnje već i razvodnoj hidrologiji, predviđanju klizišta tla, predviđanju poplava, kao i drugih eko-sistemskih sustava. Koliko je vlažnost tla bitna u poljoprivredi govori i činjenica da je upravo ona najveći potrošač vode s čak 70% udjela u cjelokupnom korištenju vode. Budući da se u svijetu počelo intenzivnije razmišljati i raditi na efikasnijem korištenju vode, potaklo se razvijanje proksimalnog senzora kojim bi se određivala vlaga u tlu u svrhu poboljšanja opreme koja se koristi u poljoprivredi, preciznog navodnjavanja, kao i generalnog reguliranja statusa vlage tla. Ti se senzori mogu svrstati kao stacionarni, a uključuju invazivne, odnosno ukopane senzore ili neinvazivne senzore. Neinvazivni senzor ima mogućnost raditi na tlu, no može se staviti na vozilo te tako generirati prostornu distribuciju vlage tla (Hardie, 2020.).

Može se reći kako upotreba senzorske tehnologije još uvijek nije na željenoj razini, a slaba stopa korištenja pripisuje se kombinaciji operativnih ograničenja te ograničenja tla. Operativna ograničenja podrazumijevaju troškove, interpretaciju, obujam podataka, slabiji kontakt senzora i tla, slabu mogućnost prijenosa, mali volumen mjerenja, rizik od oštećenja elektroničkih komponenata, probleme nastale prilikom instalacije i slično. Ograničenja tla, s druge strane podrazumijevaju potencijalne greške, kvarove senzora na slanim, željezom ili organskom tvari bogatim tlima, a ponekad se zahtjeva i specifična kalibracija pomoću koje se postiže željena preciznost. Postoji mali broj pouzdanih tehnologija u poljoprivredi kojima se može promatrati vlažnost tla, a to su (Hardie, 2020.):

- frekvencijska reflektometrijska metoda (FDR)
- gipsani blok senzor
- vremenska reflektometrijska metoda (TDR)
- amplitudna reflektometrijska metoda (ADR)
- neutronske mjerače

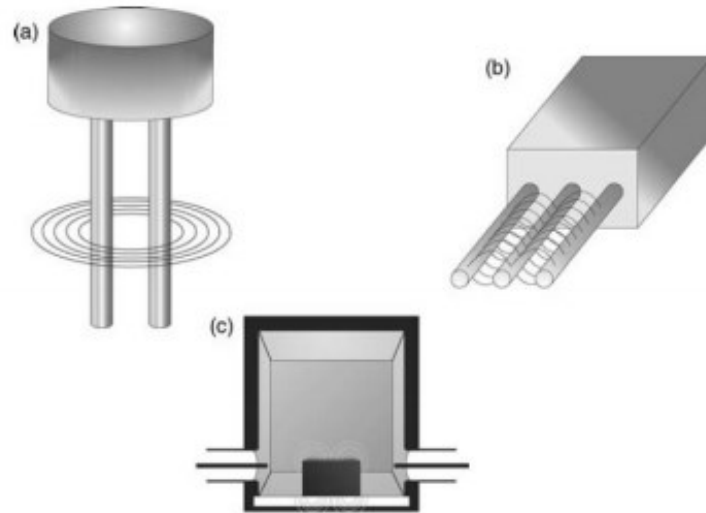
Većina novih senzora koji su dostupni tržištu unatrag 5-10 godina, proizvedena su temeljem postojećih dielektričnih tehnika, od čega je većina bazirana na FDR tehnologiji. Vrlo je malo novih metoda za mjerenje vlažnosti tla koji su se adaptirali u svrhu korištenja u poljoprivredi (Hardie, 2020.).

## 2.7. Invazivni senzori mjerenja vlage u tlu

Velik broj senzora kojim se mjeri vlažnost tla oslanja se na mjerenja elektromagnetne relativne permitivnosti. Dielektrična konstanta predstavlja kompleksni fenomen, a sadrži imaginarnu te stvarnu komponentu. Voda je polarna molekula te je izravno povezana sa sastavom vlage, a stvarna se komponenta pojavljuje kao indikator polarizacije. S druge strane, imaginarna komponenta ima zadatak obuhvatiti greške koje se javljaju prilikom mjerenja dielektrične konstante koja je povezana sa tlom, a povezuje se s gubitkom energije ili sa dielektričnim opuštanjem koje se događa zbog prigušenih elektromagnetskih valova koji prolaze tlom. Proporcija vode ima utjecaj na stvarnu komponentu, dok na imaginarnu komponentu utječe salinitet, temperatura, količina gline, organski spojevi i poroznost tla (Hardie, 2020.).

Kako bi se poboljšao razvitak senzora, nastoji se fokusirati na mjerenje stvarnog dijela permitiviteta na način da se koriste frekvencije od 100 ili više MHz kako bi se minimalizirale greške po pitanju imaginarne komponente. Da bi se izmjerila vlaga tla, razvio se niz pristupa poput električnog kapaciteta, FDR, TDR i ADR tehnologija (Hardie, 2020.).

Slika 2.7.1 prikazuje senzore koji pomoću visokih frekvencija mjere vlagu, a mjerni su parametri različiti.



**Slika 2.7.1 Mjerenje vlage pomoću visokih frekvencija čiji su mjerni parametri različiti**  
Izvor: R. Wernecke and J. Wernecke (2014), *Industrial Moisture and Humidity Measurement*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Na slici 2.7.1 pod točkom (a) prikazano je mjerenje razlike u dužini trajanja, odnosno metoda TDR, zatim točka (b) prikazuje mjerenje razlike u frekvenciji, to jest metodu FDR, dok točka (c) prikazuje mjerenje neusklađenosti oscilirajućeg kruga, odnosno rezonatorsku metodu.

Vremenska reflektometrijska metoda, odnosno TDR, predstavlja noviju i preciznu metodu kojom se određuje vlaga u tlu (Haman i Yeager, 2003.). Obzirom na visoku cijenu, kao i na kompleksnu valnu analizu kojom bi se odredila vlažnost tla, upotreba ovih senzora u poljoprivredi je ograničena. No, valja naglasiti kako se cijena i veličina TDR senzora smanjila na način da se počela upotrebljavati jeftinija elektronika masovne proizvodnje. Ovaj senzor je najpouzdaniji, te radi na principu praćenja vremena koje je potrebno da bi elektromagnetni signal prošao kroz čelične igle koji su zbijeni u tlo i reflektirao se nazad prema receptoru. Dielektrična konstanta uzrokuje razliku u vremenu koja je potrebna da se signal vrati, a na nju utječe sadržaj vode u tlu gdje je postavljen senzor. TDR senzor potrebno je s vremena na vrijeme umjeravati kako bi zadržao svoju maksimalnu preciznost mjerenja. Neke od prednosti koje nudi ovaj senzor su preciznost, neobavezno umjeravanje određenih tipova tla, remećenje strukture tla je minimalno, promjena pH vrijednosti je gotovo neosjetljiva te se istovremeno može mjeriti EC tla. S druge strane TDR senzori ima i određene nedostatke, kao što su potencijalno ograničena promjenjivost kod visokog sadržaja soli ili kod teških glinenih tala, relativno skupa oprema, potrebno obavezno umjeravanje za tla čija je količina vezane vode već te mala osjetljivost po pitanju promjena u sadržaju vlažnosti tla (Munoz-Carpena, 2004.). TDR metoda je nedestruktivna i nije značajna ovisna o temperaturi, gustoći i teksturi tla. U nastavku slijedi primjer TDR uređaja kojim se mjeri vlažnost tla (Slika 2.7.2).



Slika 2.7.2 TDR 300 - uređaj za mjerenje vlage

Izvor: Agrologistika,

<https://agrologistika.hr/hr-HR/mjerni-instrumenti/vlagomjeri/vlagomjeri-za-tlo/tdr-300-vlagomjer-za-tlo> (09.07.2021.)

Obzirom na visoku cijenu TDR senzora, razvili su se alternativni i jeftiniji niskofrekvencijski senzori s 10-150 MHz. To su frekvencijski dominantni reflektometri (FDR). FDR senzori indirektno mjere sadržaj vlage koja se nalazi u tlu i to na način da određuju skupne dielektrične konstante iz varijacija frekvencije elektromagnetskog impulsa koji se širi po tlu. Obzirom na niže radne frekvencije, zamišljena komponenta može imati veliki značaj, stoga su FDR senzori podložniji greškama koje su prouzrokovane teksturom tla, kao i električnom vodljivosti i nastalom temperaturom TDR senzora. Kod postavljanja FDR senzora također je važna pripaziti na moguće zračne praznine između tla i senzora (Hardie, 2020.). TDR metoda se prema Evett-u i sur., (2011.) preporučuje kod proučavanja bilance vode, evapotranspiracije te učinkovitosti iskorištenja vode. U odnosu na lizimetar te direktno mjerenje sadržaja vode, putem TDR metode se štedi na vremenu, a ujedno je i povoljnije. Slika 2.7.3 prikazuje primjer FDR senzora.



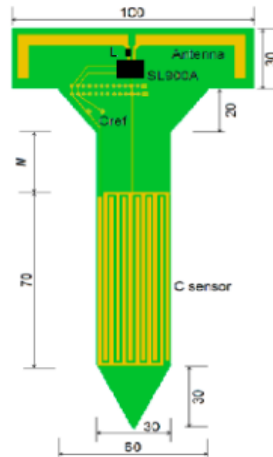
Slika 2.7.3 MP-508C - FDR senzor

Izvor: Smart weather sensors,

<http://ba.smartweathersensor.com/agriculture-and-soil-sensors/soil-moisture-temperature-sensor.html> (09.07.2021)



Nadalje, postoje radiofrekventna identifikacija, poznatija i kao RFID. Ovakvi sustavi za ultrafrekvencijsku radiofrekvencijsku identifikaciju djeluju u rasponu frekvencija koja iznosi 120 kHz unutar mikrovalnih opsega do 10 GHz gdje se automatski prepoznaju i mjere označeni predmeti. RFID je vrlo povoljan u pogledu na praćenje vlažnosti tla imajući na umu da su pojedinačni senzori prilično jeftini. Oni mogu biti pasivni te imaju mogućnost komuniciranja na udaljenostima od par metara. RFID oznake koje su pasivne funkcioniraju na način da upotrebljavaju dio energije stvorene od strane čitača kojim se jedinstveno provodi identifikacija te analogni izlaz napona koji se upotrebljava kao napajanje vanjske elektronike, primjerice senzor manje snage (Hardie, 2020.). Na slici 2.7.4 prikazan je štapni senzor UHF RFID.



Slika 2.7.4 Štapni senzor UHF RFID

Izvor: Hardie, M.(2020), Tasmanian Institute of Agriculture, University of Tasmania, Hobart, TAS 7000, Australia. Sensors 2020, str. 4/23

Na slici 2.7.5 prikazan je primjer tenziometra za vlagu.



Slika 2.7.5 Tenziometar za mjerenje vlage u tlu

Izvor: Model Educa,

<https://model-educa.hr/ekologija-tla/952-tenziometar-za-tlo.html> (10.07.2021)

Tenziometrom se mjeri vodeni potencijal tla, a uključuje i vlažnost tla. Tenziometar funkcionira na način da se voda iz cijevi kreće kroz pore koje se nalaze na keramičkoj kapici ili kroz membrane u tlo sve dok se ne postigne uravnoteženost sile koja se odnosi na držanje vode u tlu i vakuuma koji se stvorio u cijevi (Hardie, 2020.).

Uz prethodno navedene, tu je još i invazivno otvorena mikrovalna antena. Frekvencija mikrovalne antene može biti u rasponu od 300 MHz do 300 GHz, a služe za daljinsko te proksimalno otkrivanje vlage u tlu. Takav način otkrivanja vlage u tlu provodi se mikrovalnim zračenjem koje uzrokuje rotaciju molekula vode koja stvara mjerljive promjene nastale zbog elektromagnetskih valova. U usporedbi s invazivnim sensorima TDR i FDR, senzori tla koji se baziraju na mikrovalovima imaju određene prednosti jer mogu mjeriti veću površinu, premda to ne mora nužno uključivati i volumen tla (Hardie, 2020.). Slika 2.7.6 prikazuje mikrovalnu antenu.



**Slika 2.7.6 Mikrovalna antena**

**Izvor: Hardie, M.(2020), Tasmanian Institute of Agriculture, University of Tasmania, Hobart, TAS 7000, Australia. Sensors 2020, str. 5/23**

Takvi senzori ne podliježu greškama koje su vezane uz male zračne praznine koje su moguće između senzora i tla. Također, takvi senzori mogu na više načina raspoređivati, što podrazumijeva i proksimalno invazivne, neinvazivne te udaljene konfiguracije. Uz razvoj mikrovalnih senzora vlage u tlu koji su usmjereni prema neinvazivnim mobilnim pristupima, nastojali su se razviti i otvoreni senzori na mikrovalnoj anteni (Hardie, 2020.).

## 2.8. Neinvazivni senzori vlage u tlu

Za razliku od invazivnih senzora, neinvazivna vrsta senzora vlage u tlu upotrebljava se za mobilno mapiranje vlage te za točkasti izvor. Neinvazivni senzori imaju mogućnost riješiti probleme koristeći male izmjerene volumene invazivnih senzora i to na način da ih pomiče te tako mjeri veće površine unutar realnih vremenskih okvira. Oni ujedno mogu djelovati i na tlima s visokim udjelom skeleta gdje u praksi ugradnja senzora nije moguća. Uz navedeno, njihovo je djelovanje moguće i na vertičnim tlima gdje invazivni senzori nerijetko tijekom sušenja izgube kontakt s tlom. No, kod uporabe neinvazivnih senzora javljaju se problemi po pitanju ograničenosti dubine prodiranja, zatim po pitanju odvajanja odgovora s različitih slojeva i dubina tla, promjenjivom dubinom prodiranja sa sadržajem vlage, a isto tako se zahtjeva vještina upravljanja uređajima, kao i obrada znatne količine podataka (Hardie, 2020.).

Postoje senzori kozmičkih zraka koji su dostupni, stacionirani su te mjere prirodno generirane neutrone, a oni nastaju kozmičkim zrakama i prolaze kroz atmosferu Zemlje. Oni se sastoje od pasivnog neutronske detektora koji je postavljen svega par metara iznad tla, a zadatak je mjeriti oslobađanje brzih neutrona u zrak iznad tla koje se događa nakon što se ti neutroni sudare s atomima vodika u tlu. Obzirom na neinvazivnost, ova vrsta senzora može biti prikladna za vertična tla, ali i za skeletna tla. No, u takvim je tlima postavljanje senzora otežano. Mjerni otisak senzora kozmičkih zraka je oko 260 do 600 m u radijusu. Postoje i dodatna ograničenja ove vrste senzora koja uključuju neprecizan i velik izmjereni volumen tla, mjerna trajanja su predugačka (4 sata), dubina mjerenja je promjenjiva te se kreće od otprilike 15 cm na vlažnom tlu te do gotovo 70 cm kada je tlo suho te su prisutne poteškoće prilikom izvođenja preciznih kalibracija (Hardie, 2020.).

Uz navedeno, postoje još i korištenje elektromagnetske indukcije – EMI, koje se koriste za mapiranje varijabilnosti tla, ili kod promjena u tipu tla. Unatoč navodima o prvotnoj namjeni, u posljednje se vrijeme sve više mapira varijabilnost vlažnosti tla. Provođenje EMI istraživanja relativno je brzo, neinvazivno te sadrži značajnu prostornu rezoluciju. Također, nisu potrebne značajne specijalizirane vještine, kao i znanje za obradu podataka. U odnosu na ostale dielektrične te mikrovalne pristupe, ova vrsta senzora nije direktno osjetljiva na sadržaj vode ili na vodikove ione. EMI senzori reagiraju na količinu iona koja se nalazi u otopini tla te u kojem povećani sadržaj vlage povećava broj i pokretljivost iona, a istodobno povećava i prividnu električnu vodljivost. EMI predstavlja neizravno sredstvo kojim se mjeri vlažnost tla, koja se, ukoliko se gleda prostorno i vremenski, poprilično razlikuje. Obzirom na potrebno vrijeme za provođenje rutinskog mjerenja vlažnosti tla, poljoprivrednici se rijetko odlučuju na ovu vrstu mjerenja (Hardie, 2020.).

Prijenosni optički pristupi još su jedna vrsta neinvazivnih senzora koji služe za mjerenja vlažnosti tla. Ti optički pristupi uključuju VIS-NIR, NIR i MIR. VIS-NIR služi za mjerenje svojstava tla što uključuje i vlažnost tla, a zbog svoje lake prenosivosti, veće tolerancije za pripremu uzorka i cijenu, vrlo je poželjan optički pristup. Primjena iznosi u rasponu od 400 do 1000 nm. Optički pristup NIR ima raspon od 800 do 2500 nm, a na mjerenje vlažnosti tla ovim pristupom utječe tekstura, hrapavost površine, sadržaj gline te pH vrijednost tla. Mjerenje vlage u tlu navedenim optičkim pristupima za poljoprivredne je primjene ograničeno, s obzirom na

to da se javlja potreba za velikim lokalnim baždarnim podacima te za pristupanjem spektralnim bazama podataka, a to zna biti problem u većem broju poljoprivrednih regija jer je povezanost podataka iznimno mala (Hardie, 2020.).

Mikrovalni probojni radari tla (GPR) pripadaju također neinvazivnoj tehnici visoke rezolucije, a koristi se rutinski kod otkrivanja raznih zakopanih cijevi, eksploziva, žica i slično. Ova vrsta radara emitira visokofrekventne mikrovalove unutar kojih se vrijeme putovanja od radarskog odašiljača do prijemnika upotrebljava u svrhu procjene dielektrične propusnosti. Ovi uređaji se mogu koristiti na površini tla ili u obliku mikrovalnih, odnosno radarskih snimanja s terena ili zračnih platformi. Kada se nalazi u pravim uvjetima, ova vrsta uređaja služi kao precizno sredstvo za određivanje vlage u tlu. Ovo je rijetka, a moguće i jedina tehnika gdje se prostorne razlike u vlažnosti tla s dubinom i udaljenošću mogu precizno mapirati. Obzirom na navedeno, za očekivati je kako je takav način već u širokoj upotrebi u poljoprivredi no, korištenje GPR-a vrlo je sporo, količina podataka je prevelika, slana i glinena tla uzrokuju kvarove, a da bi se dobili kvalitetni podaci i ispravno se interpretirali, zahtjeva se visoka razina znanja (Hardie, 2020.).

### 3. MATERIJALI I METODE

#### 3.1. Opis lokacije

Istraživanje se provodilo u vinogradarsko-vinarskom pokušalištu Jazbina na jednoj od parcela (slika 3.1.1) u sklopu SUPREHILL projekta s ciljem precizne procjene nelinearnih procesa poljoprivrednog zemljišta na padinskom prostoru. Vinogradarsko-vinarsko pokušalište Jazbina nalazi se na južnim obroncima Zagrebačke gore na brijegu Biskupov čret u sjevernom dijelu Grada Zagreba te njime gospodari Agronomski fakultet od 1939.godine. Prostire se na oko 25 ha površine od čega je 6 ha u aktivnoj primjeni za proizvodnju vinskog grožđa, 2 ha zauzimaju voćnjaci dok ostatak površine predstavlja infrastrukturu pokušališta. Tlo na lokaciji istraživanja je klasificirano kao obronačni pseudoglej.



Slika 3.1.1 Prikaz lokacije istraživanja na vinogradarsko vinarskom pokušalištu Jazbina  
Izvor: Vedran Krevh

### 3.2. Oprema za praćenje hidrološkog ciklusa postavljena na pokusu SUPREHILL

#### Meteorološka postaja: ATMOS-41 (METER Group AG) - 1 kom

Meteorološka stanica ATMOS-41 tvrtke METER ima mogućnost mjerenja solarne radijacije, oborina, relativne vlage zraka, temperature, atmosferskog tlaka, brzine i smjera vjetra i broj udara munja. Stanica je napravljena bez pomičnih dijelova te sustav uključuje zaštitu od ptica. Usklađena je s data loggerom ZL6 Cellular koji automatski prenosi podatke na online platformu Zentra Cloud te je konfigurirana na vremensku razlučivost zapisivanja od 15 minuta (slika 3.2.1).



Slika 3.2.1 Meteorološka postaja: ATMOS-41 (METER Group AG)

Izvor: Meter environment,

<https://www.metergroup.com/environment/products/atmos-41-weather-station/>

## **Data logger za automatski prijenos podataka: ZL6 Cellular (METER Group AG) - 1 kom**

Data logger ZL6 Cellular tvrtke METER ima mogućnost priključenja 6 uređaja to jest senzora. Načini spajanja sa sustavom su direktno s računalom putem USB-a, daljinskom komunikacijom 3G/4G i bluetooth-om putem mobilne aplikacije. Napajanje se odvija putem solarnog panela, preko punjive baterije. Uređaj posjeduje integrirani GPS sustav (slika 3.2.2).



Slika 3.2.2 Data logger za automatski prijenos podataka: ZL6 Cellular (METER Group AG)

Izvor: Meter environment,

<https://www.metergroup.com/environment/products/teros-21/>

### **Postupak instalacije meteorološke postaje**

Odabrana je središnja pozicija vinograda (B II) kao najreprezentativnija pozicija za mjerenje meteoroloških parametara. Postupak je započeo montiranjem nosivog stupa za postavljanje meteorološke stanice na visini od 2 m. Meteorološka postaja se postavlja pod ispravnim kutem radi osiguravanja točnosti mjerenih podataka. Na meteorološku stanicu se montiraju zaštite od ptica. Montira se ZL6 Cellular data logger na isti stup i postavlja se vrećica za skupljanje vlage u data logger. Meteorološka stanica se zatim spaja na data logger (ZL6 Cellular, METER). Konfiguracija se obavlja putem laptopa i ZENTRA Utility softvera. Baza podataka se izrađuje na Zentra Cloud online platformi.

### **Senzori za mjerenje vlage tla: TEROS-10 (METER Group AG) - 27 kom.**

Senzori za mjerenje volumetrijske vlage tla TEROS-10 tvrtke METER imaju raspon mjerenja u kalibraciji mineralnog tla  $0,00 - 0,64 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ , razlučivosti  $0,001 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  te operativne temperature od  $-40$  do  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ . Usklađeni su za rad s data loggerom ZL6 (slika 3.2.3).



Slika 3.2.3 Senzor za mjerenje vlage tla: TEROS-10 (METER Group AG)

Izvor: Meter environment,

<https://www.metergroup.com/environment/products/teros-10/>

### **Senzori za mjerenje vlage, temperature i EC u tlu: TEROS-12 (METER Group AG) - 9 kom.**

Senzori za mjerenje volumetrijske vlage tla, temperature i EC-a u tlu TEROS-12 tvrtke METER imaju raspon mjerenja u kalibraciji mineralnog tla  $0,00 - 0,70 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ , razlučivosti  $0,001 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  te operativne temperature od  $-40$  do  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  u kojoj i imaju raspon mjerenja temperature, razlučivosti  $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Mjerenje električne vodljivosti tla (EC) se odvija u rasponu od  $0$  do  $20 \text{ dSm}^{-1}$  te je razlučivost istog  $0,001 \text{ dSm}^{-1}$ . Usklađeni su za rad s data loggerom ZL6 (slika 3.2.4).





Slika 3.2.4 Senzor za mjerenje vlage, temperature i EC u tlu: TEROS-12 (METER Group AG)  
Izvor: Meter environment,  
<https://www.metergroup.com/environment/products/teros-12/>

#### **Data loggeri ZL6 Basic (METER Group AG) - 9 kom.**

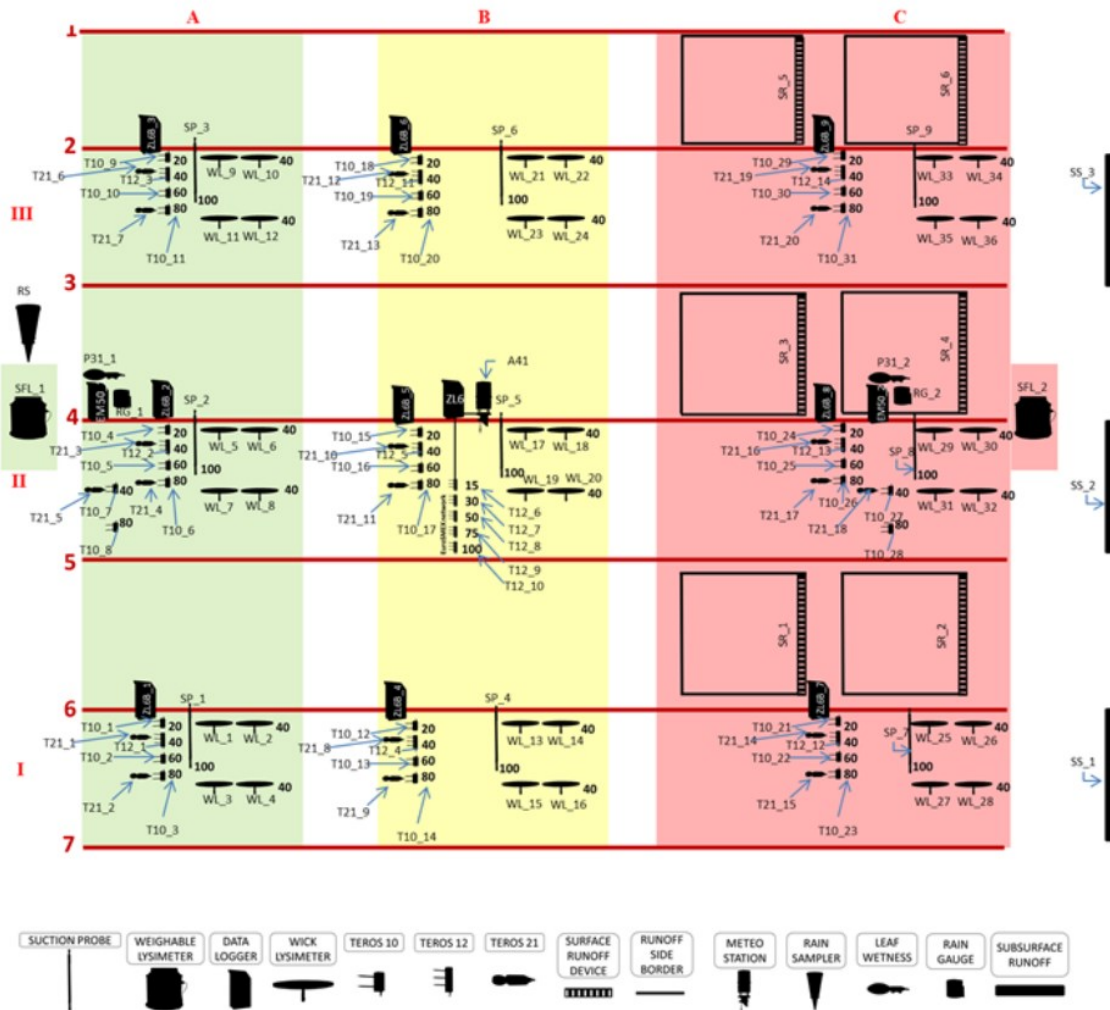
Data logger ZL6 Basic tvrtke METER ima mogućnost priključenja za 6 uređaja to jest senzora. Načini spajanja sa sustavom su direktno s računalom putem USB-a ili bluetooth-om putem mobilne aplikacije. Napajanje se odvija putem zamjenjivih baterija (slika 3.2.5).



Slika 3.2.5 Data logger ZL6 Basic (METER Group AG)  
Izvor: Meter environment,  
<https://www.metergroup.com/environment/products/zl6-data-logger/>

**Postupak instalacije senzora za mjerenje vlage tla; TEROS-10 (METER) – 27 kom,  
TEROS-12 (METER) – 9 kom.**

Kabel senzora se prije instalacije mora označiti i provući kroz zaštitni bužir. Provođi se direktna instalacija senzora u tlo na dubinu od 20, 40, 60 i 80 cm pritiskivanjem u horizontalnom položaju. Senzor se spaja na data logger (ZL6 Basic, METER). Konfiguracija senzora se provodi putem laptopa i ZENTRA Utility softvera. Baza podataka se izrađuje na Zentra Cloud online platformi. Cijeli postupak se provodi na vrhu (A), sredini (B) i dnu (C) padine u tri ponavljanja na dubinama 20, 40, 60 i 80 cm (slika 3.2.6).



Slika 3.2.6 Konačna shema pokusa gdje su prikazane tri pozicije (A, B, C) s lokacijama svih senzora i postupak instalacije opreme  
Izvor: Vedran Krevh

### 3.3. Kemijske i fizikalne značajke tla

Rezultati kemijskih i fizikalnih analiza tla prikazani su u Tablici 3.3.1.

Tablica 3.3.1 Kemijske i fizikalne karakteristike tla istraživanog područja

POLOŽAJ NA PADINI	pH			E.C. 2 – 0,2	Humus %	Krupni pijesak 2 – 0,2	Sitni pijesak 0,2 – 0,063	Krupni prah 0,063 – 0,02	Sitni prah 0,02 – 0,002	Glina < 0,002
	H <sub>2</sub> O	KCl	CaCl <sub>2</sub>							
<b>0 – 30 cm</b>										
<i>VRH (A I, II, III)</i>	5,3	3,9	4,7	0,031	2,1	1,7	4,0	31,7	39,3	23,3
<i>SREDINA (B I, II, III)</i>	5,5	3,9	4,5	0,026	1,7	2,7	4,0	30,3	39,7	23,3
<i>DNO (C I, II, III)</i>	5,5	4,1	4,6	0,034	2,1	3,0	3,7	32,3	42,7	18,3
<b>30 – 60 cm</b>										
<i>VRH (A I, II, III)</i>	5,1	3,7	4,6	0,037	1,02	1,3	3,3	30,7	38,3	26,3
<i>SREDINA (B I, II, III)</i>	5,3	3,7	4,4	0,043	1,05	3,7	4,7	30,3	37,0	24,3
<i>DNO (C I, II, III)</i>	5,3	3,9	4,5	0,032	1,39	3,0	4,0	32,0	40,0	21,0
<b>60 – 90 cm</b>										
<i>VRH (A I, II, III)</i>	5,2	3,7	4,7	0,047	0,35	3,7	3,7	25,3	35,0	32,3
<i>SREDINA (B I, II, III)</i>	5,2	3,6	4,3	0,047	0,44	11,0	5,7	23,7	32,3	27,3
<i>DNO (C I, II, III)</i>	5,0	3,7	4,3	0,045	0,82	2,7	3,7	30,7	37,0	26,0

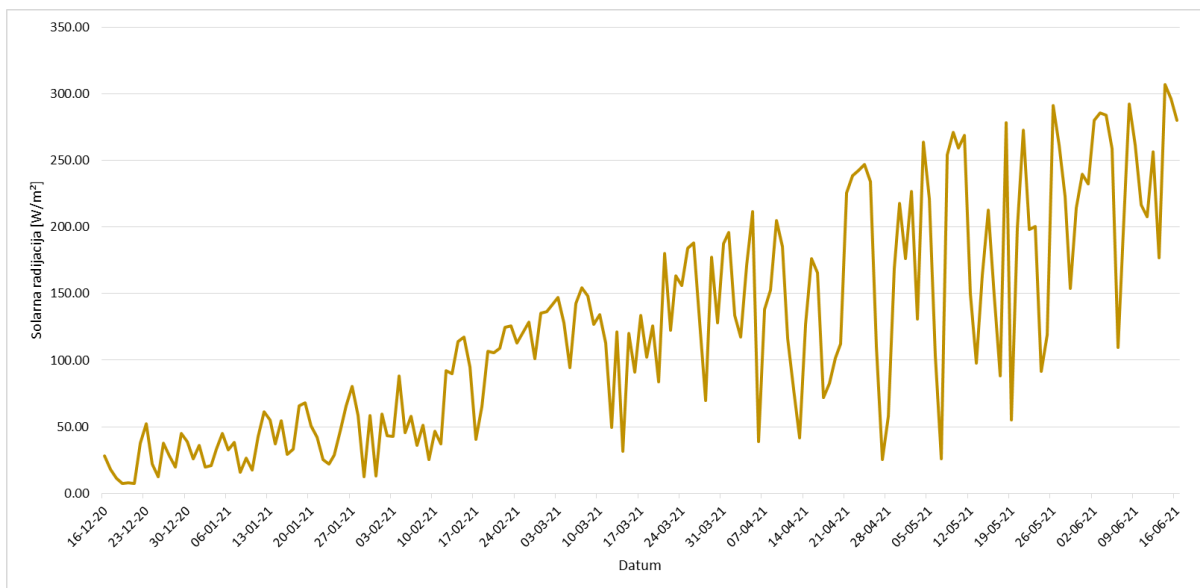
### 3.4. Statistička obrada podataka

Statistička obrada podataka provedena je u SAS programu (Statistical Analysis Software, SAS Institute Inc., Version 8.3 Update 1, Cary NC USA, 2019-2020). One-Way ANOVA korištena je za analizu varijance s pozicijom lizimetra na padini kao nezavisnom varijablom i analizom grupe mjerenja s obzirom na dubinu postavljanja senzora u tlo, a značajnost razlike između srednjih vrijednosti određena je Tukeyevim testom (Tukey's Studentized Range Honest Significant Difference – HSD Test) pri P<0.05.

## 4. REZULTATI I RASPRAVA

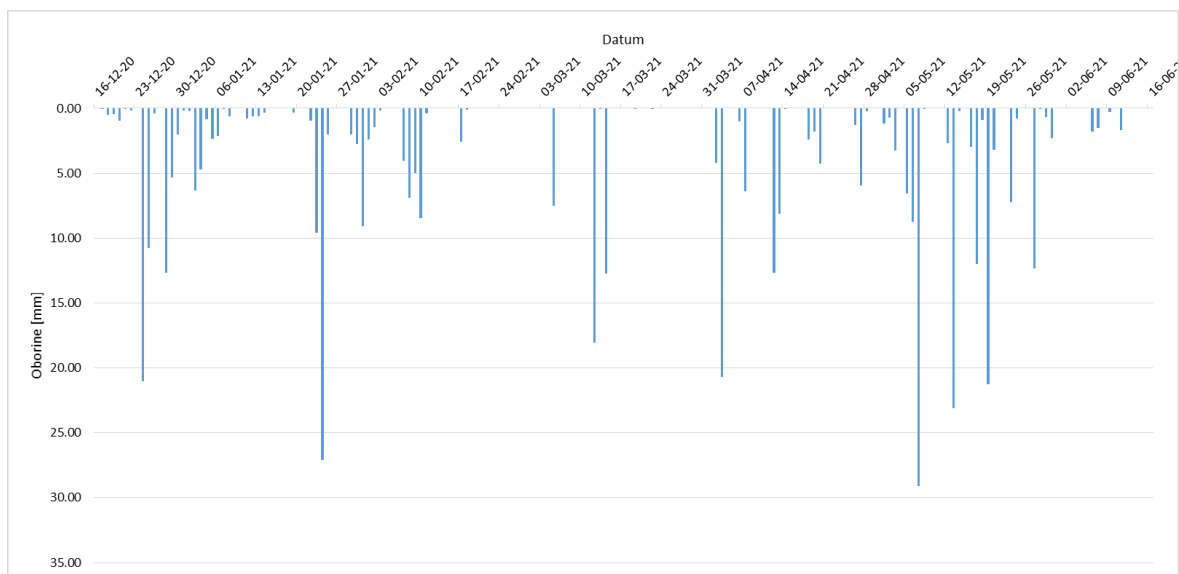
### 4.1. Meteorološki podaci

Tijekom istraživanog razdoblja (16.12.2020. – 16.06.2021.) u Vinogradarsko-vinarskom pokušalištu Jazbina minimalna vrijednost Sunčeve radijacije (insolacije) iznosila je 7,18 W/m<sup>2</sup> (19. prosinca), dok je maksimalna vrijednost bila 306,79 W/m<sup>2</sup> (14. lipnja). Od 25. svibnja do kraja mjerenja, vrijednost radijacije kontinuirano je bila iznad 100 W/m<sup>2</sup> (graf 4.1.1).



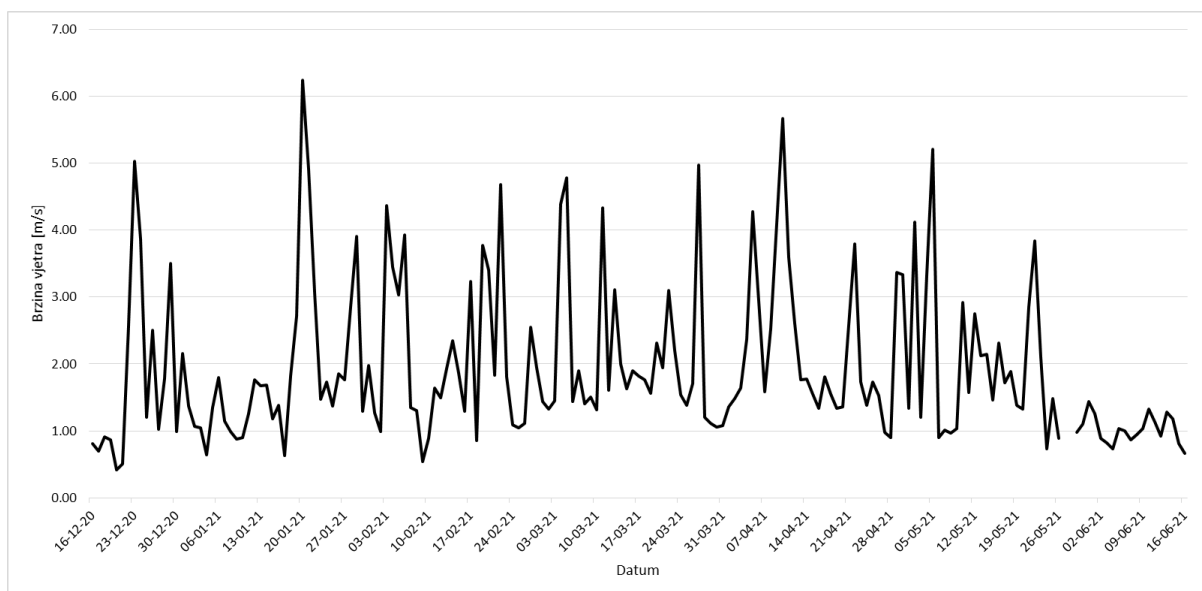
**Graf 4.1.1 Grafički prikaz kontinuirane Sunčeve radijacije u periodu od 16.12.2020. do 16.06.2021. (W/m<sup>2</sup>), dobivena analizom prikupljenih podataka u Excel programu**

U periodu istraživanja od 16.12.2020. do 16.06.2021. mjerile su se oborine, a najviša vrijednost oborina iznosila je 29,11 mm (7. svibnja). Dnevne vrijednosti u tom periodu grafički su prikazane radi lakšeg praćenja ove stavke (graf 4.1.2).



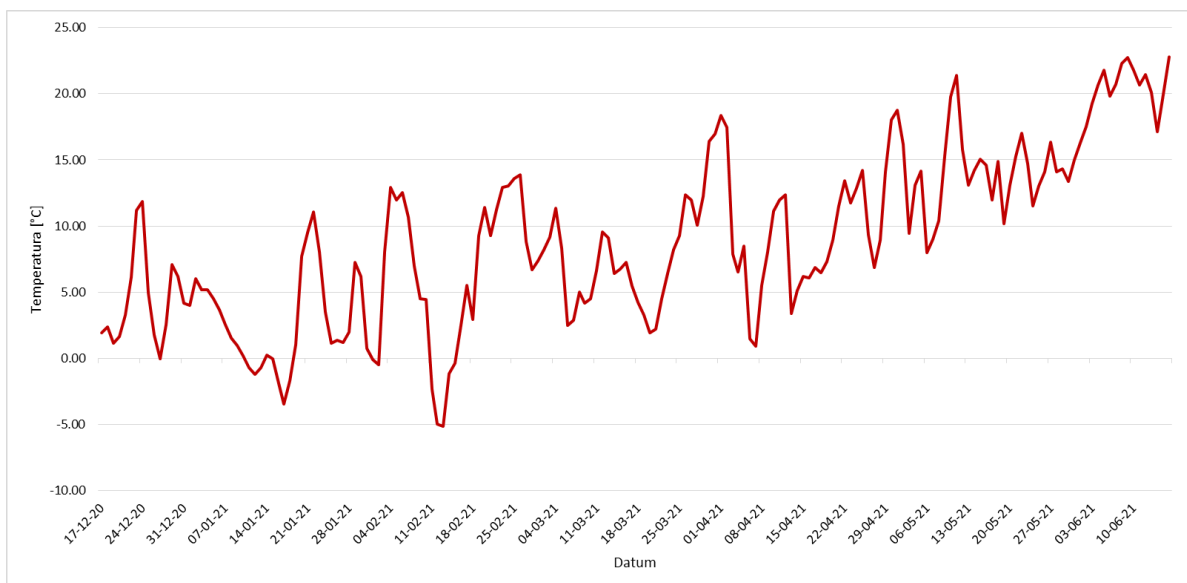
**Graf 4.1.2 Grafički prikaz dnevne vrijednosti oborina u periodu od 16.12.2020. do 16.06.2021. (mm), dobivene analizom prikupljenih podataka u Excel programu**

Tijekom istraživanja u periodu od 16.12.2020. do 16.06.2021. mjerila se i brzina vjetra. Sve vrijednosti brzine vjetra tijekom navedenog perioda, grafički su prikazane radi lakšeg očitavanja podataka (vidi graf 4.1.3).



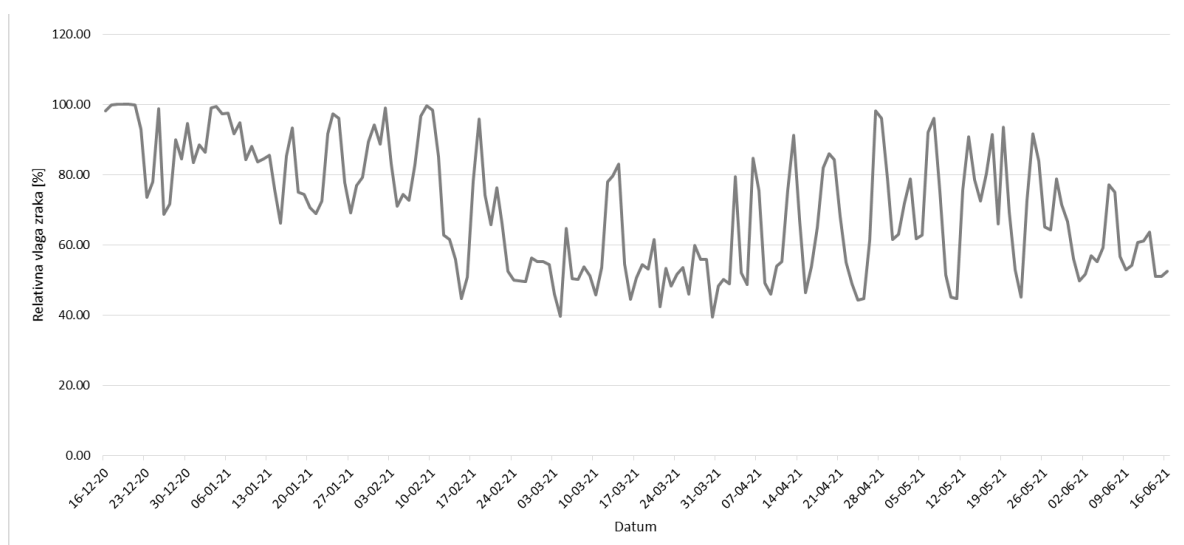
**Graf 4.1.3 Grafički prikaz brzine vjetra u periodu od 16.12.2020. do 16.06.2021. (m/s), dobivene analizom prikupljenih podataka u Excel programu**

Uz Sunčevu radijaciju, oborine i brzinu vjeta, u periodu istraživanja od 16.12.2020. do 16.06.2021. mjerile su se i dnevne temperature. Njihove vrijednosti radi lakšeg očitavanja podataka prikazane su grafički (vidi graf 4.1.4).



**Graf 4.1.4 Grafički prikaz dnevne temperature u periodu od 16.12.2020. do 16.06.2021. (°C), dobivene analizom prikupljenih podataka u Excel programu**

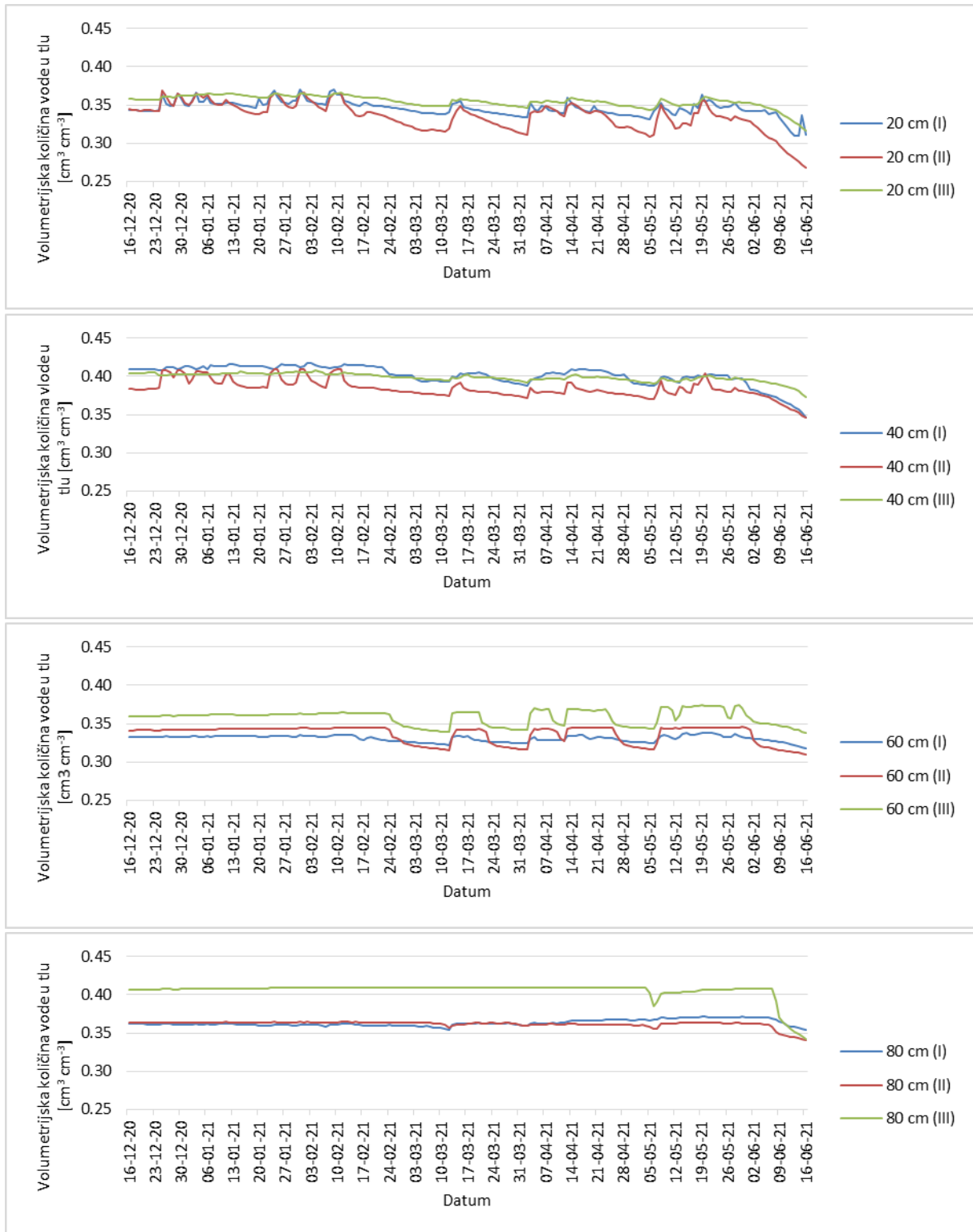
Uz sve navedene parametre, u periodu istraživanja od 16.12.2020. do 16.06.2021. mjerila se i relativna vlaga zraka. Radi lakšeg očitavanja podataka, mjerenja su prikazana grafički (vidi graf 4.1.5).



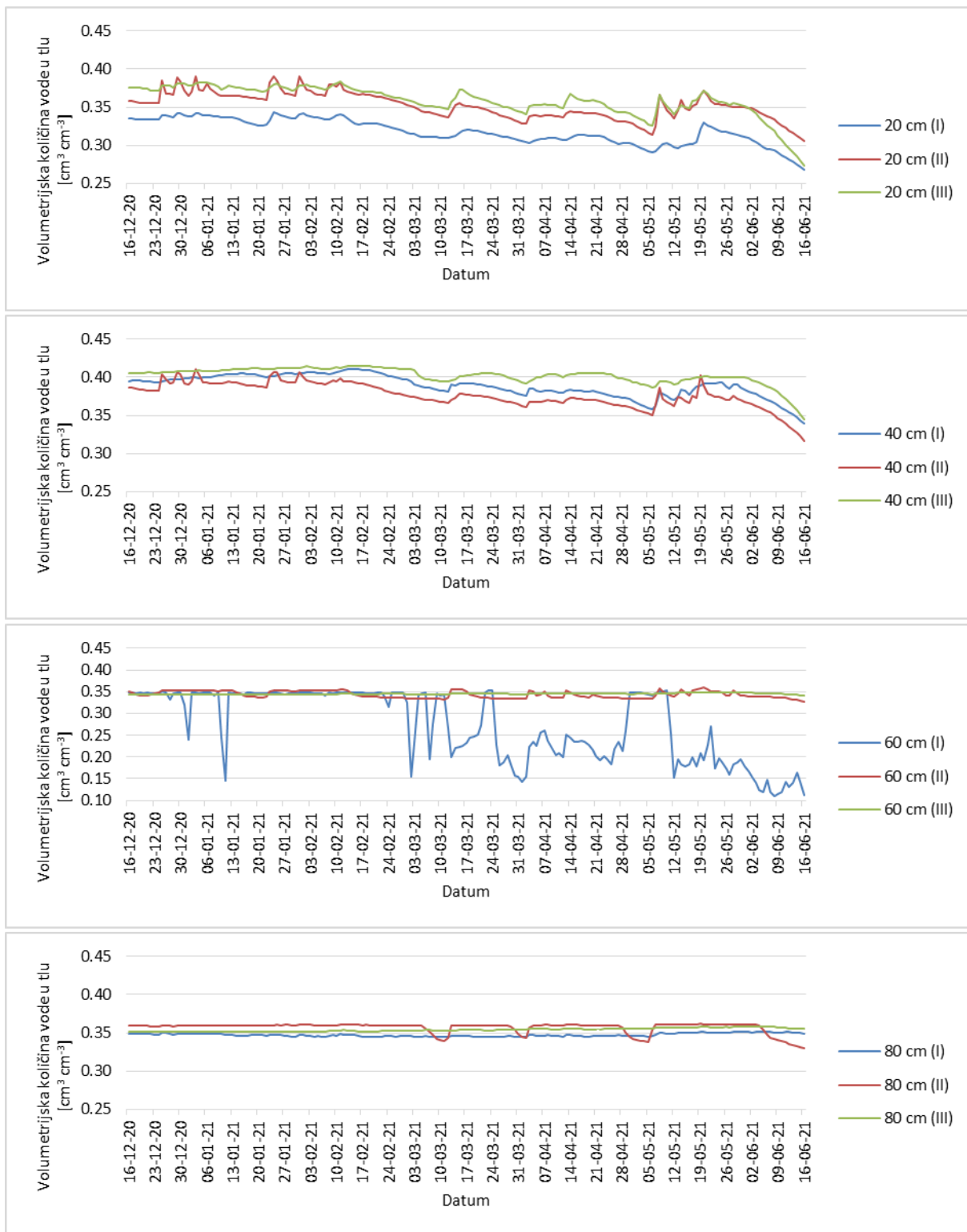
**Graf 4.1.5 Grafički prikaz relativne vlage zraka u periodu od 16.12.2020. do 16.06.2021. (%), dobivene analizom prikupljenih podataka u Excel programu**

## 4.2. Mjerenje volumetrijske vlage tla pomoću senzora

Sadržaj vlage u tlu praćen je TDR senzorima na tri pozicije (A, B i C) u vinogradu (vrh, sredina i dno padine), te na četiri dubine (20 cm, 40 cm, 60 cm i 80 cm), u tri ponavljanja.

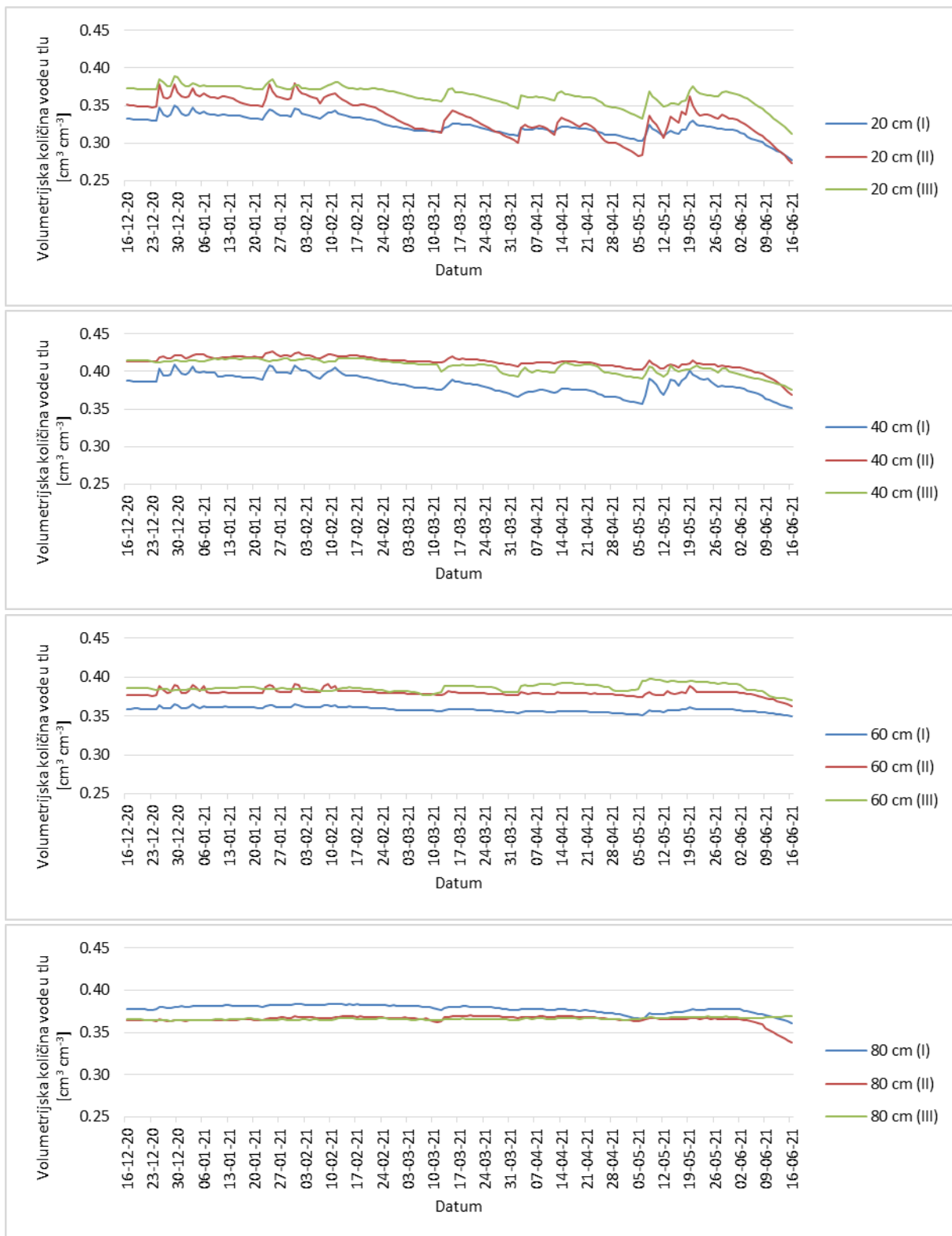


Graf 4.2.1 Grafički prikaz vrijednosti sadržaja vlage u tlu na vrhu padine (A), na dubini od 20, 40, 60 i 80 cm (u tri ponavljanja) dobivene analizom prikupljenih podataka u Excel programu



**Graf 4.2.2** Grafički prikaz vrijednosti sadržaja vlage u tlu na sredini padine (B), na dubini od 20, 40, 60 i 80 cm (u tri ponavljanja) dobivene analizom prikupljenih podataka u Excel programu





**Graf 4.2.3 Grafički prikaz vrijednosti sadržaja vlage u tlu na dnu padine (C), na dubini od 20, 40, 60 i 80 cm (u tri ponavljanja) dobivene analizom prikupljenih podataka u Excel programu**

Na poziciji A kod dubine od 20 cm, vrijednosti sadržaja vlage u tlu kretale su se od 0,27 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> do 0,37 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, dok je prosječna vrijednost sadržaja vlage u tlu iznosila 0,35 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>. Kod dubine od 40 cm vrijednosti sadržaja vlage u tlu kretale su se od 0,35 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> do 0,42 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, dok je prosječna vrijednost iznosila 0,35 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>. Na dubini od 60 cm, vrijednosti su se kretale od 0,31 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> do 0,37 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, dok je prosječna vrijednost iznosila 0,34 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>. Na dubini od 80 cm, vrijednosti sadržaja vlage u tlu kretale su se od 0,34 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> do 0,41 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, dok je prosječna vrijednost vlage u tlu iznosila 0,38 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> (grafovi 4.2.1).

Na poziciji B kod dubine od 20 cm, vrijednosti sadržaja vlage u tlu kretale su se od 0,27 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> do 0,39 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, dok je prosječna vrijednost sadržaja vlage u tlu iznosila 0,34 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>. Kod dubine od 40 cm vrijednosti sadržaja vlage u tlu kretale su se od 0,32 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> do 0,42 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, dok je prosječna vrijednost iznosila 0,39 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>. Na dubini od 60 cm, vrijednosti su se kretale od 0,11 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> do 0,36 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, dok je prosječna vrijednost iznosila 0,32 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>. Na dubini od 80 cm, vrijednosti sadržaja vlage u tlu kretale su se od 0,33 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> do 0,36 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, dok je prosječna vrijednost vlage u tlu iznosila 0,35 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> (grafovi 4.2.2).

Na poziciji C kod dubine od 20 cm, vrijednosti sadržaja vlage u tlu kretale su se od 0,27 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> do 0,39 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, dok je prosječna vrijednost sadržaja vlage u tlu iznosila 0,34 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>. Kod dubine od 40 cm vrijednosti sadržaja vlage u tlu kretale su se od 0,35 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> do 0,43 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, dok je prosječna vrijednost iznosila 0,40 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>. Na dubini od 60 cm, vrijednosti su se kretale od 0,35 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> do 0,40 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, dok je prosječna vrijednost iznosila 0,37 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>. Na dubini od 80 cm, vrijednosti sadržaja vlage u tlu kretale su se od 0,34 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> do 0,38 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, dok je prosječna vrijednost vlage u tlu iznosila 0,37 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> (grafovi 4.2.3).

Iz navedenog se vidljivo da je od svih senzora instaliranih na dubini od 20 cm, najviša prosječna vlaga (0,35 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>) na vrhu padine (pozicija A), na dubini od 40 i 60 cm (0,40 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> i 0,37 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>) na dnu padine (pozicija C) te da su senzori instalirani na dubini od 80 cm s najvišom prosječnom vlagom (0,38 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>) također na vrhu padine (pozicija A).

Senzori instalirani na 20 cm, to jest oni koji su postavljeni najbliže površini tla se čine najdinamičnijim, to jest njihova očitavanja najviše osciliraju, kao što je učestalo ponašanje plitko instaliranih senzora, radi utjecaja oborinskih događaja, površinskog otjecanja, evapotranspiracije i sl. (Negrón-Juárez i sur., 2020.; Ramos i sur., 2006.).

Na dubini od 40 cm, zabilježeno je najviše vlage za razliku od drugih senzora. Navedeno može ukazivati da se nakon infiltracije, ovdje potencijalno odvija dominantan tok vode, ili se ispod te dubine potencijalno nalazi zbijeni horizont koji ne dopušta lako procjeđivanje vode u niže slojeve (Yan i sur., 2018).

Na sredini padine, na dubini od 60 cm, u prvom ponavljanju, očit je najveći raspon vlage, od svih senzora. Ovakvo ponašanje kod senzora pokazuje važnost postavljanja pokusa u ponavljanjima. Takvo ponašanje moguće je iz višestrukih razloga, a neki od njih su: određen pokazatelj heterogenosti tla, ili konkretnog mjesta instalacije, instalacija na neku pukotinu tla, kamen, rupu od gliste kroz koju prolazi voda (Merdun, 2013.) ili može ukazati na nepravilnost rada senzora koju je potrebno utvrditi.

### 4.3. Rezultati statističke obrade

Tablica 4.3.1 Rezultati statističke obrade senzorskih podataka o vlazi u vinogradskom padinskom tlu na pokušalištu Jazbina za razdoblje od 16. prosinca 2020. - 16. lipnja 2021. godine, prikazano s obzirom na poziciju na padini i dubinu postavljanja senzora u tlo (20 ili 80 cm).

		DUBINA POSTAVLJANJA SENZORA U TLO	
		20 cm	80 cm
Statistički parametar	Pozicija lizimetra na padini	VLAGA U TLU	VLAGA U TLU
		cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>
Srednja vrijednost	VRH	0,34519 <i>a</i>	0,37691 <i>a</i>
	SREDINA	0,34280 <i>ab</i>	0,35274 <i>c</i>
	DNO	0,34058 <i>b</i>	0,36997 <i>b</i>
Standardna devijacija	VRH	0,01542	0,02171
	SREDINA	0,02536	0,00607
	DNO	0,02435	0,00685
Standardna pogreška	VRH	0,00066	0,00093
	SREDINA	0,00108	0,00026
	DNO	0,00104	0,00029
Varijanca	VRH	0.00024	0,00047
	SREDINA	0.00064	0,00004
	DNO	0.00059	0,00005
Minimalna vrijednost	VRH	0.26717	0,34075
	SREDINA	0.26754	0,32913
	DNO	0.27321	0,33846
Maksimalna vrijednost	VRH	0.37050	0,41000
	SREDINA	0.39100	0,36163
	DNO	0.38954	0,38433
Statistička značajnost		<i>P</i> <0,001	<i>P</i> <0,001
Srednje vrijednosti označene istim slovom nisu značajno različite pri <i>P</i> <0,05 n.s. – nije statistički značajna razlika			

Statistički visoko značajna razlika u vlazi u tlu potvrđena je između vrha, sredine i dna padine na obje dubine postavljana senzora u tlo (20 i 80 cm). Ipak, vlaga u tlu na dubini od 20 cm od površine tla se statistički značajno razlikovala između vrha i dna padine, pri čemu je najviša vlaga zabilježena na vrhu padine, a najniža na dnu padine, dok se vlaga na sredini padine nije razlikovala u odnosu na vrh i dno padine, odnosno nema statistički značajne razlike između vlage u tlu između sredine padine u usporedbi s vrhom i dnom padine. Nasuprot tomu, vlaga u tlu na dubini od 80 cm od površine tla se statistički značajno razlikovala s obzirom na sve

pozicije na padini na kojima su se vršila mjerenja – vrh, sredina i dno, pri čemu je najviša vlaga zabilježena na vrhu padine, a najniža na sredini padine.

Filipović i sur., (2014.) su postavili TDR senzore na dubini od 20, 40, 60, 80 i 100 cm kroz 2007. i 2008. godinu te su zaključili da se vlažnost tla znatno razlikuje između 20 cm i 100 cm. Točke njihovog istraživanja su pokazale malu razliku vlažnosti tla između sredine i vrha padine iako napominju da se količina vlage nije mogla točno odrediti za gornje slojeve tla.

Također, na svim dubinama pri 80 cm, razina vlage najviše stagnira. He i suradnici (2021.) su također koristili TDR senzore na padinskom tlu kako bi dokazali razliku vlage u tlu na različitim dijelovima padine. Kroz istraživanje se pokazalo da se rezultati vlažnosti tla značajno razlikuju na vrhu i na dnu padine.

## 5. ZAKLJUČAK

Sukladno temi rada, provedeno je mjerenje količine vode u padinskom tlu. Odabrana lokacija, odnosno područje istraživanja bilo je vinogradsko-vinarsko pokušalište Jazbina. Cilj mjerenja bila je precizna procjena poljoprivrednog zemljišta na padinskom prostoru. Tlo na lokaciji istraživanja klasificirano je kao obronačni pseudoglej. Tekstura tla ima iznimnu važnost obzirom na činjenicu da stvara utjecaj na potencijalnu erodibilnost. No, zaključno je kako kod erozije vodom najvažniju ulogu ima tekstura površinskog horizonta tla. Što se tiče mjerenja vlage na spomenutoj lokaciji, korištena je odgovarajuća oprema kojom se prati hidrološki ciklus. Također, provedena su i kemijsko-fizikalne analiza tla. Prilikom mjerenja volumetrijske vlage tla postavljeni su TDR senzori na vrh, sredinu i dno padine. Na sve tri pozicije senzori su postavljeni na četiri različite dubine – 20 cm, 40 cm, 60 cm i 80 cm. Mjerenje se odvijalo u razdoblju od 16.12.2020. do 16.06.2021. Podaci sa senzora za dubine 20 i 80 cm obrađeni su u SAS programu.

S obzirom na sve instalirane senzore na dubini od 20 cm, najviša prosječna vlaga ( $0,35 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ) je zabilježena na vrhu padine (pozicija A), na dubini od 40 i 60 cm ( $0,40 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  i  $0,37 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ) na dnu padine (pozicija C) dok su mjerenja senzora instaliranih na dubini od 80 cm s najvišom prosječnom vlagom ( $0,38 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ) također na vrhu padine (pozicija A). Također, na dubini od 40 cm, zabilježeno je najviše vlage za razliku od drugih senzora. Senzori instalirani na 20 cm, to jest oni koji su postavljeni najbliže površini tla se čine najdinamičnijim, to jest njihova očitavanja najviše osciliraju te je vidljivo da oborinski događaji, površinsko otjecanje i evapotranspiracija imaju utjecaj na njihovo ponašanje.

Statistička obrada podataka koja je uključivala dubine od 20 i 80 cm, pokazala je da se vlaga u tlu na dubini od 20 cm od površine tla statistički značajno razlikovala između vrha i dna padine, dok se vlaga na sredini padine nije razlikovala u odnosu na vrh i dno padine, odnosno nema statistički značajne razlike između vlage u tlu između sredine padine u usporedbi s vrhom i dnom padine, pri čemu je najviša vlaga zabilježena na vrhu padine, a najniža na dnu padine. Što se tiče vlage u tlu na dubini od 80 cm od površine tla, ona se statistički značajno razlikovala s obzirom na sve pozicije na padini (vrh, sredina i dno), pri čemu je najviša vlaga zabilježena na vrhu padine, a najniža na sredini padine.

## 6. POPIS LITERATURE

1. Agrolgistika, dostupno na: [https://agrolgistika.hr/hr\\_HR/mjerni-instrumenti/vlagomjeri/vlagomjeri-za-tlo/tdr-300-vlagomjer-za-tlo](https://agrolgistika.hr/hr_HR/mjerni-instrumenti/vlagomjeri/vlagomjeri-za-tlo/tdr-300-vlagomjer-za-tlo) (09.07.2021.)
2. Aničić, B., Perica, D. (2003.). Structural Features of Cultural Landscape in the Karst Area (landscape in transition), *Acta carsologica*, Vol. 32, No. 1, str. 173-188
3. Bašić, F., Kisić, I., Nestroy, O., Mesić M., Butorac, A. (2002.). Particle size distribution (texture) of eroded soil material. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 188 (5), 311-322.
4. EEA - European Environmental Agency (2015.). Agriculture, dostupno na: <https://www.eea.europa.eu/soer-2015/europe/agriculture#tab-based-on-indicators> (29.06.2021.)
5. 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*, 5(3), 894–907.
6. Filipović, V., Gerke, H.H., Filipović, L., Sommer M., (2018.). Quantifying Subsurface Lateral Flow along Sloping Horizon Boundaries in Soil Profiles of a Hummocky Ground Moraine, *Vadose zone Journal* 17:170106.
7. Gjetvaj, G. (2006.). Skripte iz hidraulike. Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
8. He, H., Aogu, K., Li, M., Xu, J., Sheng, W., Jones, S. B., ... Lv, J. (2021.). A review of time domain reflectometry (TDR) applications in porous media. *Advances in Agronomy*, 83–155.
9. Haman, D.Z., Yeager, T.H. (2003.). Controlling Irrigation with Tensiometers and Time Domain Reflectometry (TDR). Final Report. University of Florida.
10. Hardie, M. (2020.). Review of Novel and Emerging Proximal Soil Moisture Sensors for Use in Agriculture. *Sensors*, 20, 6934.
11. Huggett, R. J. (2011.). *Fundamentals of Geomorphology*, Routledge Fundamentals of Physical Geograph, (3rd ed.).
12. Jović, V. (2006.). *Uvod u hidromehaniku*. Element, Zagreb.
13. Jug, I. (2013.). Izbor i uređenje terena pred zasnivanje trajnih nasada, dostupno na: [http://pedologija.com.hr/Literatura/Zem\\_resursi/Izbor%20i%20uredjenje%20terena.pdf](http://pedologija.com.hr/Literatura/Zem_resursi/Izbor%20i%20uredjenje%20terena.pdf) (28.06.2021)
14. Kantoci, D. (2012.). Navodnjavanje, *Glasnik Zaštite Bilja*, 35 (3), 66-72
15. Kantoci, D. (2008.). Obrada tla u vinogradu, gnojidba i zaštita vinograda, *Glasnik zaštite bilja*, 6/2008, 41-50
16. Karažija, T. (2015.). Analiza tla, *Gospodarski list*, dostupno na: <http://https://gospodarski.hr/rubrike/prilog-broja-analizom-tla-do-vecih-prinosa> (30.06.2021)
17. Kisić, I. (2016.). *Antropogena erozija tla*. Zagreb: Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
18. Kohler, J. (2016.). Geotechnical Engineering, dostupno na: <http://blog.hj-koehler.de/boden-unter-wasser/> (28.06.2021.)

19. Lado, M., Paz-González, A., Ben-Hur, M. (2004.). Organic Matter and Aggregate-Size Interactions in Saturated Hydraulic Conductivity. *Soil Science Society of America Journal*, 68 (1), 234-242.
20. Lončarić, Z. (2015.). Plodnost tala i gnojidba, Zbornik radova 11. savjetovanja uzgajivača goveda u Republici Hrvatskoj, Križevci.
21. Madjar, S., Šošarić, J. (2009.). Navodnjavanje poljoprivrednih kultura, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet Osijek, Kromopak d.o.o., Valpovo
22. Merdun, H. (2013.). Using TDR and modeling tools to investigate effects of interactive factors on preferential flow and transport in field sandy clay soil. *Environmental Earth Sciences*, 71(4), 1821–1838.
23. Model Educa, dostupno na: <https://model-educa.hr/ekologija-tla/952-tenziometar-za-tlo.html> (10.07.2021)
24. Muñoz-Carpena, R. (2004.). Field Devices For Monitoring Soil Water Content. Fact Sheet ABE 343 of the Department of Agricultural and Biological Engineering, Florida
25. Mustać I. (2015.). Modeliranje pronosa tvari u nesaturiranoj zoni tla. U: Voda u agroekosustavima (Ondrašek G., Petošić D., Tomić F., Mustać I., Petek M., Lazarević B., Bubalo M.). Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 256-280.
26. Negrón-Juárez, R., Ferreira, S.J.F., Mota, M.C., Faybishenko, B., Monteiro, M.T.F., Candido, L.A., ... Chambers, J.Q. (2020.). Calibration, measurement, and characterization of soil moisture dynamics in a central Amazonian tropical forest. *Vadose Zone Journal*, 19(1).
27. Or, D., Wraith, J.M (1997.). *Agricultural and Environmental Soil Physics*. Utah State University Logan.
28. Petrinjak, I., Štuhec, D., Jeftić, G., Strelec, S. (2018.). Usporedba različitih metoda određivanja koeficijenta propusnosti nekoherentnog tla. *Inženjerstvo okoliša*, 5 (1-), 99-108.
29. Pidwirny, M. (2006.). *Hillslope Processes and Mass Movement, Fundamentals of Physical Geography*, 2nd Edition.
30. Poesen J., Torri D. and Bunte K. (1994.). Effects of rock fragments on soil erosion by water at different spatial scales: a review. *Catena*, 23, 141-166.
31. Pokos Nemec, V. (2008.). Navodnjavanje u vinogradarstvu, *Glasnik Zaštite Bilja*, vol. 31, br. 6, str. 100-105
32. Quansah, C. (1981.). The effect of soil type, slope, rain intensity, and their interactions on splash detachment and transport. *European Journal of Soil Science*, 267 (5201), 1117-1123.
33. Quansah, C. (1981.). The effect of soil type, slope, rain intensity, and their interactions on splash detachment and transport. *European Journal of Soil Science*, 267(5201), 1117-1123.
34. amos, M. C., & Martínez-Casasnovas, J. A. (2006.). Impact of land levelling on soil moisture and runoff variability in vineyards under different rainfall distributions in a Mediterranean climate and its influence on crop productivity. *Journal of Hydrology*, 321(1-4), 131–146.
35. Ritter, J. (2012.). Soil erosion - Causes and effects. Factsheet. Ontario Ministry of Agriculture and Rural Affairs, SAD.

36. Ritter, J. (2012.). Soil erosion - Causes and effects. Factsheet. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Ontario.
37. Smart weather sensors, dostupno na: <http://ba.smartweathersensor.com/agriculture-and-soil-sensors/soil-moisture-temperature-sensor.html> (09.07.2021)
38. Šimunić, I. (2013.). Uređenje voda, Hrvatska Sveučilišna naklada, Sveučilište u Zagrebu
39. Špoljar, A. (2016.). Procesi degradacije tla, Visoko gospodarsko učilište u Križevcima, Križevci.
40. Topić, V., Durbešić, A., Butorac, L., Fuerst- Bjeliš, B., Jelić, G. (2017.). Način korištenja zemljišta i njegov utjecaj na razvoj erozijskih procesa na području Ogorja. U: Kapitanović, V., Marinov, N. & Maras, M. (ur.) Župa Ogorje. Putovima života i vjere između Svilaje i Moseća. Odsjek za povijest Filozofskog fakulteta u Splitu, str. 53-78.
41. Wernecke J., (2014.). Industrial Moisture and Humidity Measurement, Wiley.
42. Yan, C., Wan, Q., Xu, Y., Xie, Y., Yin, P. (2018.). Experimental study of barrier effect on moisture movement and mechanical behaviors of loess soil. Engineering Geology, 240, 1–9.



## 7. PRILOZI

### 7.1. Slike

Slika 2.1.1 Shematski prikaz iskorištavanja tla prema stupnju nagiba Izvor: Jug, I. (2013.), Izbor i uređenje terena pred zasnivanje trajnih nasada, <a href="http://pedologija.com.hr/Literatura/Zem_resursi/Izbor%20i%20uredjenje%20terena.pdf">http://pedologija.com.hr/Literatura/Zem_resursi/Izbor%20i%20uredjenje%20terena.pdf</a> (28.06.2021) .....	3
Slika 2.2.1 Padinski proces Izvor: Hillslope proces, <a href="https://earthsurface.readthedocs.io/en/latest/hillslope.html">https://earthsurface.readthedocs.io/en/latest/hillslope.html</a> (03.07.2021.) .....	6
Slika 2.4.1 Presjek tla s vidljivom strukturom obzirom na sustav pora Izvor: Kohler, J. (2016), Geotechnical Engineering, <a href="http://blog.hj-koehler.de/boden-unter-wasser/">http://blog.hj-koehler.de/boden-unter-wasser/</a> (28.06.2021.) .....	10
Slika 2.7.1 Mjerenje vlage pomoću visokih frekvencija čiji su mjerni parametri različiti Izvor: R. Wernecke and J. Wernecke (2014), Industrial Moisture and Humidity Measurement, Wiley-VCH verlag GmbH & Co. KgaA.....	13
Slika 2.7.2 TDR 300 - uređaj za mjerenje vlage Izvor: Agrologistika, <a href="https://agrologistika.hr/hr_HR/mjerni-instrumenti/vlagomjeri/vlagomjeri-za-tlo/tdr-300-vlagomjer-za-tlo">https://agrologistika.hr/hr_HR/mjerni-instrumenti/vlagomjeri/vlagomjeri-za-tlo/tdr-300-vlagomjer-za-tlo</a> (09.07.2021.) .....	14
Slika 2.7.3 MP-508C - FDR senzor Izvor: Smart weather sensors, <a href="http://ba.smartweathersensor.com/agriculture-and-soil-sensors/soil-moisture-temperature-sensor.html">http://ba.smartweathersensor.com/agriculture-and-soil-sensors/soil-moisture-temperature-sensor.html</a> (09.07.2021) .....	14
Slika 2.7.4 Štapni senzor UHF RFID Izvor: Hardie, M.(2020), Tasmanian Institute of Agriculture, University of Tasmania, Hobart, TAS 7000, Australia. Sensors 2020, str. 4/23 .....	15
Slika 2.7.5 Tenziometar za mjerenje vlage u tlu Izvor: Model Educa, <a href="https://model-educa.hr/ekologija-tla/952-tenziometar-za-tlo.html">https://model-educa.hr/ekologija-tla/952-tenziometar-za-tlo.html</a> (10.07.2021) .....	15
Slika 2.7.6 Mikrovalna antena Izvor: Hardie, M.(2020), Tasmanian Institute of Agriculture, University of Tasmania, Hobart, TAS 7000, Australia. Sensors 2020, str. 5/23 .....	16
Slika 3.1.1 Prikaz lokacije istraživanja na vinogradarsko vinarskom pokušalištu Jazbina Izvor: Vedran Krevh.....	19
Slika 3.2.1 Meteorološka postaja: ATMOS-41 (METER Group AG) Izvor: Meter environment, <a href="https://www.metergroup.com/environment/products/atmos-41-weather-station/">https://www.metergroup.com/environment/products/atmos-41-weather-station/</a> .....	20
Slika 3.2.2 Data logger za automatski prijenos podataka: ZL6 Cellular (METER Group AG) Izvor: Meter environment, <a href="https://www.metergroup.com/environment/products/teros-21/">https://www.metergroup.com/environment/products/teros-21/</a> .....	21
Slika 3.2.3 Senzor za mjerenje vlage tla: TEROS-10 (METER Group AG) Izvor: Meter environment, <a href="https://www.metergroup.com/environment/products/teros-10/">https://www.metergroup.com/environment/products/teros-10/</a> .....	22
Slika 3.2.4 Senzor za mjerenje vlage, temperature i EC u tlu: TEROS-12 (METER Group AG) Izvor: Meter environment, <a href="https://www.metergroup.com/environment/products/teros-12/">https://www.metergroup.com/environment/products/teros-12/</a> .....	23
Slika 3.2.5 Data logger ZL6 Basic (METER Group AG) Izvor: Meter environment, <a href="https://www.metergroup.com/environment/products/zl6-data-logger/">https://www.metergroup.com/environment/products/zl6-data-logger/</a> .....	23
Slika 3.2.6 Konačna shema pokusa gdje su prikazane tri pozicije (A, B, C) s lokacijama svih senzora i postupak instalacije opreme Izvor: Vedran Krevh .....	24

## 7.2. Grafovi

Graf 4.1.1 Grafički prikaz kontinuirane Sunčeve radijacije u periodu od 16.12.2020. do 16.06.2021. (W/m <sup>2</sup> ), dobivena analizom prikupljenih podataka u Excel programu .....	26
Graf 4.1.2 Grafički prikaz dnevne vrijednosti oborina u periodu od 16.12.2020. do 16.06.2021. (mm), dobivene analizom prikupljenih podataka u Excel programu .....	27
Graf 4.1.3 Grafički prikaz brzine vjetra u periodu od 16.12.2020. do 16.06.2021. (m/s), dobivene analizom prikupljenih podataka u Excel programu .....	27
Graf 4.1.4 Grafički prikaz dnevne temperature u periodu od 16.12.2020. do 16.06.2021. (°C), dobivene analizom prikupljenih podataka u Excel programu .....	28
Graf 4.1.5 Grafički prikaz relativne vlage zraka u periodu od 16.12.2020. do 16.06.2021. (%), dobivene analizom prikupljenih podataka u Excel programu .....	28
Graf 4.2.1 Grafički prikaz vrijednosti sadržaja vlage u tlu na vrhu padine (A), na dubini od 20, 40, 60 i 80 cm (u tri ponavljanja) dobivene analizom prikupljenih podataka u Excel programu .....	29
Graf 4.2.2 Grafički prikaz vrijednosti sadržaja vlage u tlu na sredini padine (B), na dubini od 20, 40, 60 i 80 cm (u tri ponavljanja) dobivene analizom prikupljenih podataka u Excel programu .....	30
Graf 4.2.3 Grafički prikaz vrijednosti sadržaja vlage u tlu na dnu padine (C), na dubini od 20, 40, 60 i 80 cm (u tri ponavljanja) dobivene analizom prikupljenih podataka u Excel programu .....	31

## 7.3. Tablice

Tablica 3.3.1 Kemijske i fizikalne karakteristike tla istraživanog područja .....	25
Tablica 4.3.1 Rezultati statističke obrade senzorskih podataka o vlazi u vinogradskom padinskom tlu na pokušalištu Jazbina za razdoblje od 16. prosinca 2020. - 16. lipnja 2021. godine, prikazano s obzirom na poziciju na padini i dubinu postavljanja senzora u tlo (20 ili 80 cm) .....	33

\*\_

## 8. ŽIVOTOPIS

Dora Jurišić rođena je 06. ožujka 1996. godine u Zagrebu. Od 2011. do 2015. pohađala je srednju Agronomsku školu u Zagrebu usmjerenja Agroturistički tehničar. Preddiplomski studij, smjer Poljoprivredna tehnika, na Agronomskom fakultetu u Zagrebu upisuje 2015. godine, a završava ga 2019. godine. Iste godine upisuje diplomski studij na Agronomskom fakultetu u Zagrebu, smjer Melioracije, te ga završava 2021. godine. Služi se engleskim jezikom razine B1. Tijekom studiranja radila je nekoliko poslova preko Student servisa.