

Određivanje toka vode u padinskom tlu pomoću tlačnih lizimetara

Horvatić, Blanka

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:204:964074>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture



ODREĐIVANJE TOKA VODE U PADINSKOM TLU POMOĆU TLAČNIH LIZIMETARA

DIPLOMSKI RAD

Blanka Horvatić

Zagreb, rujan, 2021.



Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture



Diplomski studij:

Poljoprivredna tehnika - Melioracije

ODREĐIVANJE TOKA VODE U PADINSKOM TLU POMOĆU TLAČNIH LIZIMETARA

DIPLOMSKI RAD

Blanka Horvatić

Mentor:

Doc. dr. sc. Vilim Filipović

Zagreb, rujan, 2021.



Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture



IZJAVA STUDENTICE O AKADEMSKOJ ČESTITOST

Ja, **Blanka Horvatić**, JMBG 0178106493, rođena 09.05.1996. u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradila diplomski rad pod naslovom:

ODREĐIVANJE TOKA VODE U PADINSKOM TLU POMOĆU TLAČNIH LIZIMETARA

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 **Blanke Horvatić**, JMBAG 0178106493, naslova

ODREĐIVANJE TOKA VODE U PADINSKOM TLU POMOĆU TLAČNIH LIZIMETARA

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 se doc. dr. sc. Vilimu Filipoviću na mentorstvu, savjetima i pomoći pri izradi ovog diplomskog rada te na pruženoj prilici za sudjelovanje u SUPREHILL projektu.

Zahvaljujem dr.sc. Lani Filipović za pomoć pri statističkoj obradi podataka.

Zahvaljujem Vedranu Krevhu, mag. ing. agr. na pomoći i detaljnim objašnjenjima.

Zahvaljujem Jasmini Defterdarović, mag. ing. agr. na pruženoj pomoći.

Zahvaljujem svojim roditeljima, prijateljima i obitelji na potpori tijekom studija.

Sadržaj

1. UVOD.....	4
1.1. CILJ RADA.....	4
2. PREGLED LITERATURE.....	5
2.1. TOK VODE U TLU.....	5
2.1.1. Oblici vode u tlu.....	6
2.2. HIDRAULIČKA SVOJSTVA TLA.....	6
2.3. TRANSPORT OTOPLJENIH TVARI U TLU.....	9
2.4. HIDROLOGIJA PADINSKIH TALA.....	11
2.4.1. Utjecaj nagiba.....	11
2.4.2. Utjecaj načina korištenja tla.....	12
2.4.3. Utjecaj vegetacijskog pokrova.....	12
2.4.4. Utjecaj teksutre tla.....	13
2.5. LIZIMETARSKA TEHNOLOGIJA.....	13
3. MATERIJALI I METODE.....	18
3.1. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA I OPIS LOKACIJE.....	18
3.1.1. Klimatska obilježja.....	20
3.2. FIZIKALNO – KEMIJSKE KARAKTERISTIKE TLA.....	20
3.3. TLAČNI LIZIMETRI.....	22
3.4. STATISTIČKA OBRADA PODATAKA.....	25
4. REZULTATI I RASPRAVA.....	26
4.1. ISTEK VODE IZ LIZIMETARA.....	26
4.2. STATISTIČKA OBRADA PODATAKA O ISTEKIMA S TLAČNIH LIZIMETARA.....	31
5. ZAKLJUČAK.....	33
6. POPIS LITERATURE.....	34
ŽIVOTOPIS.....	37

Sažetak

Diplomskog rada studentice **Blanke Horvatić**, naslova

ODREĐIVANJE TOKA VODE U PADINSKOM TLU POMOĆU TLAČNIH LIZIMETARA

Tok vode i transport otopljenih tvari u tlu ovisi o hidrauličkim svojstvima tla koja su podložna pedološkim prostorno-vremenskim promjenama. Uz navedeno, nagib terena i obrada tla uvelike utječu na distribuciju vode u nesaturiranoj zoni tla i procjeđivanje. U ovom radu, u sklopu SUPREHILL projekta koristili smo tlačne lizimetre kako bi odredili razlike u volumenu procjedne vode s obzirom na poziciju na padini (vrh, sredina ili dno padine) te između reda i međurednog prostora. Očitavanja su provedena u razdoblju od 7. prosinca 2020. do 26. veljače 2021. Statistički značajna razlika u volumenu procjedne vode s obzirom na poziciju lizimetra na padini - vrh, sredina ili dno padine, utvrđena je za one lizimetre koji su postavljeni u redu vinograda (red s trsovima vinove loze), dok za one koji su postavljeni u međuredu vinograda nije bilo značajne razlike u volumenu procjedne vode. Najveći volumen procjedne vode izmjeren je na vrhu reda, dok je najmanji zabilježen na sredini reda vinograda.

Ključne riječi: lizimetri, padinska tla, hidrologija, tok vode, hidropedologija

Summary

Of the master's thesis – student **Blanka Horvatić**, entitled

DETERMINATION OF WATER FLOW IN HILLSLOPE SOIL USING WICK LYSIMETERS

Soil water flow and solute transport depend on soil hydraulic properties influenced by pedological spatio-temporal changes. Slope of terrain and tillage practices also affect distribution and drainage of water in the unsaturated soil. In this work, as a part of the SUPERHILL project, wick lysimeters placed on the top, middle and bottom of the slope were used to determine the difference in leachate volume with respect to the position on the slope, and to the interrow and row space. Leachate volume measurements were conducted from December 7, 2020 until February 26, 2021. Statistically significant difference in the leachate volume with respect to the lysimeter position on the slope - top, middle or the bottom, was determined for lysimeters placed at vineyard rows, while no significant difference was found for lysimeters placed at the interrow. The highest leachate volume was measured at the top of the row, while the lowest volume was recorded at the middle of the vineyard row.

Keywords: lysimeters, sloping landscape, hydrology, water flow, hydrology

1. Uvod

Voda je vitalna za ljude, životinje i biljke. Vođena raznim procesima, kontinuirano se kreće iznad površine, na površini i ispod površine zemlje. Tlo predstavlja samo tanak sloj između zemljine stjenovite kore i atmosfere, ali je izuzetno važan za vegetaciju, jer osigurava korijenov sustav te čuva vodu i hranjive sastojke. Tlo-voda kao dio hidropedološkog ciklusa obuhvaća nezasićenu zonu, a to je zona između kopnene površine tla i podzemne vode. Biljke upijaju vodu iz tla kroz korijenov sustav i transportiraju je u atmosferu. Za taj postupak potrebna je mala količina fotosinteze, koja kombinira vodu s ugljikovim dioksidom i sunčevom energijom te ih pretvara u ugljikohidrate. U tom kontekstu, dostupnost vode i interakcije između tla, biljke i atmosfere je bitna za gotovo sav život na zemlji.

Poznavanje komponenata ravnoteže vode u tlu, kao što je evapotranspiracija, sadržaj vode u tlu i oborine, osnova je za upravljanje poljoprivrednim površinama. Za kvantificiranje ovih komponenata obično se koriste lizimetri i senzori koji mjere sadržaj vode u tlu ili vodni potencijal tla. Dobiveni podaci mogu se koristiti za procjenu evapotranspiracije. Budući da svaki mjerni uređaj ima svoje karakteristike, vrlo je važno procijeniti i poboljšati funkcionalnost sustava, kako bi se dobili najbolji mogući podaci. Najnovija dostignuća u obradi podataka iz lizimetara omogućuju određivanje evapotranspiracije i oborina, izravno na temelju podataka iz lizimetara. Senzori sadržaja vode u tlu obično mjere svojstva koja su povezana sa sadržajem vode u tlu. Stoga točnost mjerenja ne ovisi samo o ovoj kalibraciji, već i o osnovnim fizikalnim principima i svojstvima materijala. Poznavanje izvedbe uređaja je ključna za odabir odgovarajućeg rasporeda senzora i točnosti tumačenja podataka. Napredna poljoprivreda za praćenje vode u tlu kombinira različite tipove senzora, koji su često integrirani u bežičnu mrežu, kako bi se omogućilo dobivanje podataka u stvarnom vremenu i pružili osnovu za opsežno praćenje.

1.1. Cilj rada

Cilj rada je odrediti razlike u procjeđivanju vode u tlu primjenom tlačnih lizimetara na tri različite pozicije: a) vrh, b) sredina i c) dno padine. Dodatno će se odrediti razlike obzirom na lokaciju lizimetara u redu, odnosno međuredu.

2. Pregled literature

2.1. Tok vode u tlu

Gibanje ili kretanje vode može biti kroz nezasićeno (nesaturirano) tlo i kroz zasićeno (saturirano) tlo. Brzinu i smjer gibanja određuje agregatno stanje vode, količina vode u tlu, tekstura, struktura, poroznost tla, sadržaj organske tvari u tlu i sile koje uzrokuju gibanje (Mustać, 2015.). U tlu voda se može kretati u svim smjerovima: descendentno, ascendentno i lateralno. Smjer gibanja ovisi o djelovanju kohezivnih sila u kapilarama tla. Tijekom prirodnog vlaženja tla voda se kreće descendentno (prema dolje). Kretanje vode kapilarnim vlaženjem od strane podzemne vode odvija se ascendentno (prema gore), a prilikom lateralnog kretanja vode (bočno) tlo se vlaži u svim smjerovima.

Tri su osnovna oblika gibanja vode u tlu, u tekućem obliku: kapilarno gibanje, infiltracija (upijanje) i filtracija (vodopropusnost) (Geography and you, 2017.).

- Kapilarno gibanje: kapilarno gibanje ili kapilarna voda se kreće pod utjecajem kapilarnih sila, odnosno površinskih sila čestica tla koje se javljaju u porama promjera 2-10 mikrometara. Kapilarna voda je raspoloživa za usvajanje biljkama. Količina kapilarne vode u nekom tlu označava se kao poljski vodni kapacitet (0,33 bara za glinovasto- ilovasta tla) ili kapilarni kapacitet tla. Kapilarna voda dugo se zadržava u tlu, ne otječe i kreće se u svim pravcima, a najviše iz mjesta veće vlažnosti tla prema manjoj vlažnosti. Kapilarna voda se dijeli na: kapilarnu nepokretnu vodu, koja se nalazi u sitnim kapilarama u koje korijenove dlačice ne prodiru i nepristupačna je za biljke.
- Infiltracija: tlo djeluje kao spužva za uzimanje i zadržavanje vode. Kretanje vode u tlu naziva se infiltracija. Infiltracija se odnosi na otjecanje vode prema dolje s površine tla. To je površinska karakteristika stoga je prvenstveno pod utjecajem stanja površinskog sloja tla. Površina tla s vegetativnim pokrivačem ima veću stopu infiltracije od golog tla. Na infiltraciju najviše utječu tekstura i struktura tla. Stopa infiltracije je relativno niža na vlažnom tlu u odnosu na suho tlo.
- Filtracija (vodopropusnost): je gibanje vode kroz tlo zasićeno vodom. Voda odlazi u dublje slojeve kroz makropore tla a navedeno gibanje uzrokuje gravitacija i hidrostatski tlak. Odvija se nakon završene infiltracije kada su sve pore tla ispunjene vodom. Tla s velikim udjelom gline i zbijenim horizontima imaju lošu vodopropusnost.

2.1.1. Oblici vode u tlu

Jedna od najvažnijih funkcija tla je usvajanje vode npr. tijekom kišnih razdoblja tlo usvaja vodu i pohranjuje ju. Prema tome imamo tri osnovna oblika vode u tlu: gravitacijsku vodu, kapilarnu vodu i higroskopnu vodu.

Gravitacijska u tlu uzrokuje kretanje vode prema dolje, odnosno prema središtu Zemlje, ako joj se ne suprotstavi sila jednake jačine. Gravitacijski potencijal je mjera promjene visine u odnosu na referentnu vrijednost (razina mora). Utjecaj gravitacije na vodni potencijal tla najizraženiji je nakon oborina (navodnjavanja), a s vremenom postupno slabi. U biljci je na staničnoj razini utjecaj gravitacije zanemariv u odnosu na preostala dva potencijala (higroskopnog i osmotskog) (Ondrašek i sur., 2015.).

Kapilarna voda je voda koja se zadržava u mikroporama tla i čini otopinu tla. Međutim kako se tlo isušuje, veličina pora raste i gravitacija počinje pretvarati kapilarnu vodu u gravitacijsku i ona se počinje micati prema dolje. Kapilarna voda je dostupna biljkama jer se nalazi u otopini tla odmah do korijena biljke.

Higroskopna voda nastaje kao vrlo tanki film koji okružuje čestice tla i općenito nije dostupna biljkama. Ova vrsta vode u tlu toliko je čvrsto vezana za tlo, da korijen biljke može uzeti vrlo malo ili niti malo vode. Budući da se higroskopna voda nalazi na česticama tla, a ne u porama, određene vrste tla s malo pora npr. glina sadržavat će veći postotak higroskopne vode (Browne, 2015).

2.2. Hidraulička svojstva tla

Nekoliko hidrauličkih parametara tla uključujući hidrauličku vodljivost tla, brzinu infiltracije, kapacitet zadržavanja vode i dubina podzemne vode, potrebni su za različito i pravilno upravljanje vodama, koje uključuju odabir sustava za navodnjavanje. Hidraulička vodljivost definirana je kao sposobnost poroznog medija da prenosi vodu u zasićenim ili gotovo zasićenim uvjetima. Hidraulička vodljivost ovisi o čimbenicima kao što su tekstura tla, raspodjela čestica, oblik i stupanj međusone povezanosti pora koje provode vodu. Tla grublje teksture imaju veću hidrauličku vodljivost, dok tla s finom tekstutom imaju slabiju hidrauličku vodljivost. Biopore i kanali korijenja povećavaju zasićenu hidrauličku vodljivost ako sadrže vodu. Zbijenost, gustoća tla, sadržaj vode i vodni potencijal su faktori koji također utječu na hidrauličku vodljivost (Meter environment, 2017.).

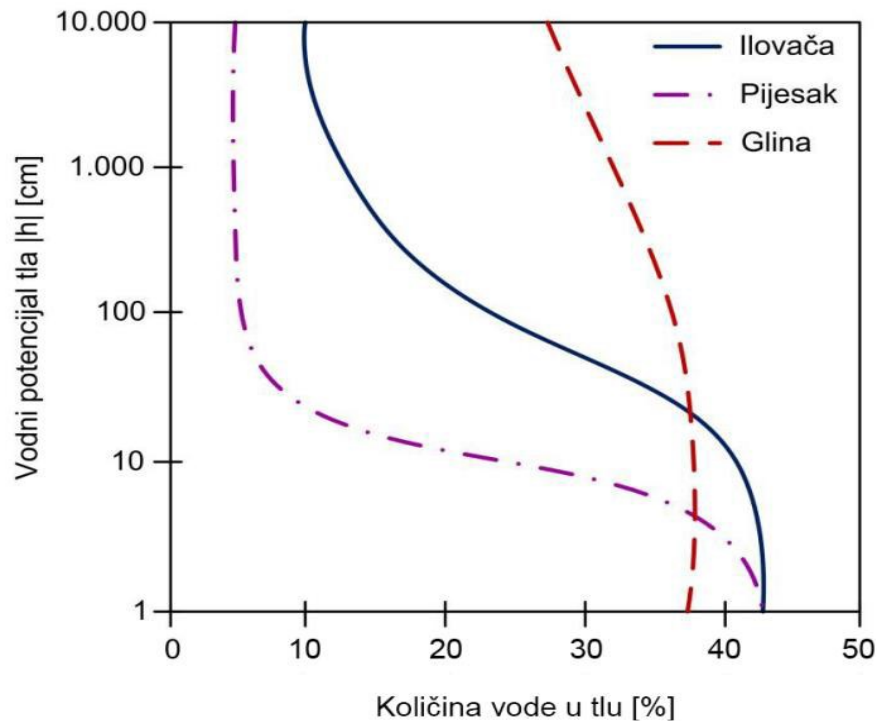
Brzina infiltracije je brzina kojom voda ulazi u tlo. Obično se mjeri dubinom (u mm) vodenog sloja koji može ući u tlo za jedan sat. U suhom tlu voda se brzo infiltrira, a to se naziva početna stopa infiltracije. Kako višak vode zamjenjuje zrak u porama, voda se s površine tla sporije infiltrira i na kraju postiže stalnu brzinu. To se naziva osnovna stopa infiltracije. Brzina infiltracije ovisi o teksturi tla (veličini čestica tla) i strukturi tla (raspored čestica tla) i koristan je način kategorizacije tla s gledišta navodnjavanja. Najčešća metoda mjerenja brzine infiltracije je terensko ispitivanje pomoću cilindra ili prstenastog infiltrimetra (Jensen, 1983.).

Kapacitet zadržavanja vode u tlu, je voda koju tlo zadržava nakon što prođe kroz pore tla. Zadržavanje vode uglavnom ovisi o veličini čestica tla. Kapacitet zadržavanja vode u tlu prvenstveno je određena teksturom (pjesak, mulj, sadržaj gline), strukturom (poroznost) i sadržajem organskih tvari. Zadržavanje vode u tlu kritično je za biljke i djeluje kao glavni izvor vlage. Vlaga u tlu može se iscrpiti zbog isparavanja izravno iz tla i transpiracijom biljaka (Jensen, 1983.).

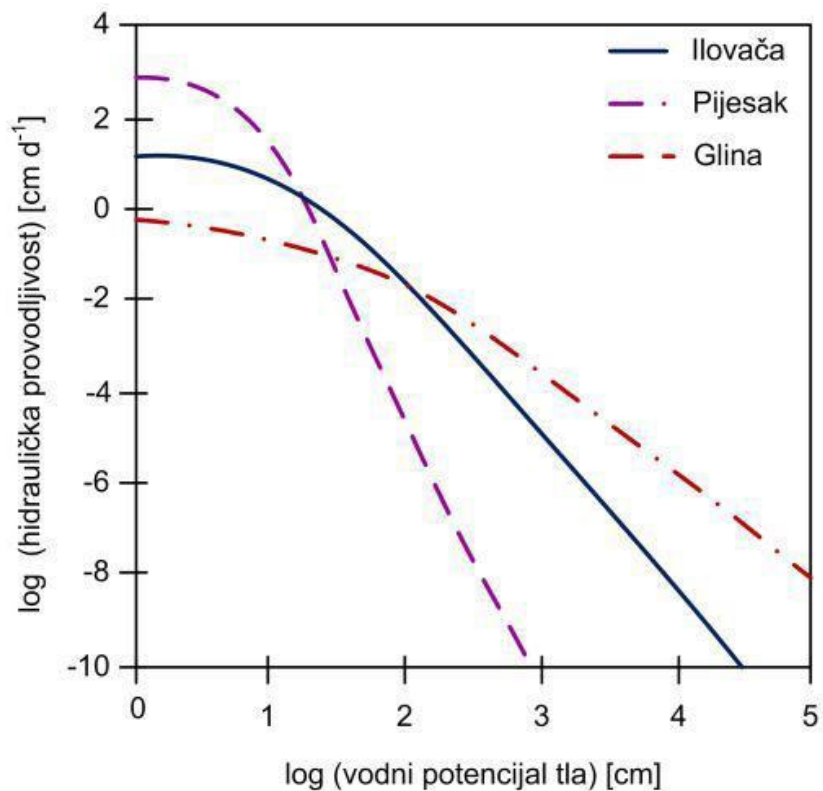
Pjeskovita tla (teksturno lakša tla) vodu gube mnogo brže u usporedbi sa teksturno težim tlima (glina, ilovača, praškasta ilovača) što prikazuje izravan odraz distribucije veličine pora u tlu pri određenoj teksturnoj jedinici tla. Obzirom da većina pora u teksturno lakšim tlima ima veći promjer, voda će se procijediti kod malih negativnih potencijala tla, a u teksturno težim tlima procjeđivanje vode događa se pri vrlo visokim vrijednostima negativnog vodnog potencijala. Oblik retencijske krivulje opisuje se primjenom različitih modela, a najčešće primjenjivan je van Genuchten – Mualem model (van Genuchten 1980.).

Vodni potencijal predstavlja kemijski potencijal vode (Petek i Lazarević 2015.). Kemijski potencijal vode definira se kao relativna veličina, a predstavlja razliku između potencijala tvari u određenim uvjetima i potencijala vode u standardnim uvjetima. Slobodnu energiju po jedinici volumena vode u otopini u odnosu na standardno stanje vode opisuje vodni potencijal. Najvažnije su komponente: hidrostatski (osmotski) potencijal, gravitacijski potencijal i matrični potencijal. Za nesaturiranu zonu se najčešće koristi kombinacija matričnog potencijala s hidrostatskim tlačnim potencijalom za saturiranu zonu (pozitivan predznak) kao vodni potencijal tla (h – definiran jedinicom duljine) koji je onda lako primjenjiv za saturirane i nesaturirane uvjete.

Prema Or i Wraith (1997.) hidraulička provodljivost opisuje se kao sposobnost tla za transport vode te je inverzno povezana s otporom toka vode u tlu. Hidraulička provodljivost se smanjuje prilikom sušenja tla i sa smanjenjem volumena pora koje su ispunjene vodom. U teksturno lakšim tlima (pjesak) hidraulička provodljivost je mnogo veća u usporedbi s tlima ilovaste ili glinovite strukture (Slike 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3). Prema Filipoviću (2015.) ukoliko je smanjenje izraženo kao funkcija vodnog potencijala tla puno je izraženije u lakšim nego težim tlima. Većina modela za simulaciju toka vode u nesaturiranoj zoni tla temelje se na Richardsovoj jednadžbi toka vode (jednodimenzionalni tok u vertikalnom smjeru) (Richards 1931.).

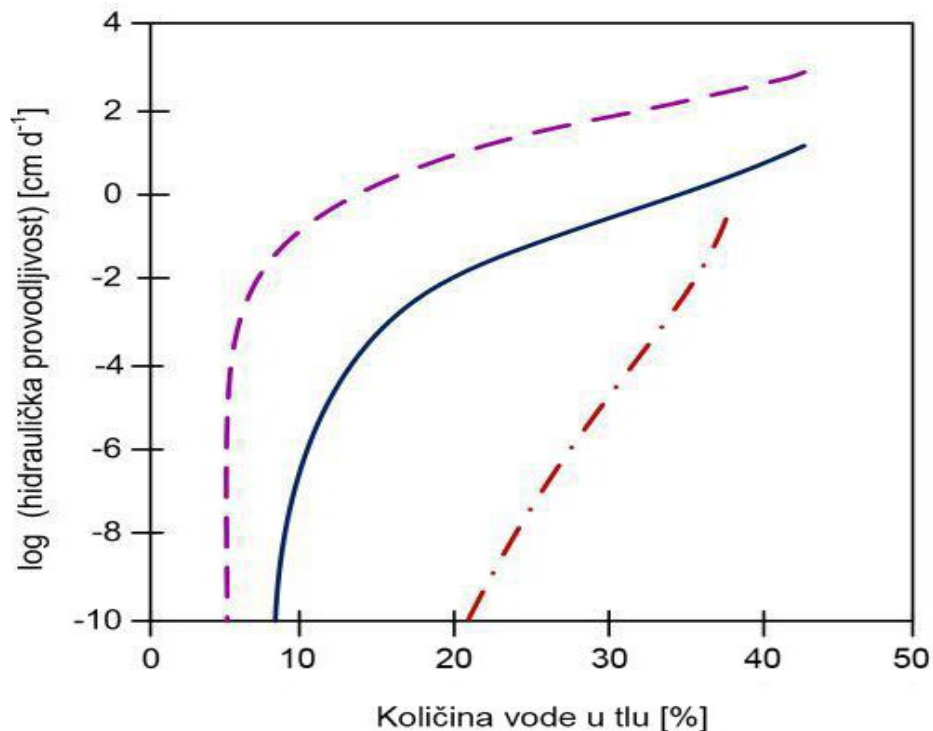


2.2.1 Primjer retencijske krivulje tla za ilovaču, pijesak i glinu (prikazano prema hidrauličkim parametrima; Izvor: Ondrašek i sur. (2015.))



2.2.2 Primjer odnosa hidrauličke provodljivosti i vodnog potencijala tla;

Izvor: Ondrašek i sur. (2015.)



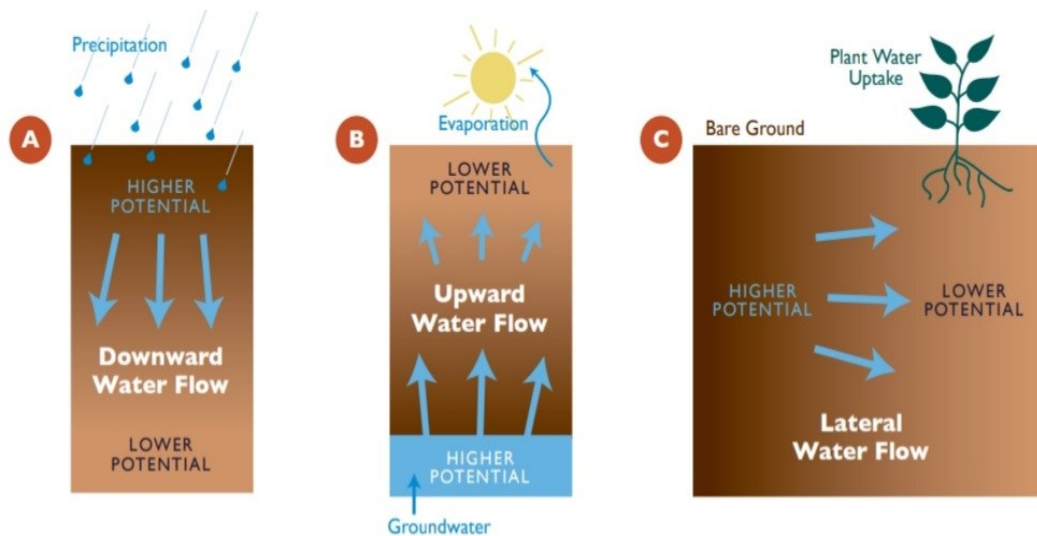
2.2.3 Odnos hidrauličke provodljivosti i relativne količine vode u tlu za teksturno različita tla; Izvor: Ondrašek i sur. (2015.)

2.3. Transport otopljenih tvari u tlu

Većina vode na zemlji nalazi se u kontinuiranom ciklusu između vodnih tijela, kopna i atmosfere. Važna komponenta ovog ciklusa je kruženje vode u tlu. Procesi kojima voda ulazi, kreće se i izlazi iz tla ključni su za održavanje biljaka i organizama u tlu, transport hranjivih tvari i punjenje zaliha površinskih i podzemnih voda. Voda koja se kreće u tlu također utječe na ponašanje i transport otopljenih tvari u tlu i njihov utjecaj na kvalitetu vode. Otopljene tvari odnose se na otopljene komponente vodene otopine tla, koje mogu uključivati plinove, hranjive sastojke, minerale i kemijske spojeve.

Voda u tlu ulazi i kreće se kroz tlo kao odgovor na promjene u 'potencijalnoj energiji' ili energetskom statusu vode. Kretanje vode je uvijek 'gradijent prema dolje' u smislu potencijalne energije (slika 2.3.1), što znači da voda uvijek teče od više do niže potencijalne energije. Ovisno o smjeru gradijenta potencijalne energije, protok vode može biti prema dolje, vodoravno ili prema gore. Tok prema dolje javlja se pod silom gravitacije i pretežno je u velikim (makro) porama zasićenih tla, dok su vodoravni i uzlazni tokovi rezultat kapilarnih sila u malim (mikro) porama nezasićenih tala. Ostali primjeri kapilarnog protoka su kretanje podzemne vode prema gore u tlo i kretanje vode iz brazda ili jarka u polje. Na kapilarni protok u tlima utječe tekstura i veličina pora. Fino teksturirana tla imaju veću sposobnost

zadržavanja vode od tala za krupnijim česticama u nezasićenim uvjetima zbog većeg postotka mikropora u finom tlu (McCauley i sur., 2005.).



2.3.1 Primjeri toka vode u tlima. Kiša će saturirati površinu tla i kretati se prema dolje tj. prema nižem potencijalu tla (A). Međutim, kako kiša prestane, a voda unutar makropora se cijedi, voda u blizini površine isparava (B) ili je usvaja vegetacija (C), što uzrokuje da je potencijalna energija na površini i u korijenu niža od okolnog tla. Dakle, voda se kreće bočno ili prema gore preko mikropora kao odgovor na razlika gradijentu. Izvor:

https://landresources.montana.edu/swm/documents/final_SW4_proof_11_18_05.pdf

Infiltracija je postupak ulaska vode kroz površinu tla, igra važnu ulogu u ciklusu vode u tlu jer kontrolira koliko će i kojom brzinom voda ući u tlo. To zauzvrat može utjecati na retenciju vode u tlu, prinose usjeva, učinkovitost navodnjavanja i pronos otopljenih tvari u profil tla. Dva glavna čimbenika koji utječu na infiltraciju su hidraulička vodljivost i brzina infiltracije. Hidraulična vodljivost odnosi se na lakoću kretanja vode kroz tlo, vodoravno i okomito, a smanjuje se smanjenjem veličine pora i sadržaja vode. Stopa infiltracije, brzina kojom voda ulazi u tlo, povezana je s kapacitetom infiltracije tla; što znači njegovu sposobnost upijanja vode. Ako se voda kreće brzinom manjom od sposobnosti infiltracije tla sva voda kretat će se kroz tlo, a stopa infiltracije bit će jednaka brzini vodopropusnosti. Ipak, ako je voda dovedena brzinom većom od stope infiltracije u tlo, višak vode će se nakupiti na površini i otjecati ili stagnirati. Stope infiltracije ovise o brojnim čimbenicima, uključujući količinu primijenjene vode, početni sadržaj vode u tlu, svojstva tla, hidrauličku vodljivost i vrijeme. Stope infiltracije su najviše kada voda u početku ulazi u tlo uslijed ulaska vode u pore tla. Kako pore postaju napunjene vodom, stopa infiltracije smanjuje se sve dok se ne postigne održiva, stabilna brzina. Suha tla obično imaju veće početne stope infiltracije od vlažnih tla zbog više raspoloživog prostora pora tj. retencijske sposobnosti. Iznimka od toga događa se

kada tla postanu izuzetno suha, tako da postanu hidrofobna ili vodoodbojna. Hidrofobnost će uzrokovati da se sloj vode pojavljuje na površini suhих, „prašnjavih“ tla, a ne da se infiltrira. Stope infiltracije između tipova tla kreću se od vrlo niskih do vrlo visokih zbog varijabilnosti teksture, strukture, dubine i prisutnosti slabo propusnih slojeva tla. Općenito, grublja teksturirana tla imaju i veću hidrauličku vodljivost i brzinu infiltracije od fino teksturiranih tla zbog povezanih makropora koje mogu propuštati veće količine vode zbog varijabilnosti uvjeta tla. Sukladno, stopa infiltracije u poljskim tlima vjerojatno će imati visoku prostornu varijabilnost. Na primjer, infiltracija kroz zonu obrade može biti veća nego kroz neporušene dublje slojeve tla. To može dovesti do nakupljanja vode duž zone obrade. Isti scenarij može se dogoditi kada tla grube teksture prekrivaju tla fine teksture. Uzorkovanje tla do dubine zone ukorjenjivanja svake kulture može pomoći u identificiranju promjena u teksturi, hidrauličkoj vodljivosti i drugim svojstvima tla koja mogu utjecati na transport vode i kemikalija kroz profil tla (McCauley i sur., 2005.).

Dakle voda infiltracijom ulazi u tlo i kreće se od više prema nižoj potencijalnoj energiji. Učinak gospodarenja tlom, poput obrade tla, na infiltraciju i preferencijalni tok može se uvelike razlikovati ovisno o svojstvima tla, uvjetima na lokaciji i vremenu. Općenito, obrada tla kratkoročno će poboljšati infiltraciju, dok konzervacijski sustavi obrade tla mogu rezultirati dugoročnim povećanjem infiltracije i preferencijalnog toka. Razumijevanje transporta otopljenih tvari u tlu i njihovog potencijala da kontaminiraju izvore vode važno je za zaštitu kvalitete podzemnih i površinskih voda. Pesticidi visoke topivosti, dugog vremena poluraspada i niskih koeficijenata sorpcije, najosjetljiviji su na ispiranje, posebno u tlima velike propusnosti, infiltracije i preferencijalnog toka. Gospodarenje kao što su pravilna primjena pesticida i navodnjavanja i vrijeme primjene može smanjiti ispiranje otopljene tvari i otjecanje kako bi se izvori vode održali čistima (McCauley i sur., 2005.).

2.4. Hidrologija padinskih tala

Reljef nastaje pod utjecajem endogenih (unutrašnjih) i egzogenih (vanjskih) sila i procesa koji ga oblikuju (Poturica, 2020.). Endogene sile čine Sunčeva energija i gravitacija koje izravno ili neizravno uzrokuje mehaničke i kemijske promjene u reljefu. Egzogeni procesi su svi procesi koji izvana mijenjaju reljefne oblike nastale endogenim procesima. Egzogenim procesima smatramo eroziju, koroziju, abraziju, denudaciju i akumulaciju. Prema mjestu nastanka egzogene procese možemo podijeliti na padinske, glacijalne, eolske, marinske, fluvijalne i krške (Meaški, 2015).

2.4.1. Utjecaj nagiba

Stupanj nagiba daje osnovu za diferencijaciju mikro-okoliša, unutar kojeg različiti režimi vlažnosti tla kontroliraju razlike u stanju tla. Ograničavajući čimbenici reguliraju gubitke evapotranspiracije tako da su prostorne nejednakosti kumulativno umanjujuće. Ipak,

sezonska promjena uvjeta tla i uvjeta vlažnosti tla dovoljna je da utječe na razlike u raspoloživosti vode unutar sliva (Swisanto, 2019.).

Nagib terena i erozija utječu na gubitak vrijednog površinskog sloja tla, koji sadrži najveće količine hranjivih tvari, koje izravno utječu na rast, razvoj i prinos biljnih kultura. Organska tvar i mineralna gnojiva gube se erozijom budući da se prenose na donje dijelove padina gdje se akumuliraju. Prema Špoljaru (2016.) što je padina strmija i duža, veći je rizik od erozije, a potencijal erozije se dodatno povećava sa smanjenjem vegetacijskog pokrova. Na nagibima terena do 3° ne postoji opasnost od erozijskih procesa i tlo se koristi za uzgoj svih kultura. Sjetvom u pojaseve ili konturnom obradom (obrada tla po izohipsama) i uzgojem kultura u plodoredu umanjuju se procesi erozije na nagibima od 3 do 7°.

2.4.2. Utjecaj načina korištenja tla

Neodrživo gospodarenje tlima ubrzava degradaciju tala s negativnim posljedicama na plodnost tala. Upravo vinogradi predstavljaju jedan od najosjetljivijih zemljišta na degradacijske procese. Intenzivna obrada tla, korištenje agrokemikalija, višegodišnje zbijanje mehanizacijom rezultira degradacijskim procesima (Bogunović i sur., 2017.). Iako se obrada tla koristi za ublažavanje zbijenosti tla, naposljetku dovodi do širokog raspona negativnih procesa u tlima kao što su narušavanje strukture tla, ubrzani erozijski procesi, gubitak organske tvari i plodnosti tla. Neodgovarajuća obrada tla je glavni razlog za smanjenje organske tvari u tlima, u odnosu na konzervacijsko gospodarenje. Takva tla su podložna stvaranju pokorice, brzom konsolidaciji i zbijanju, te eroziji vodom (Ćaćić i Bogunović, 2018.), stoga su usvajanja konzervacijskih načina gospodarenja tlima u vinogradima ključna da se smanji negativni utjecaj čovjeka na tlo.

2.4.3. Utjecaj vegetacijskog pokrova

Ljudske potrebe zbog rasta stanovništva rezultiraju degradacijom prirodnih resursa poput nestabilnosti sliva. Promjena namjene zemljišta mijenja stvarnu eroziju područja zbog promjene pokrovnog usjeva na površini tla. Učinak biljaka na eroziju određuje se vrstom biljke, gustoćom biljaka, rasprostranjenošću, visinom i smjerom rasta usjeva tj. biljaka. Učinak biljnih vrsta na eroziju određuje se krošnjom ili nadzemnim dijelom biljke i njezinim korijenjem, dok gustoća i rasprostranjenost biljaka ukazuju na zaštićenu površinu tla od oborina. Štoviše, strmi nagib pretpostavlja se kao pokretač erozije. Strmi nagib povećat će učestalost i brzinu otjecanja, tako da će erozija biti ubrzana zbog više transportiranih i otopljenih materijala. Strmiji nagib pojačat će protok što rezultira većom snagom i količinom vode za transport tla. Porast erozije na strmim padinama rezultat je povećanja površinskog otjecanja i također razlog pada infiltracije. Općenito, klasa nagiba od 18-15%, 15-25%, 25-40% pretpostavlja se kao ranjiva područja za eroziju. Stoga ove klase moraju imati posebnu pažnju i tretman. Stanje sliva mora biti precizno poznato kako bi se procijenila i ublažila šteta (Jensen, 1983.).

Vegetacijski pokrov ima važnu ulogu u sprječavanju djelovanja erozije zbog dubokog korijenja koje stabilizira i poboljšava strukturu tla, dok korijenje trava pospješuje otpornost površinskog tla od erozije. Vegetacija kontrolira razinu erozije tla krošnjama i korijenjem, ali erozija utječe na vegetaciju u smislu sastava i strukture biljne populacije na zemljištu. Usjevi koji daju puni zaštitni pokrov za veći dio godine (npr. lucerna) mogu značajno smanjiti eroziju za razliku od usjeva koji veći dio vremena ostavljaju tlo golim, osobito tijekom razdoblja vrlo erozivnih kiša tijekom proljeća i ljeta (Ritter, 2012.).

2.4.4. Utjecaj teksture tla

Tekstura ili mehanički sastav tla predstavlja relativan odnos mehaničkih čestica tla. Tekstura tla utječe na potencijalnu eroziju tla. Što je tekstura tla grublja, manja je aktivna površina čestica tla što dovodi do manje otpornosti tla na eroziju. Tekstura tla se mijenja s obzirom na dubinom tla, ali se tekstura površinskog horizonta tla smatra najvažnijim faktorom kod erozije vodom. Zbog utjecaja erozije na teksturu, na gornjim dijelovima padine veće su količine praha i gline, dok je veća količina pijeska na donjim dijelovima padine (Bašić i sur., 2002.). Prema Lado i suradnicima (2004.) tekstura tla utječe na infiltraciju, brzinu otjecanja i stabilnost agregata. Pjeskovita, pjeskovito-ilovasta tla i tla s ilovastom teksturom su manje podložna eroziji od tala praškaste teksture i s većim udjelom gline (Ritter i sur., 2012.). Poesen (1994.) je otkrio da se muljevito ilovasto tlo opire agregatnom raspadu i održava visoku stopu infiltracije. Quansah (1981.) je primijetio da je pijesak, čestica tla s najnižom kohezijom od svih mehaničkih čestica tla, ima najveću stopu disperzije čestica tla uslijed raspršivanja energije kišnih kapi koje padaju na površinu tla, slijedi glina, a zatim ilovača. Transport čestica tla bio je najveći za glinu jer je potrebno manje energije za pomicanje manjih čestica gline od čestica pijeska. Tekstura tla utječe na infiltraciju, brzinu otjecanja te stabilnost agregata (Lado i sur., 2004.). Prema Ritter i suradnicima (2012.) pjeskovita, pjeskovito-ilovasta tla i tla s ilovastom teksturom su manje podložna eroziji od tala praškaste teksture i s većim udjelom gline.

2.5. Lizimetarska tehnologija

Lizimetar je mjerni uređaj koji se može koristiti za mjerenje količine stvarne evapotranspiracije biljaka (obično poljoprivrednih ili šumskih kultura). Mjerenjem količina oborina koje neko područje prima i količine procijeđene kroz tlo, može se izračunati količina vode izgubljene uslijed evapotranspiracije.

Lizimetri definiraju određenu granicu vode u tlu i dopuštaju mjerenje ravnoteže između tla i vode ili volumena vode koji se okomito cijedi te same kvalitete vode. Lizimetri se mogu za jednostavno određivanje okomitog protoka tla i vode ili kretanja otopina unutar tla na definiranoj granici. Ovi uređaji mogu izvlačiti vodu iz tla pod vakumom ili gravitacijski. Kod pravilno projektiranih lizimetara moguće je mjerenje brzine odvodnje, kao i brzine

isparavnja. Točnost mjerenja vode pri isparavanju izravno je povezana s preciznošću mjerenja tla i vode te njezinim spajanjem kroz zonu korijena vegetacije. Preciznost lizimetara ovisi o velikom broju čimbenika, a glavni su: razlučivost mjerenja, protutežna sila te omjer površine i volumena (Howell, 2005.).

Osnovna svrha lizimetara je mjerenje različitih komponenti bilance vode (ili skupina komponenti), stoga su opremljeni različitim vrstama uređaja za mjerenje, promatranje ili reguliranje različitih procesa. Lizimetri se mogu razlikovati ne samo po veličini, već u konstrukciji i načinu rada. Razlike u načinu rada lizimetara: prema vrsti površine (gola površina ili prekrivena vegetacijom), karakter određene zone (dubina, struktura, korijenov sustav), vrsta tla (homogena, slojevita, kohezivna ili zrnata), regulacija sadržaja vlage (položaj podzemne vode, održavanje zadane vrijednosti na donjoj granici), punjenje i ispuštanje vode (prirodnim ili umjetnim putem), mjerne tehnike za mjerenje bilance vode. Konstrukcijski aspekt ne utječe samo na pouzdanost i točnost mjerenja, već istodobno određuju koje su komponente ili koje skupine se mogu mjeriti lizimetrom. To je razlog zašto podaci koji se dobivaju s različite vrste opreme nisu usporedivi. Nije moguće dati prednost jednoj vrsti lizimetara, jer različite vrste lizimetara određuju različite skupove parametara pa je stoga izbor lizimetara određen svrhom istraživanja (Kovacs, 1976.). Izbor vrste lizimetara može se odrediti prema zahtjevima konstrukcije (kružna, kvadratna, prvokutna). Međutim veličina područja važan je parametar. Poželjno je imati što veći lizimetar jer se različiti učinci povećavaju u odnosu na smanjenje vodoravne površine (Kovacs, 1976.).

Vrste lizimetara možemo podijeliti na:

- Lizimetar za uzorkovanje (slika 2.6.1), predstavlja uređaj za uzorkovanje vode iz tla. Voda se kreće iz tla kroz poroznu keramičku čašu u neki spremnik za kasnije sakupljanje. Do kretanja vode dolazi uslijed izvlačenja vakuuma na keramičku čašu. Zatim se uzorak odvodi u laboratorij za daljnju kemijsku analizu. Postoje brojne vrste lizimetara za uzorkovanje, ovisno o tome treba li uzorkovati otopinu blizu površine, duboko u profilu ili ako se radi o jedinstvenim kemikalijama. Lizimetar za uzorkovanje koristi se u kontinuiranim aplikacijama praćenja, poput ispitivanja ispod usjeva, ili čak u eksperimentima sa kolonama tla u laboratoriju. Ova vrsta lizimetra najbolje se koristi na relativno vlažnim tlima, tipično s maksimalnim vodnim potencijalom od -90 kPa.



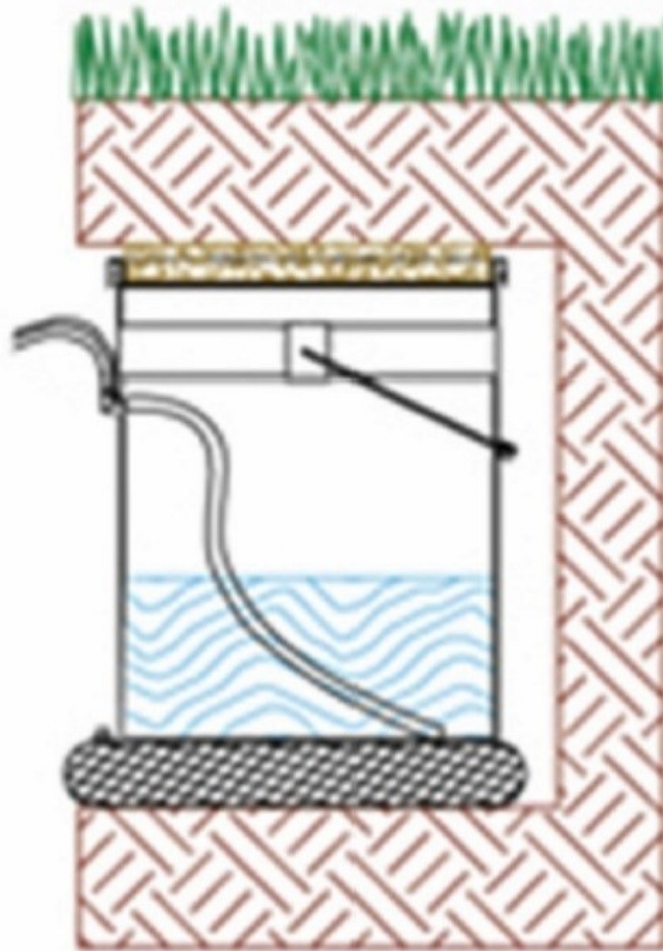
2.6.1. Lizimetar za uzorkovanje vode iz tla tj. usisna cijev ili suction cups
<https://www.ictinternational.com/casestudies/lysimeters-simple-definition-but-complex-in-application/>

- Težinski lizimetar (slika 2.6.2) je neporušeni cilindar tla iskopan specijaliziranom opremom koji je postavljen na preciznu vagu. Takav je cilindar u betonskom ili metalnom kućištu izvađen iz tla te vraćen na istu ili drugu lokaciju. Ispod kućišta nalazi se vaga koja, ovisno o modelu, može vagati nekoliko tona tla s visokom preciznošću. Ispod vage nalazi se spremište u kojemu su smješteni zapisnici podataka, uzorkivači, sifoni, elektronika, itd. Dovoljno je reći da su težinski lizimetri najsloženiji, ali i precizniji od svih ostalih lizimetara. Koriste se u hidrološkim modelima, istraživanjima evapotranspiracije, rudnicima, odlagalištu otpada i poljoprivrednom monitoringu. Težinski lizimetari obično se koriste za precizno praćenje kretanja vode u tlu, ali također se mogu koristiti u praćenju hraniva i kemikalija.



2.6.2. Težinski lizimetar nad zemljom (lijevo) i ispod zemlje (desno).
<https://www.ictinternational.com/casestudies/lysimeters-simple-definition-but-complex-in-application/>

- Gravitacijski lizimetar (slika 2.6.3) poznat je i kao lizimetar nulte napetosti tj. tlaka. Posuda koja se puni grubim materijalom poput šljunka, nalazi se u profilu tla ispod mjesta na kojem nam je potrebno, na primjer ispod usjeva ili travnjaka. Voda prolazi kroz grubi materijal u uređaj za sakupljanje. Količina vode u uređaju za sakupljanje mjeri se ručno ili automatski pomoću senzora za mjerenje dubine vode. Međutim gravitacijski lizimetar može biti vrlo netočan. Zbog fizikalnih karakteristika tla i problema povezanih s gradijentima vodenog potencijala, velika količina vode u tlu može se preusmjeriti te ju tako lizimetar ne može izmjeriti. O gravitacijskom lizimetru treba razmišljati samo kad su proračuni izuzetno ograničeni.



2.6.3. Gravitacijski lizimetar.

<https://www.ictinternational.com/casestudies/lysimeters-simple-definition-but-complex-in-application/>

- Pasivni kapilarni lizimetar ili tlačni lizimetar (slika 2.6.4), napredna je i precizna vrsta lizimetra. U ovom slučaju upijajući materijal, poput stakloplastike, održava fiksnu napetost na drenažnom kućištu na kojemu se nalazi uređaj za sakupljanje. Ova cijev je obično od nehrđajućeg čelika duljine oko 1m. U cijev se postavlja netaknuti profil tla. Vrh lizimetra postavlja se u drenažnu zonu ispod zone korjenovog sustava biljke. Senzori za mjerenje razine vode mogu izmjeriti količinu vode koja prolazi kroz stakloplastično uže i može se odrediti brzina procjeđivanja. S određenim izvedbama pasivnih kapilarnih lizimetara, voda se također može sakupljati za kemijske analize. Lizimetar se obično postavlja ispod usjeva, travnjaka ili neke druge površine.



2.6.4. Pasivni kapilarni lizimetar ili tlačni lizimetar.

<https://www.ictinternational.com/casestudies/lysimeters-simple-definition-but-complex-in-application/>

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Područje istraživanja i opis lokacije

Terenska istraživanja su provedena na vinogradarsko-vinarskom pokušalištu Jazbina (slika 3.1.1.) u sklopu SUPREHILL projekta tijekom 2020. i 2021. godine. Na terenu su prikupljeni porušeni uzorci tla, pomoću kojih smo odredili odabrane fizikalno-kemijske karakteristike tla, na tri različite pozicije na padini. Na pokusu su instalirani tlačni lizimetri u tri ponavljanja, na tri pozicije na padini: a) vrh, b) sredina i c) dno padine u redu i međuredu.



Slika 3.1.1. Vinogradarsko-vinarsko pokušalište Jazbina.
(Autentična fotografija 22. listopada 2020. Autor: Blanka Horvatić)

Vinogradarsko-vinarsko pokušalište Jazbina (slika 3.1.2.), nalazi se u sastavu Agronomskog fakulteta od 1939. godine. Od tada do danas služi kao znanstveno-nastavno pokušalište za područja vinogradarstva, vinarstva i voćarstva. Smješteno u neposrednoj blizini Agronomskog Fakulteta, ponajprije je mjesto znanstveno-istraživačkog rada i edukacije studenata u području vinogradarstva i vinarstva. Tip tla na lokaciji istraživanja je pseudoglej obronačni.



3.1.2. Prikaz lokacije „Jazbina“ (Izvor: Google maps)

3.1.1. Klimatska obilježja

Odabrana je središnja pozicija vinograda (B II) za meteorološku postaju na lokaciji Jazbina kojom je mjerena solarna radijacija, oborine, relativna vlaga zraka, temperatura, atmosferski tlak, brzina i smjer vjetra te broj udara munja. Popis mjerenih parametara je prikazan u tablici 3.1.1.1.

Tablica 3.1.1.1. Prikaz klimatskih parametara koje mjeri postavljena meteorološka postaja na lokaciji Jazbina.

Meteorološka postaja	Raspon	Razlučivost	Točnost
Solarna radijacija	0-1750 W/m ²	1 W/m ²	+/- 5%
Oborine	0-400 mm/h	0.017 mm	+/- 5%
Tlak para	0-47 kPa	0.01 kPa	
Relativna vlaga zraka	0-100%	0.1%	
Temperatura zraka	-50 do 60 °C	0.1 °C	+/- 0.6 °C
Atmosferski tlak	50 do 110 kPa	0.01 kPa	+/- 0.1 kPa pri -10 do 50 °C, +/- 0.5 kPa pri -40 do 60 °C
Brzina vjetra	0 do 30 m/s	0.01 m/s	< 0.3 m/s ili 3% mjerenja
Smjer vjetra	0° do 359°	1°	+/- 5°
Nagib	-90° do +90°	0.1°	+/- 1°
Brojač udara munje	0-65, 535 udara	1 udar	>25% detekcije u <10 km
Udaljenost udara munje	0-40 km	3 km	

3.2. Fizikalno-kemijske karakteristike tla

Rezultati fizikalno-kemijskih analiza tla prikazani su u Tablici 3.2.1. i Tablici 3.2.2. Za određivanje fizikalno-kemijskih parametara uzeti su uzorci tla na dnu, sredini i vrhu padine s tri dubine: 0– 30, 30 – 60 i 60 – 90 cm (mjereno od površine tla).U tablici su prikazane srednje vrijednosti (3 repeticije).

Tablica 3.2.1. Kemijski sastav tla na lokaciji Jazbina.

KEMIJSKI SASTAV TLA					
POLOŽAJ NA PADINI	pH			E.C.	Humus
	H ₂ O	KCl	CaCl ₂	dS m ⁻¹	%
0 – 30 cm					
VRH (A I, II, III)	5,3	3,9	4,7	0,031	2,1
SREDINA (B I, II, III)	5,5	3,9	4,5	0,026	1,7
DNO (C I, II, III)	5,5	4,1	4,6	0,034	2,1
30 – 60 cm					
VRH (A I, II, III)	5,1	3,7	4,6	0,037	1,02
SREDINA (B I, II, III)	5,3	3,7	4,4	0,043	1,05
DNO (C I, II, III)	5,3	3,9	4,5	0,032	1,39
60 – 90 cm					
VRH (A I, II, III)	5,2	3,7	4,7	0,047	0,35
SREDINA (B I, II, III)	5,2	3,6	4,3	0,047	0,44
DNO (C I, II, III)	5,0	3,7	4,3	0,045	0,82

Tablica 3.2.2. Granulometrijski sastav tla (%) na lokaciji Jazbina.

POLOŽAJ NA PADINI	GRANULOMETRIJSKI SASTAV TLA [%]				
	Krupni pijesak	Sitni pijesak	Krupni prah	Sitni prah	Glina
	2 – 0,2	0,2 – 0,063	0,063 – 0,02	0,02 – 0,002	< 0,002
	Mm				
	0-30 cm				
VRH (A I, II, III)	1,7	4,0	31,7	39,3	23,3
SREDINA (B I, II, III)	2,7	4,0	30,3	39,7	23,3
DNO (C I, II, III)	3,0	3,7	32,3	42,7	18,3
	30 – 60 cm				
VRH (A I, II, III)	1,3	3,3	30,7	38,3	26,3
SREDINA (B I, II, III)	3,7	4,7	30,3	37,0	24,3
DNO (C I, II, III)	3,0	4,0	32,0	40,0	21,0
	60 – 90 cm				
VRH (A I, II, III)	3,7	3,7	25,3	35,0	32,3
SREDINA (B I, II, III)	11,0	5,7	23,7	32,3	27,3
DNO (C I, II, III)	2,7	3,7	30,7	37,0	26,0

3.3. Tlačni lizimetri

Tlačni lizimetri izrađeni su na temelju vlastitog nacрта, od nehrđajućeg čelika debljine 1,5 mm, dimenzija 250 x 250 x 40 mm, procjedbog otvora na sredini veličine 30 mm, utisnutog radi osiguravanja pada te odvodnog nastavka dužine 100 mm. Ploha tlačnog lizimetra zaštićena je filter mrežicom (slika 3.3.1.), radi sprječavanja začeljivanja. Iznad mrežice, postavljeno je stakleno uže ukupne dužine od 2 m, to jest 0,5 m na plohi te 1,5 m u armiranoj fleksibilnoj cijevi namontiranoj na odvod tlačnog lizimetra. Stakleno uže stvara negativni podtlak te omogućuje procjeđivanje vode i u uvjetima nepotpune saturacije tla, što osigurava veći volumen samog uzorka procjedne vode. Kontakt sa staklenim užem ostvaruje predhodno prosušeno i usitnjeno tlo s dubine ugrađivanja lizimetara te je dodatno na tlo aplicirano kvarcno brašno koje je po aplikaciji navlaženo. Armirana fleksibilna cijev vodi do spremnika za procjednu vodu koji su postavljeni na dubini od 1,5 m radi ostvarivanja potrebnog pada i podtlaka. Uzorkovanje se provodi putem vertikalno postavljene cijevi iz spremnika.



Slika 3.3.1. Tlačni lizimetar s postavljenom filter mrežicom.
(Autentična fotografija 21. listopada 2020. Autor: Blanka Horvatić)

Postupak postavljanja tlačnih lizimetara (36 komada) na pozicijama A I,A II,A III,B I,B II,B III,C I,C II,C III. Započinje sa iskopom rupe za kompletan sustav tlačnog lizimetara (slika 3.3.2.) i postavljanje spremnika za prikupljanje procjedne vode na odgovarajuću dubinu radi ostvarivanja pada cijevi i podtlaka.



Slika 3.3.2. Iskop rupe za kompletan sustav tlačnih lizimetara.
(Autentična fotografija 21. listopada 2020. Autor: Blanka Horvatić)

Nakon iskopa rupe za sustav, kopaju se utori u profilu na dubini od 30 cm, postavlja se stakleno uže kroz sustav i filter mrežice na tlačni lizimetar radi sprječavanja začepjenja sustava. Spajaju se armirane fleksibilne cijevi i pričvršćuju obujmicom na tlačni lizimetar. Isti se puni s prethodno posušenim i usitnjenim tlom s iste dubine na koju se instalira tlačni lizimetar. Nakon toga se zasipava kvarcnim brašnom radi ostvarivanja boljeg kontakta s

gornjim tlom, te se vlaži prije instalacije također radi ostvarivanja boljeg kontakta s gornjim tlom. Tlačni lizimetar se instalira u utor u profil tla. Slijedi usitnjavanje čvrstog materijala (crijep i prilagođeni aluminijski ovjesi) ispod tlačnog lizimetra u utor radi osiguravanja boljeg kontakta s gornjim tlom te punjenje rupa ispod lizimetara tlom. Armirane fleksibilne cijevi se spajaju sa spremnikom za prikupljanje procjedne vode (slika 3.3.3.) putem T-kojlena i umetnute gumene manžete te se silikoniraju spojevi radi osiguravanja zabrtvljenosti i instaliranje vertikalne cijevi na spremnik radi omogućavanja uzorkovanja procjedne vode. Na samome kraju se zatrpavaju rupe postepenim utiskivanjem tla (slika 3.3.4.).



Slika 3.3.3. Spremnici za prikupljanje procjedne vode.
(Autentična fotografija 21. listopada 2020. Autor: Blanka Horvatić)



Slika 3.3.4. Zatrpavanje rupe postepenim utiskivanjem tla.
(Autentična fotografija 2. studenoga 2020. Autor: Blanka Horvatić)

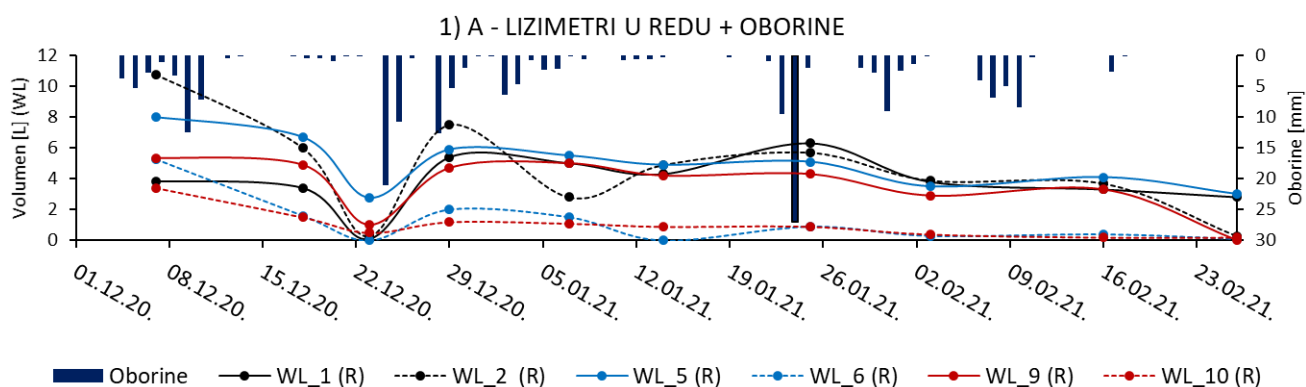
3.4 Statistička obrada podataka

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 luzimetra na padini kao nezavisnom varijablom i analizom grupe mjerenja s obzirom na red i međured, a značajnost razlike između srednjih vrijednosti određena je Tukeyevim testom (Tukey's Studentized Range Honest Significant Difference - HSD Test) pri $P < 0,05$.

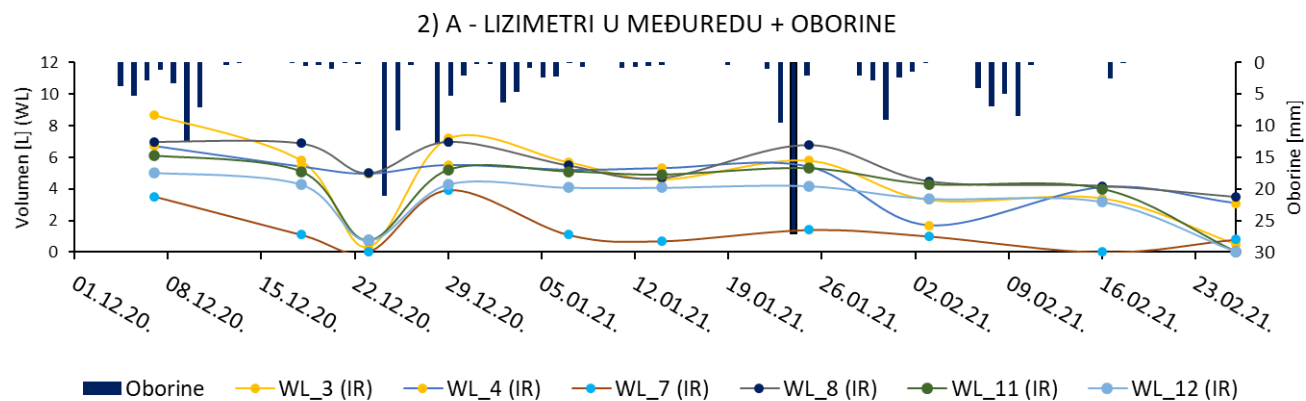
4. Rezultati i rasprava

4.1. Istek vode iz lizimetara

Tijekom razdoblja od 1.12.2020. do 26.2.2021. prikupljeno je dvanaest uzoraka s dvanaest lizimetara na poziciji A (vrh). Lizimetri su postavljeni u tri reda, po dva u redu i dva u međuredu. Najmanja izmjerena vrijednost je bila 0,03 L, dok je najviša vrijednost bila 10,75 L. Prosjek za poziciju A bio je 3,92 L. (Graf 4.1.1. i graf 4.1.2.)

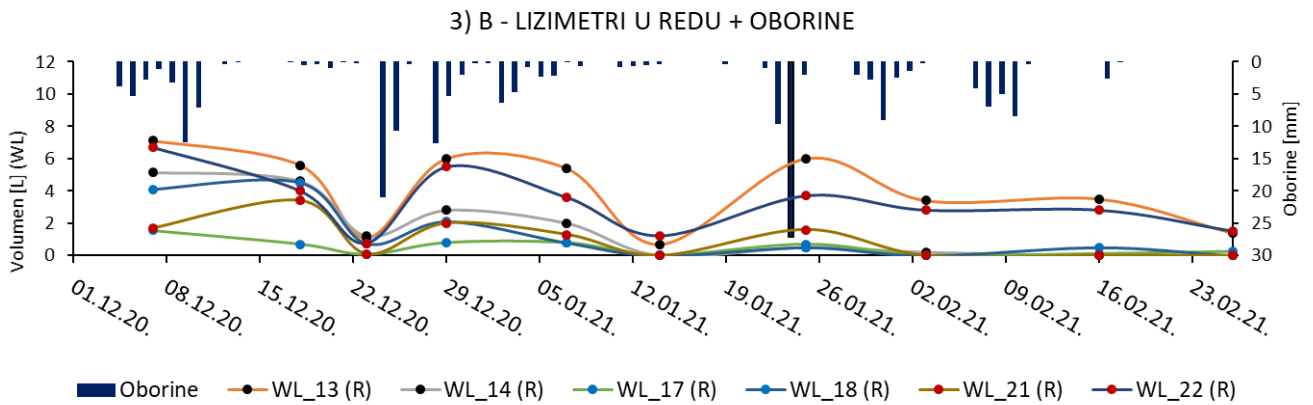


4.1.1. Graf pozicije A- lizimetri u redu i oborine

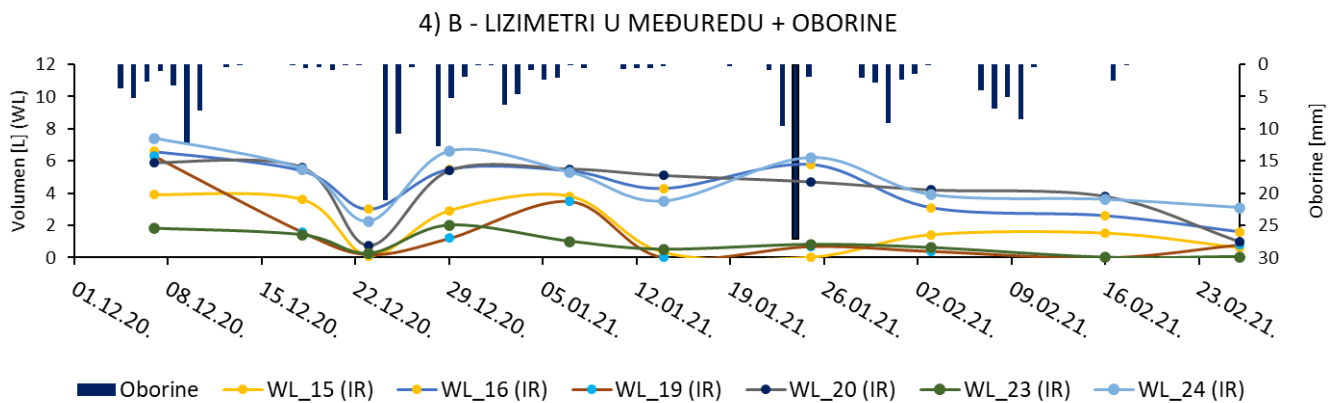


4.1.2. Graf pozicije A- lizimetri u međuredu i borine

Tijekom razdoblja od 1.12.2020. do 26.2.2021. prikupljeno je dvanaest uzoraka s dvanaest lizimetara na poziciji B (sredina). Lizimetri su postavljeni u tri reda, po dva u redu i dva u međuredu. Najmanja izmjerena vrijednost je bila 0,04 L, dok je najviša vrijednost bila 7,4 L. Prosjek za poziciju B bio je 2,69 L. (Graf 4.1.3. i graf 4.1.4.)

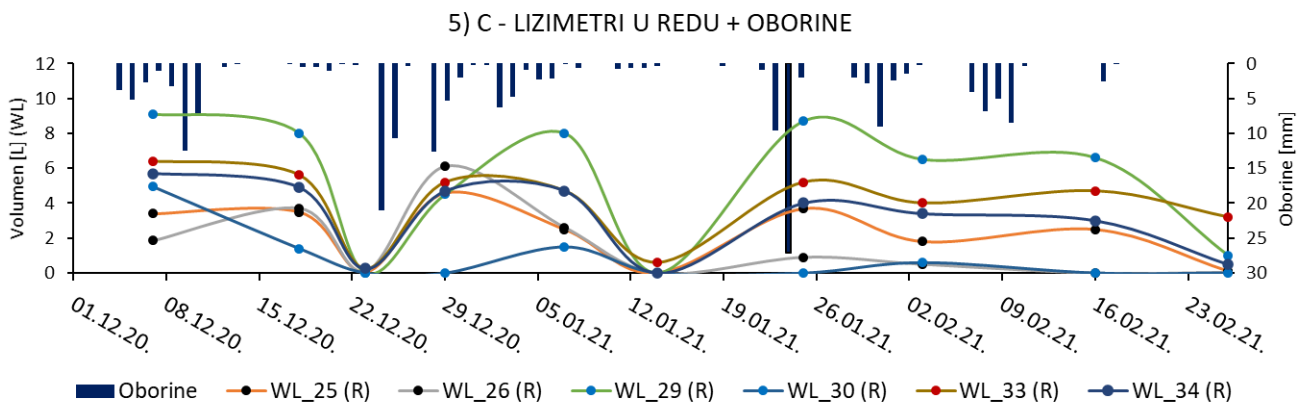


4.1.3. Graf pozicije B- lizimetri u redu i oborine

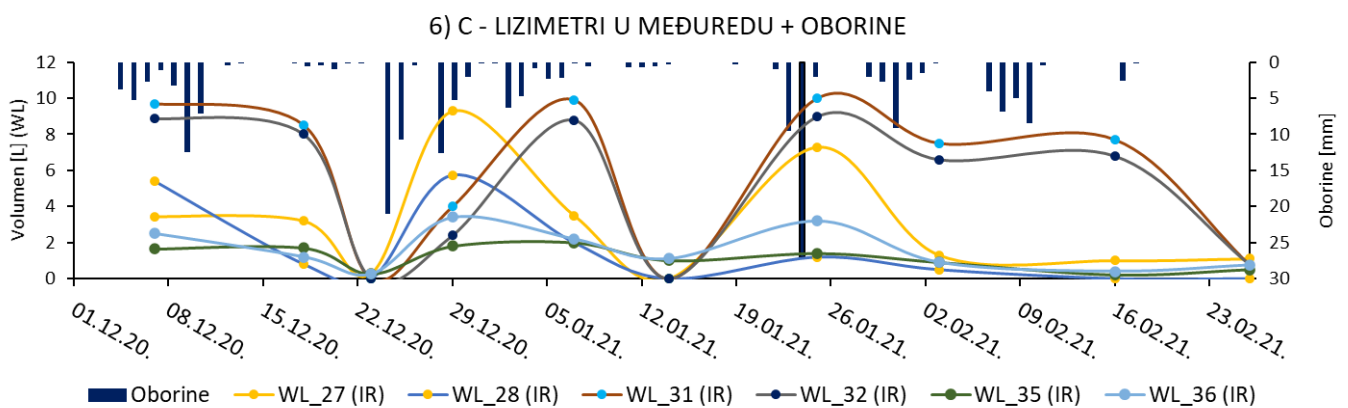


4.1.4. Graf pozicije B- lizimetri u međuredu i oborine

Tijekom razdoblja od 1.12.2020. do 26.2.2021. prikupljeno je dvanaest uzoraka s dvanaest lizimetara na poziciji C(dno). Lizimetri su postavljeni u tri reda, po dva u redu i dva u međuredu. Najmanja izmjerena vrijednost bila je 0,04 L, dok je najviša vrijednost bila 10 L. Prosjek za poziciju C bio je 3,26 L. (Graf 4.1.5 i graf 4.1.6.)



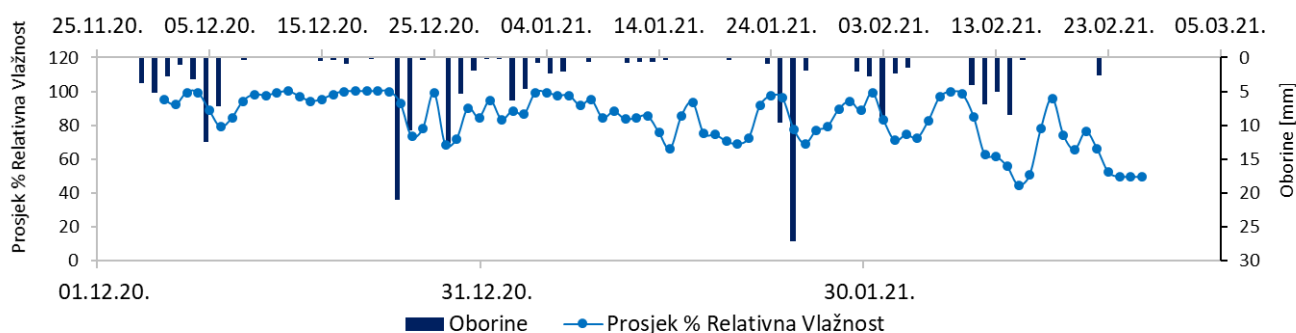
4.1.5. Graf pozicije C- lizimetri u redu i oborine



4.1.6. Graf pozicije C- lizimetri u međuredu i oborine

Graf 4.1.7. prikazuje ukupnu količinu oborina u mm i postotak relativne vlage zraka u periodu od 1.12.2020. do 26.2.2021. Možemo primijetiti najveću količinu oborina u razdoblju od 24.1.2021. a najmanju količinu oborina od 1.12.2020. do 3.12.2020. Najveća postotak relativne vlage zraka bio je u razdoblju od 18.12.2020. do 20.12.2020. dok je najmanji postotak relativne vlage zraka bio u razdoblju od 24.2.2021. do 26.2.2021.

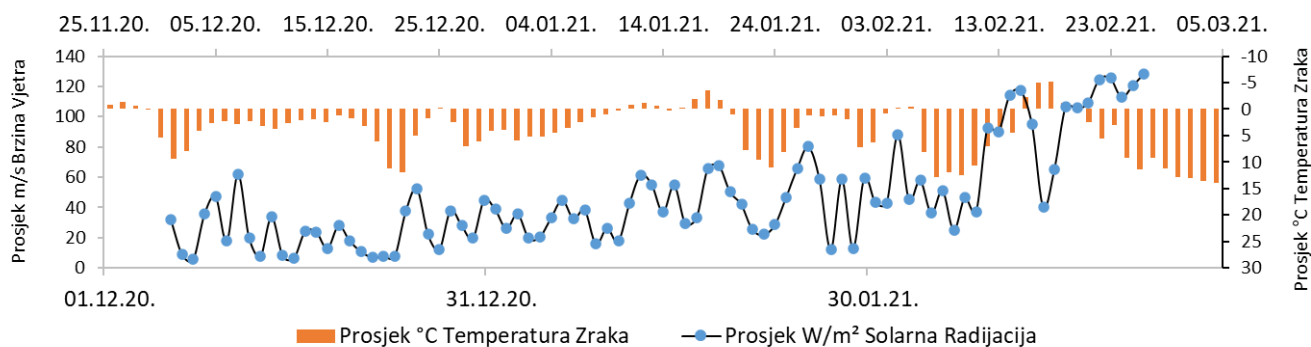
7) OBORINE I RELATIVNA VLAGA ZRAKA



4.1.7.Graf ukupne prosječne količine oborina i postotak relativne vlage zraka

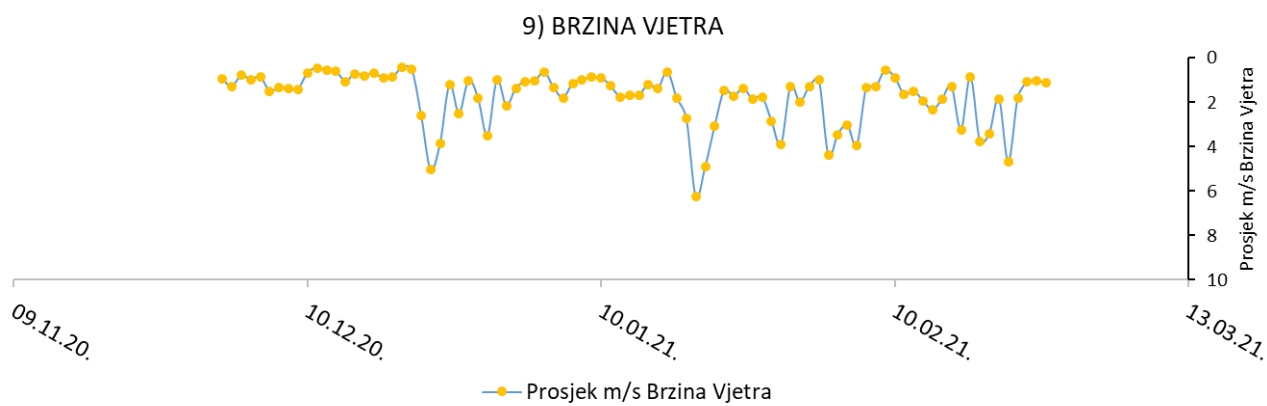
Graf 4.1.8. prikazuje prosjek ukupne količine solarne radijacije u m/s i ukupne količine temperature u stupnjevima celzijevim, u razdoblju od 1.12.2020. do 26.2.2021. Najveće količine solarne radijacije primjećujemo u razdoblju od 19.2.2021. do 26.2.2021. dok najmanje količine solarne radijacije možemo primjetiti u razdoblju od 19.12.2020. do 21.12.2020. Najveći porast temperature bio je u razdoblju od 24.2.2021. do 26.2.2021. dok je najmanja temperatura bila u razdoblju od 1.12.2020. do 3.12.2020. i od 11.1.2021. do 13.1.2021.

8) SOLARNA RADIJACIJA I TEMPERATURA



4.1.8.Graf ukupne prosječne količine solarne radijacije i temperature

Graf 4.1.9. prikazuje prosječnu brzinu vjetra u razdoblju od 1.12.2020. do 26.2.2021. godine. Možemo primjetiti najveći porast brzine vjetra tokom razdoblja od 20. do 22.1.2021. dok je najmanja brzina vjetra bila u razdoblju od 10.12.2020. do 13.12.2020. godine.



4.1.9. Graf prosječne brzine vjetra

4.2. Statistička obrada podataka o istecima s tlačnih lizimetara

Tablica 4.2.1. Rezultati statističke obrade podataka o volumenu procjedne vode u vinogradskom padinskom tlu na pokušalištu Jazbina za razdoblje od 07. prosinca 2020. - 26. veljače 2021. godine s obzirom na poziciju lizimetra na padini te u odnosu na red i međured vinograda.

		RED	MEĐURED
Statistički parametar	Pozicija lizimetra na padini	VOLUMEN PROCJEDNE VODE	VOLUMEN PROCJEDNE VODE
		L	L
Srednja vrijednost	VRH	3,193 <i>a</i>	3,925 <i>a</i>
	SREDINA	1,958 <i>b</i>	2,897 <i>a</i>
	DNO	2,830 <i>ab</i>	3,045 <i>a</i>
Standardna devijacija	VRH	2,412	2,187
	SREDINA	2,058	2,220
	DNO	2,647	3,290
Standardna pogreška	VRH	0,311	0,282
	SREDINA	0,266	0,287
	DNO	0,342	0,425
Varijanca	VRH	5,820	4,785
	SREDINA	4,236	4,929
	DNO	7,009	10,83
Minimalna vrijednost	VRH	0	0
	SREDINA	0	0
	DNO	0	0
Maksimalna vrijednost	VRH	8,70	10,75
	SREDINA	7,40	7,10
	DNO	10,0	9,10
Statistička značajnost		<i>P</i> <0,05	<i>n.s.</i>
Srednje vrijednosti označene istim slovom nisu značajno različite pri <i>P</i> <0,05 <i>n.s.</i> – nije statistički značajna razlika			

Statistički značajna razlika u volumenu procjedne vode s obzirom na poziciju lizimetra na padini - vrh, sredina ili dno padine, utvrđena je za one lizimetre koji su postavljeni u redu vinograda (red s trsovima vinove loze), dok za one koji su postavljeni u međuredu vinograda nije bilo statistički značajne razlike u volumenu procjedne vode. U redu vinograda, statistički značajna razlika u volumenu procijedene vode nalazi se između vrha i sredine padine, dok se volumen procjedne vode na sredini padine nije razlikovao niti u odnosu na vrh, niti dno padine. Drugim riječima, nije utvrđena statistički značajna razlika između volumena procijedene vode između sredine padine u usporedbi s vrhom i dnom padine. Također, najviši volumen procjedne vode izmjeren je na vrhu reda vinograda, dok je najniži volumen zabilježen na sredini reda vinograda. Nasuprot tomu, volumen procjedne vode izmjeren u međuredu vinograda nije se statistički značajno razlikovao s obzirom na poziciju lizimetra na padini iz kojega se vršilo mjerenje volumena procjedne vode – vrh, sredina ili dno. Ipak, iako ne statistički značajan, trend volumena procjedne vode s obzirom na to radi li se o vrhu, sredini ili dnu padine u međuredu vinograda bio je isti kao i u redu vinograda te je moguće da je zbog prohoda u međuredu vinograda prilikom instalacije samih lizimetara u tlo, za razliku od reda vinograda gdje prohoda nije bilo, došlo do veće varijabilnosti podataka dobivenih iz lizimetara koji se nalaze u međuredu vinograda na istoj poziciji (vrh, sredina ili dno), ovisno o zbijanju tla. U navedenom slučaju, kada je varijabilnost podataka koji se odnose na isti lizimetar velika, statistička razlika u volumenu procjedne vode neće biti značajna. U prilog navedenom govori i činjenica da je za volumen procjedne vode u međuredu vinograda s obzirom na poziciju lizimetra na padini $P=0,069$. Stoga, moguće je da vremenski period od instalacije lizimetara do početka mjerenja volumena procjedne vode nije bio dovoljan da se u tlu ponovno uspostavi prirodni tok vode s obzirom da postupak instalacije ipak privremeno narušava prirodno stanje tla, a što se može odraziti na volumen procijedene vode.

Prema Groh i sur. (2020) podaci istraživanja prikupljeni u Njemačkoj, gdje je postavljena široka mreža lizimetara na raznim vrstama tla, od kojih je jedna na izloženom vrhu brda, a druga na padini, prikazuju kako je evapotranspiracija bila nešto viša na dnu padine u odnosu na vrh. Cilj je bio identificirati varijabilnost u važnosti svojstava tla i primjenu modifikacija profila tla u numeričkim modelima. Korištena su četiri lizimetra s različitim tipovima tla koji pokrivaju raspon varijabilnosti tla u humusnom poljoprivrednom erodiranom tlu.

U sklopu SUPREHILL projekta podaci istraživanja su također prikupljeni nakon postavljanja lizimetarske tehnologije. Pokazuju razlike između vrha i dna padine, gdje je na vrhu u redu i međuredu bio veći volumen procjedne vode. Na vrhu je volumen procjedne vode iznosio 3,193 L u redu, a u međuredu 3,925 L, dok je na dnu u obe pozicije bio manji volumen procjedne vode, u redu je iznosio 2,830 L, a u međuredu 3,045 L, dok je sredina oba reda bez značajne razlike s obzirom na vrh i dno padine.

Zaključak

Na temelju istraživanja (Jazbina, Zagreb) koja su provedena u svrhu određivanja razlike u procjeđivanju vode u tlu pomoću tlačnih lizimetara postavljenih na 3 različite lokacije; vrh, sredina i dno padine te između reda i međureda. Istraživanje je provedeno u razdoblju od 7. prosinca 2020. do 26. veljače 2021. Tlo na lokaciji istraživanja klasificirano je kao obronačni pseudoglej. Statistički značajna razlika u volumenu procjedne vode s obzirom na poziciju lizimetara na padini – vrh, sredina ili dno padine, utvrđena je za one lizimetre koji su postavljeni u redu vinograda (red s trsovima vinove loze), dok za one koji su postavljeni u međured vinograda nije bilo statistički značajne razlike u volumenu procjedne vode. Također, najviši volumen procjedne vode izmjeren je na vrhu reda vinograda, dok je najniži volumen zabilježen na sredini vinograda. Volumen procjedne vode na vrhu padine iznosio je 3,193 L, na sredini 1,958 L, dok je na dnu iznosio 2,830 L. Za lizimetre postavljene u međuredu nije bilo statistički značajne razlike u volumenu procjedne vode. Volumen procjedne vode u međuredu je iznosio; za vrh 3,925 L, sredinu 2,897 L te dno 3,045 L. Možemo primjetiti kako između lizimetara postavljenih u redu postoji razlika na sredini padine u odnosu na vrh i dno, isto tako kod lizimetara postavljenih u međured se može primijetiti razlika na sredini padine u odnosu na vrh i dno. Također kod lizimetara postavljenih u međuredu veći je volumen procjedne vode nego kod lizimetara u redu, što je moguće zbog prohoda u međuredu vinograda prilikom instalacije samih lizimetara u tlo, za razliku od reda vinograda gdje prohoda nije bilo, došlo je do veće varijabilnosti podataka dobivenih iz lizimetara koji se nalaze u međuredu vinograda na istoj poziciji (vrh, sredina ili dno), ovisno o zbijanju tla.

6. Popis literature

1. 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.
2. Bogunović, I., Bilandžija, D., Andabaka, Z., Stupić, D., Comino, J. R., Čačić, M., Pereira, P. (2017.). Soil compaction under different management practices in a Croatian vineyard. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(15), 340.
3. Browne C. (2015.). Different types of soil water. <https://www.hunker.com/13427998/different-types-of-soil-water> (pristupljeno 20. kolovoza 2021.)
4. Čačić M., Bogunović I. (2018.). Use of organic amendment from olive and wine industry in agricultural land, a review. *Agriculturae Conspectus Scientificus*
5. Geography and you (2017.). Land degradation over more than a quarter of Indias area, *Agriculture Bytes*, dostupno na. <https://geographyandyou.com/water-retention-soil/> (8. Rujna 2021.)
6. Groh, J., Diamantopoulos, E., Duan, X., Ewert, F., Herbst, M., Holbak, M., ... Gerke, H. H. (2020.). Crop growth and soil water fluxes at erosion-affected arable sites. Using weighing lysimeter data for model intercomparison. *Vadose Zone Journal*, 19(1).
7. Howell W. G. (2005.), *Unilateral Powers. A Brief Overview*, Harvard University
8. Howell, T.A. (2005.). *Encyclopedia of Soils in the Environment*.
9. ICT international, Lysimeters. simple definition but complex in application <https://www.ictinternational.com/casestudies/lysimeters-simple-definition-but-complex-in-application/> (pristupljeno 12. Srpnja 2021.)
10. Jensen, M.E. (1983.). ed. *Design and operation of farm irrigation systems*. Revised Printing. Amer. Soc. Agr. Engr. Mono. No. 3. St. Joseph, Michigan. 840 p.
11. Kovacs, G. (1976.). The use of Lysimeters in the Hydrological investigation of the unsaturated zone / Utilisation des lysimètres pour l'examen hydrologique de la zone non saturée, *Hydrological Sciences Journal*, 21.4, 499-516.

12. 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.
13. McCauley, A. (2005.). Water and Solute Transport in Soils, Soil Scientist and Clain Jones, Extension Soil Fertility Specialist.
14. Meaški, H. (2015.). Materijali s predavanja iz inženjerske geologije u ak. Godini 2015/2016. Zagreb. Geotehnički fakultet.
15. Meter environment, 2017. How to measure soil hydraulic conductivity – Which method is right for you? <https://www.metergroup.com/environment/articles/how-to-measure-soil-hydraulic-conductivity-which-method-is-right-for-you/> (pristupljeno 8.rujna 2021.)
16. Mustać, I. (2015.). Modeliranje toka podzemne vode. U. Voda u agroekosustavima (Ondrašek G., Petošić D., Tomić F., Mustać I., Petek M., Lazarević B., Bubalo M.). Sveučilište u Zagrebu. Agronomski fakultet, Zagreb. 256-280.
17. Ondrašek, G. (2015.). Voda u agroekosustavima (Petošić D., Tomić F., Mustać I., Filipović, V., Petek M., Lazarević B., Bubalo M.)
18. Or D. i Wraith J.M (1997)..Agricultural and Environmental Soil Physics. Utah State University Logan.
19. Petek, M., Lazarević, B. (2015.). Svojstva vode i fiziološka uloga vode u sustavu tlo – biljka – atmosfera. U. Voda u agroekosustavima (Ondrašek G., Petošić D., Tomić F., Mustać I., Petek M., Lazarević B., Bubalo M.). Sveučilište u Zagrebu. Agronomski fakultet, Zagreb. 53-85.
20. 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.
21. Poturica, L. (2020.). Padinski procesi. Zagreb
22. Richards, L.A. (1931.). Capillary conduction of liquids through porous mediums. *Physics* 1. 318-333.
23. Ritter, J. (2012.). Soil erosion - Causes and effects. Factsheet. Ontario Ministry of Agriculture and Rural Affairs, 12, 572-751.
24. Swisanto S.Y. and Sule M. (2019). The Impact of slope steepness and land use type on soil properties in Cirandu Sub-Sub Catchment, Citarum Watershed IOP Conf. Ser.. *Earth Environ. Sci.* 393 012059

25. Špoljar, A. (2016.). PROCESI DEGRADACIJE TLA. Križevci
26. Van Genuchten, M. Th. (1980.). A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal. 44. 892–1037.

7. Životopis

Blanka Horvatić rođena 09. svibnja 1996. godine u Zagrebu. Od 2010. do 2014. godine pohađala je Poljoprivrednu srednju školu u Zagrebu. Preddiplomski studij na Agronomskom fakultetu sveučilišta u Zagrebu, smjer poljoprivredna tehnika upisuje 2015./2017. godine , a završava 2018./2019. godine. Iste godine upisuje Diplomski studij na Agronomskom fakultetu sveučilišta u Zagrebu, smjer poljoprivredne melioracije te završava u akademskoj godini 2020./2021. Tijekom studija radila je nekoliko poslova preko Student servisa. Dobro se služi engleskim jezikom.