

Izračun potreba za navodnjavanjem Vrbničkog polja s obzirom na klimatske scenarije IPCC-a

Toljanić, Mate

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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:204:019300>

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

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



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

**IZRAČUN POTREBA ZA NAVODNJAVANJEM
VRBNIČKOG POLJA S OBZIROM NA KLIMATSKE
SCENARIJE IPCC-A**

ZAVRŠNI RAD

Mate Toljanić

Zagreb, lipanj, 2024.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET**

Preddiplomski studij:
Poljoprivredna tehnika

**IZRAČUN POTREBA ZA NAVODNJAVANJEM
VRBNIČKOG POLJA S OBZIROM NA KLIMATSKE
SCENARIJE IPCC-A**

ZAVRŠNI RAD

Mate Toljanić

Mentor: izv. prof. dr. sc. Monika Zovko

Zagreb, srpanj, 2024.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET**

**IZJAVA STUDENTA
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI**

Ja, Mate Toljanić JMBAG 0178128912, izjavljujem da sam samostalno izradio završni rad pod naslovom:

**IZRAČUN POTREBA ZA NAVODNJAVANJEM VRBNIČKOG POLJA S OBZIROM NA KLIMATSKE
SCENARIJE IPCC-A**

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedini autor ovoga završnog 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 završni 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 završnog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznata/upoznat s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana _____

Potpis studenta

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZVJEŠĆE
O OCJENI I OBRANI ZAVRŠNOG RADA

Završni rad studenta **Mate Toljanića**, JMBAG 0178128912, naslova

IZRAČUN POTREBA ZA NAVODNJVANJEM VRBNIČKOG POLJA S OBZIROM NA KLIMATSKE
SCENARIJE IPCC-A

mentor je ocijenio ocjenom _____.

Završni rad obranjen je dana _____ pred povjerenstvom koje je prezentaciju ocijenilo ocjenom _____, te je student postigao ukupnu ocjenu¹ _____.

Povjerenstvo:

1. Izv. prof. dr. sc. Monika Zovko - mentor
2. Prof. dr. sc. Gabrijel Ondrašek - član
3. Izv. prof. dr. sc. Ivan Mustać član

potpisi:

¹ Ocjenu završnog rada čine ocjena rada koju daje mentor (2/3 ocjene) i prosječna ocjena prezentacije koju daju članovi povjerenstva (1/3 ocjene).

Sadržaj

Sažetak	7
Summary	8
1. Uvod	9
2. Pregled literature	11
2.1. Uloga navodnjavanja kao mjera prilagodbe na klimatske promjene	11
2.2. Navodnjavanje vinograda: održavanje kvalitete i povećanje prinosa	12
2.3 Navodnjavanje vinograda u svijetu.....	15
2.4 Navodnjavanje vinograda u Hrvatskoj	15
2.4 Krška polja.....	16
2.5 Vrbničko polje	16
2.6 RCP (Representative Concentration Pathway) i SSP (Shared Socioeconomic Pathway)	17
3. Materijali i metode	19
3.1. Područje istraživanja	19
3.2. Ulazni parametri za izračun potreba za navodnjavanjem vinograda na području Vrbničkog polja	19
4. Rezultati i rasprava	22
4.1. Način korištenja zemljišta	22
4.2. Svojstva tla	24
4.3 Koeficijent kulture	25
4.4. Izračun potreba za navodnjavanjem vinograda	26
4.4.1. Izračun potreba za navodnjavanjem vinograda za prosječnu klimatsku godinu.....	26
4.4.2. Izračun potreba za navodnjavanjem vinograda s promjenom klime prema SSP2 4.5 scenariju	29
4.4.3. Izračun potreba za navodnjavanjem vinograda s promjenom klime) prema SSP5 8.5 scenariju.....	32
5. Zaključci.....	36
6. Popis literature	37
Životopis.....	39

Sažetak

Završnog rada studenta **Mate Toljanića**, naslova

IZRAČUN POTREBA ZA NAVODNJAVANJEM VRBNIČKOG POLJA S OBZIROM NA KLIMATSKE SCENARIJE IPCC-A

U završnom radu analizirana je potreba za navodnjavanjem vinove loze za prosječne klimatske i pedološke uvjete Vrbničkog polja (otok Krk) koristeći program CROPWAT. Osim potrebe za navodnjavanjem s obzirom na prosječne klimatske pokazatelje, u radu su analizirani i budući scenariji klimatskih promjena (SSP2 4.5 i SSP5 8.5 scenariji). SSP2 4.5 scenarij predviđa porast temperature za 1.6°C. Scenarij SSP5 8.5 s druge strane predviđa porast temperature za 2,5°C . Uz smanjenje temperature izračun potreba za navodnjavanjem temeljio se i na smanjenju oborina za 15 odnosno 20 % u odnosu na višegodišnji prosjek za najbližu meteorološku postaju.

Rezultati rada pokazali su da u prosječnoj klimatskoj godini, kao i u scenarijima SSP2 4.5 i SSP5 8.5, najveći deficit vode javlja se u mjesecu srpnju te je u tom mjesecu najveća potreba za navodnjavanjem. Konkretno, u prosječnoj klimatskoj godini potrebno je dodati 112 mm vode, u scenariju SSP2 4.5 potrebno je dodati 115,3 mm, dok je u scenariju SSP5 8,5 potrebno dodati 121,6 mm.

Ključne riječi: vinova loza, CROPWAT, klimatske promjene, suša, gospodarenje vodom

Summary

Of the final work – student **Mate Toljanić**, entitled

CALCULATION OF THE IRRIGATION NEEDS OF THE VRBNIK FIELD WITH REGARD TO THE IPCC CLIMATE SCENARIOS

In this undergraduate thesis project the need for irrigation of grapevines under the average climatic and soil conditions of the Vrbičko polje (island of Krk) was analyzed using the CROPWAT program. In addition to the need for irrigation regarding average climate indicators, the paper also analyzed future climate change scenarios (SSP2 4.5 and SSP5 8.5 scenarios). The SSP2 4.5 scenario predicts a temperature rise of 1.6°C. The SSP5 8.5 scenario, on the other hand, predicts a temperature increase of 2.5°C. In addition to the decrease in temperature, the calculation of irrigation needs was also based on a decrease in precipitation by 15 or 20 % compared to the multi-year average for the nearest meteorological station.

The results of the work showed that in an average climatic year, as well as in the SSP2 4.5 and SSP5 8.5 scenarios, the largest water deficit occurs in the month of July, and the greatest need for irrigation is in that month. Specifically, in an average climate year, 112 mm of water needs to be added, in the SSP2 4.5 scenario, 115.3 mm needs to be added, while in the SSP5 8.5 scenario, 121.6 mm needs to be added.

Keywords: : grape vines, CROPWAT, climate change, drought, water management

1. Uvod

Klimatske promjene donose nove izazove u poljoprivredi, posebno kada je riječ o sve češćim sušama. Nedostatak oborina i ekstremne temperature mogu ozbiljno ugroziti prinose i kvalitetu usjeva i nasada. No, upravo u ovim izazovnim vremenima, poljoprivredni sektor traži nove načine kako bi se prilagodio i osigurao stabilnost u proizvodnji hrane.

Jedna od ključnih strategija za borbu protiv suše je gospodarenje vodom što podrazumijeva doziranje vode biljkama prema njihovim potrebama, čime se smanjuje gubitak vode i osigurava optimalan rast i razvoj usjeva odnosno nasada. Primjena novih tehnologija poput senzora za praćenje vlažnosti tla ili sustava za kontrolu klime u staklenicima omogućuje poljoprivrednicima bolje razumijevanje potreba biljaka i prilagodbu uzgojnih uvjeta. No, osim gospodarenja vodom, poljoprivrednici istražuju i druge inovacije kako bi se nosili s izazovima sušnih razdoblja: promjena načina korištenja poljoprivrednog zemljišta, uzgoj otpornijih vrsta na sve ekstremnije vremenske uvjete, uvođenje novih otpornijih kultivara i/ ili hibrida, primjena različitih poboljšivača i malčeva, prekrivanje nasada zaštitnim mrežama i sl. Cilj svih ovih mjera je s jedne strane povećati učinkovitost iskorištenja vode i s druge strane smanjiti evapotranspiracijski gubitak vode.

Osim tehnoloških inovacija, promjene u poljoprivrednim praksama i agrotehničke mjere igraju ključnu ulogu u prilagodbi na klimatske promjene. Uporaba organskih gnojiva, primjena plodoreda samo su neke od praksi koje mogu pomoći u očuvanju tla i povećanju otpornosti na suše.

Iako su klimatske promjene donijele nove izazove, one su istovremeno potaknule inovacije i promjene u poljoprivredi. Kroz suradnju, istraživanje i primjenu novih tehnologija i praksi, možemo izgraditi održivu poljoprivredu koja će biti otporna na suše i osigurati sigurnu opskrbu hranom za buduće generacije.

Otočni ekosustavi posebno su osjetljivi na klimatske promjene, a poljoprivreda na otocima posebno je ugrožena. Otočni ekosustavi posebno su osjetljivi na promjene u klimi zbog svoje geografske izolacije, male površine i ograničenih resursa, što čini poljoprivredu na otocima posebno ranjivom na negativne posljedice klimatskih promjena.

Suše su posebno veliki problem na otocima, gdje su izvori vode često ograničeni s jedne strane, a s druge zbog turističkih pritisaka česte se donose mjere na lokalnoj razini kojima se ograničava primjena vode za druge djelatnosti i potrebe. U tom smislu, najčešće se ograničava upravo primjena vode u poljoprivredne svrhe.

U borbi protiv negativnih posljedica klimatskih promjena, poljoprivrednici na otocima moraju razviti strategije prilagodbe koje uzimaju u obzir specifičnosti njihovog okoliša i resursa. Stoga su ciljevi ovog završnog rada:

- 1) na temelju podloga načina korištenja poljoprivrednog zemljišta odrediti dominantnu poljoprivrednu kulturu Vrbničkog polja;
- 2) odrediti potrebe za navodnjavanjem dominantne kulture Vrbničkog polja uvažavajući promjene temperature i količine oborina u dva klimatska scenarija.

2. Pregled literature

2.1. Uloga navodnjavanja kao mjera prilagodbe na klimatske promjene

Prema podacima Organizacije za hranu i poljoprivredu Ujedinjenih naroda (FAO, 2021) procjenjuje se da se ukupno oko 20 % poljoprivrednih površina diljem svijeta navodnjava. Klimatske promjene postavljaju nove izazove pred poljoprivredu, a jedan od ključnih alata za suočavanje s tim izazovima je navodnjavanje. Suše postaju učestalije i intenzivnije, što dovodi do smanjenja oborina i povećane isparavanje, stvarajući rizik od stresa na usjevima i smanjenja prinosa. U tom kontekstu, navodnjavanje igra ključnu ulogu u održavanju stabilnosti u proizvodnji hrane.

Navodnjavanje omogućuje poljoprivrednicima kontrolu nad opskrbom vodom, neovisno o nepredvidljivosti vremenskih uvjeta. Precizno doziranje vode omogućuje biljkama da dobiju optimalne količine vlage, osiguravajući im zdrav rast i razvoj čak i u uvjetima nedostatka oborina. To je posebno važno tijekom sušnih razdoblja kada je prirodna opskrba vodom ograničena.

Različite tehnike lokaliziranog navodnjavanja, kao što su kap po kap ili minirasprskivači, omogućuju poljoprivrednicima prilagodbu količine i raspodjele vode prema specifičnim potrebama svakog usjeva i uvjetima tla. Ova precizna primjena vode ne samo da povećava učinkovitost, već smanjuje gubitak vode putem isparavanja ili otjecanja, čime se osigurava njezina optimalna iskoristivost (Ondrašek i sur., 2015).

Osim što osigurava stabilne prinose tijekom sušnih razdoblja, navodnjavanje može doprinijeti i očuvanju poljoprivrednog zemljišta i krajobrazne vrijednosti okoliša. Primjenom odgovarajućih tehnika, poljoprivrednici mogu spriječiti eroziju tla i degradaciju zemljišta, čime se osigurava njegova dugoročna plodnost i produktivnost. Stabilni usjevi uzgojeni s navodnjavanjem također pridonose očuvanju lokalnog okoliša, održavajući ravnotežu u ekosustavu i podržavajući lokalni ekološki sustav.

Važno je naglasiti da navodnjavanje nije samostalno rješenje za sve probleme uzrokovane klimatskim promjenama u poljoprivredi. Pretjerana uporaba vode za navodnjavanje može dovesti do iscrpljivanja vodnih resursa i negativnih utjecaja na okoliš. Stoga je ključno primijeniti održive prakse navodnjavanja koje maksimalno koriste dostupne resurse uz minimalan ekološki otisak (Tomaz i sur., 2024).

Uz to, kombinacija navodnjavanja s drugim mjerama prilagodbe, kao što su korištenje otpornijih kultivara, tehnoloških inovacija i promjena poljoprivrednih praksi, ključna je za stvaranje otpornijeg i održivijeg poljoprivrednog sustava. Integrirani pristup prilagodbi na

klimatske promjene omogućava nam da osiguramo sigurnu opskrbu hranom i očuvamo poljoprivredne resurse za buduće generacije.

2.2. Navodnjavanje vinograda: održavanje kvalitete i povećanje prinosa

Kao sastavni dio biljke, voda je neophodna za odvijanje fizioloških procesa i sintezu organske tvari vinove loze (Romić i sur., 2020). Iako se smatra da se vinova loza uspješno može uzgajati u uvjetima s godišnjom količinom oborina od 600 do 800 mm, od presudne je važnosti raspored oborina tijekom godine (Osrečak, 2022). Međutim, jako je važno biti oprezan biti donošenju odluka o potrebi za navodnjavanjem samo na temelju usporedbe s količinama oborinama. Naime, različiti faktori poput temperature, vjetra, tipa tla, i specifičnih svojstva svake pojedine sorte vinove loze utječu na potrebe za vodom u vinogradima i općenito trajnim nasadima. Nedostatak oborina tijekom vegetacijskog razdoblja može se nadoknaditi sustavom navodnjavanja, posebno u područjima gdje su sušna razdoblja česta.

Gubitak vode iz tla događa se na nekoliko načina. Prvo, voda može otjecati u dublje slojeve tla zbog gravitacijskog djelovanja. Zatim, dio vode isparava s površine tla, što se naziva evaporacija. Osim toga, vinova loza gubi vodu kroz svoje listove, proces poznat kao transpiracija. Ukupni gubitak vode iz tla i biljke naziva se evapotranspiracija.

Stoga, održavanje adekvatne razine vode u tlu kroz navodnjavanje ključno je za osiguravanje zdravog rasta i razvoja vinove loze te maksimiziranje prinosa i kvalitete grožđa. Uz to, praćenje vode i njezino pravilno upravljanje osigurava se optimalni uvjeti za uspješan uzgoj vinove loze i proizvodnju visokokvalitetnih vina.

U slučaju vinove loze, na jedan ha površine tla dolazi oko 15 000-40 000 m² lisne površine (Osrečak, 2022). To ukazuje na vrlo veliku površinu s koje se odvija evapotranspiracija, odnosno gubi vlaga. Zbog toga se pri analizi prikladnosti nekog područja za uzgoj vinove loze u obzir uzimaju podaci o količinama i rasporedu oborina, ali i podaci o evapotranspiraciji. Područja u kojima je potencijalna evapotranspiracija veća od oborina smatraju se sušnima (Osrečak, 2022). Također Važno je napomenuti da vinova loza ne zahtijeva istu količinu vode tijekom svih fenofaza. U porastu mladica vinova loza je osobito osjetljiva na deficit vode (Pokos-Nemec 2008). Veće količine vode potrebne su neposredno prije pupanja, tijekom intenzivnog rasta mladica i bobica te u fazi dozrijevanja grožđa. Ove faze su ključne za razvoj i kvalitetu plodova te deficit vode u tim razdobljima može negativno utjecati na prinos i kvalitetu grožđa.

Iako postoje različite metode navodnjavanja vinove loze koje se spominju u literaturi, poput navodnjavanja u otvorene brazde ili sustava navodnjavanja po cijeloj površini, u praksi se gotovo isključivo koriste sustavi lokaliziranog navodnjavanja (slika 2.1).

Sustavi navodnjavanja 'kap po kap' vrlo precizno dozira vodu, te je zbog toga moguća velika ušteda vode uz stalno održavanje optimalne vlažnosti (Kuterovac, 2022). Ova učinkovitost se postiže minimiziranjem otjecanja i isparavanja, ciljajući izravno zonu korijena i smanjujući rast korova održavanjem suhih međurednih područja (Prichard, 2018).



Slika 2.1. Lokalizirani sustav navodnjavanja kapanjem u vinogradu na području „Zavrha“ nedaleko od Vrbničkog polja na otoku Krku. Cijevi s kapaljkama postavljene na armaturu vinograda (Izvor: M. Toljanić)

Pod lokaliziranim navodnjavanjem podrazumijeva se sustav kojim se voda dodaje u manjim količinama, precizno, u obliku malenih vodnih struja, mlazova, kontinuiranih ili pojedinačnih kapljica, a navodnjava samo dio poljoprivredne površine, i to onaj dio gdje se razvija glavna masa korijena (Romić, 1997). Sastavni dijelovi metode lokaliziranog navodnjavanja su: usisni vod, prefilter, pumpa, nepovratni ventil, injektor za kemijska sredstva, filteri, glavni cjevovod, razvodna mreža, laterarni cjevovod, a sustav završava emiterima koji mogu biti minirasprskivači ili kapaljke (Romić, 1997).

Navodnjavanje vinove loze smatra se redovnom agrotehničkom mjerom u vinogradima stolnog grožđa (grožđa koje se koristi za konzumaciju u svježem stanju; zobatice), kao i u vinogradima koji su nastali melioracijom krša (Osrečak, 2022). Za razliku od vinograda namijenjenih uzgoju vinskog grožđa na klasičnim vinogradarskim tlima, koji obično imaju manje ili čak nikakve potrebe za navodnjavanjem, vinogradi stolnog grožđa zahtijevaju redovitu opskrbu vodom kako bi se osigurao njihov optimalan rast i razvoj.

Navodnjavanje treba izbjegavati tijekom faze cvatnje i oplodnje vinove loze kako bi se spriječilo osipanje grozdova i pretjerana bujnost. Nedostatak vode u ovoj fazi može također dovesti do

smanjene oplodnje, što će imati negativan utjecaj na formiranje grozdova. Nakon završetka cvatnje i oplodnje, važno je osigurati adekvatnu opskrbu vodom za rast bobica (Osrečak, 2022). Intenzitet diobe stanica bobica tijekom 40 dana nakon oplodnje igra ključnu ulogu u određivanju veličine bobica. Stoga je u ovom razdoblju važno osigurati dovoljne količine vode kako bi se potaknuo pravilan razvoj bobica i postigla željena krupnoća (Osrečak, 2022).

Od početka formiranja šare pa do berbe, voda je neophodna za procese fotosinteze i akumulaciju šećera u bobicama. Prekomjerno navodnjavanje u ovom razdoblju može rezultirati pretjeranom bujnošću loze i usporiti proces dozrijevanja, što može negativno utjecati na kvalitetu i okus grožđa. Iz toga se da zaključiti da treba pratiti potrebe vinove loze za vodom tijekom različitih faza njezinog razvoja te prilagoditi navodnjavanje kako bi se osigurala optimalna opskrba vodom i postigao željeni kvalitetu grožđa.

Povećanje količine i kvalitete grožđa je ključni cilj vinogradara, a navodnjavanje igra važnu ulogu u postizanju tog cilja. Nadoknađivanje nedostatne količine vode putem navodnjavanja značajno utječe na strukturu i funkcije svih dijelova vinove loze te na konačni urod i kvalitetu grožđa. Kada je dostupnost vode povećana, fiziološki procesi u biljci postaju intenzivniji, što rezultira većom bujnošću loze i povećanom lisnom površinom. To omogućuje trsovima da daju veći prinos grožđa.

Za razliku od vinskih sorti grožđa, gdje je količina prinosa često obrnuto proporcionalna s kvalitetom, kod stolnih sorti grožđa povećanje veličine bobica i grozdova smatra se poželjnim jer doprinosi povećanju kvalitete grožđa.

Osim toga, navodnjavanje pozitivno utječe na otpornost i čuvanje grožđa te olakšava manipulaciju tijekom transporta i trgovine. U godinama s izrazito sušnim uvjetima, navodnjavanje može spriječiti stresove izazvane sušom, što rezultira povećanjem kvalitete grožđa, uključujući i veći sadržaj šećera.

Navodnjavanje vinograda može biti nepotrebno na dubokim i plodnim tlima, ali postaje nužno na melioriranom kršu. Vinogradi podignuti na melioriranom kršu često zahtijevaju dodatno navodnjavanje zbog specifičnih uvjeta tla i klimatskih faktora, kao što su visoke temperature i nedostatak prirodnih padalina (Osrečak, 2022)

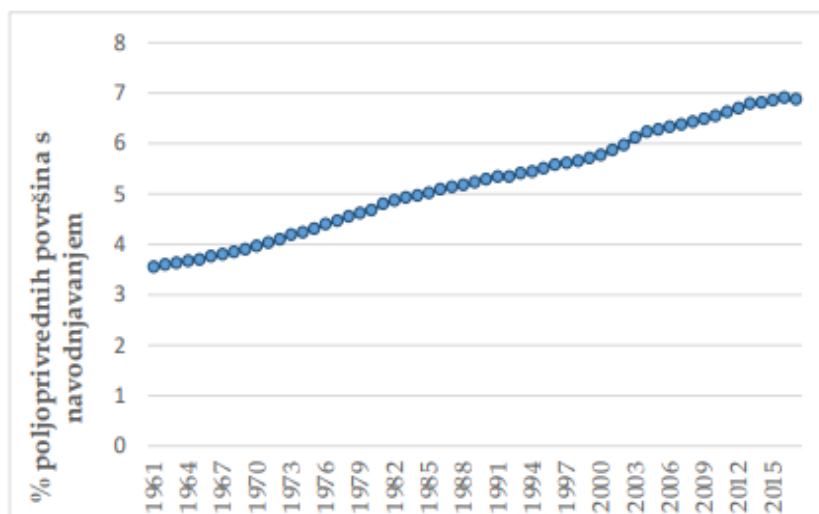
Kod navodnjavanja vinove loze, osobito u slučaju vinskih sorti, važno je shvatiti dodavanje vode kao nužnu mjeru koja osigurava normalne uvjete za odvijanje fizioloških i metaboličkih procesa u biljci. Navodnjavanje treba promatrati kao alat koji pomaže lozi da preživi sušna razdoblja i održi vitalnost, a ne kao sredstvo za povećanje količine grožđa.

Iako je poznato da nedostatak vode može negativno utjecati na prinos, dodavanje vode treba primjenjivati s oprezom i samo kada je to zaista potrebno kako bi se izbjegla pretjerana bujnost loze ili drugi nepoželjni učinci. Glavni cilj navodnjavanja trebao bi biti održavanje ravnoteže u

rastu i razvoju biljke, što će dugoročno doprinijeti kvaliteti grožđa, a ne samo povećanju količine uroda.

2.3 Navodnjavanje vinograda u svijetu

Prema podacima International Commission on Irrigation and Drainage (ICID) (2021), ukupna površina navodnjavanog zemljišta u svijetu u 2018. godini iznosila je gotovo 308 milijuna hektara. Prema podacima FAOSTAT-a za razdoblje 1961.-2017., površine opremljene sustavima za navodnjavanje u svijetu neprestano se povećavaju te su se u proteklih nekoliko desetljeća gotovo udvostručile (slika 2.2). Prema podacima EUROSTAT-a za Europsku uniju u 2016. godini, 8,9 % od korištenog poljoprivrednog zemljišta u EU je bilo moguće navodnjavati, što iznosi 15,5



milijuna hektara. Međutim, navodnjavano je samo 5,9 % korištenog zemljišta, odnosno 10,2 milijuna hektara.

Slika 2.2 Grafički prikaz porasta navodnjavanja poljoprivrednih površina (Izvor: Romić i sur. (2005.)

2.4 Navodnjavanje vinograda u Hrvatskoj

Navodnjavanje u Hrvatskoj trenutno se često koristi kao dopunska mjera, posebno u sušnim područjima ili tijekom sušnih razdoblja. Međutim, iako trenutno nije široko rasprostranjeno kao u nekim drugim zemljama, postoji mogućnost da u budućnosti postane neophodna agrotehnička mjera.

Prema podacima Državnog zavoda za statistiku (DZS), u 2007. godini procijenjeno je da je od 27 360 hektara poljoprivrednog zemljišta koje se može navodnjavati, zaista navodnjavano 8 620 hektara, što čini 31 %. U 2016. godini procijenjeno je da se 29 680 hektara poljoprivrednog zemljišta može navodnjavati, a navodnjavano je 16 072 hektara, odnosno 54 %. Prema

podacima iz popisa poljoprivrede provedenog 2010. godine, najviše se navodnjavalo povrće, dinje i jagode na otvorenom polju (3 040 hektara), kao i voće, uključujući bobičasto voće. S obzirom na trendove klimatskih promjena koji mogu rezultirati povećanom učestalošću i intenzitetom suša, te na rastući pritisak na resurse vode, navodnjavanje bi moglo postati sve važnije za održavanje stabilne i produktivne vinogradarske proizvodnje u Hrvatskoj.

Jadranski krški krajolik tradicionalno se koristi za uzgoj vinove loze i maslina na plitkim i manje plodnim tlima bez navodnjavanja. Autohtone sorte su prilagođene toploj i sušnoj klimi, ali zbog sve češćih dugotrajnih toplinskih valova tijekom vegetacijske sezone, navodnjavanje postaje neophodna mjera za ekonomski održivu proizvodnju (Romić i sur., 2020). Zato su za procjenu potreba za navodnjavanjem i učinke navodnjavanja na prinos i kvalitetu krajnjeg proizvoda u specifičnim pedološkim i klimatskim uvjetima važna istraživanja koja se provode u okviru tzv. pilot projekata (NAPNAV, 2005, 2021). Iz istraživanja koje su proveli Romić i suradnici (2020) na području Donjeg polja u Šibensko-kninskoj županiji, pokazano je da različite razine navodnjavanja imaju značajan utjecaj na karakteristike vinove loze autohtone sorte Babić.

2.4 Krška polja

Krška polja su velike, zatvorene depresije sa zaravnjenim dnom, formirane u krškom terenu (Ford i Williams, 1989). Krška polja su geološka i geomorfološka osobitost svojstvena području hrvatskog priobalja i otoka, na čijem je dnu često nakupljeno jedino obradivo tlo krškog područja i stoga su krška polja od velikog ekološkog i socioekonomskog značaja. Tako je i slavenska riječ „polje“ međunarodno prihvaćena i označava veće zatvorene depresije u krškim terenima (Jennings, 1985).

2.5 Vrbničko polje

Vrbničko polje (slika 2.3), Vrbničko polje smješteno je na sjeveroistočnom dijelu otoka Krka, a s geomorfološkog i geološkog aspekta polje ima nepravilnu izduženu formu u sinklinali (Bakić, 2015) Najstarije naslage koje izgrađuju šire područje Vrbničkog polja jesu gornjokredne naslage, odnosno svijetlosivi i bijeli kristalinični grebenski vapnenci turona, koji polje omeđuju s istoka (Šušnjar i sur., 1963). Ovi vapnenci leže iznad naslaga vapnenaca i dolomita cenoman-turona, a debljina im iznosi oko 400 metara. Fauna obiluje rudistima i školjkašima, a na osnovu ove faune i superpozicijskog položaja ovim je naslagama određena turonska starost (Grimani i sur., 1963).

Vrbničko polje je tipična vinogradarska lokacija, s isključivim uzgojem vinove loze autohtone sorte Žlahtina (Bakić, 2015). Vinogradarstvo na Vrbničkom polju nije samo gospodarska djelatnost, već i kulturna baština koja obogaćuje identitet ovog kraja.

Osim što pruža visokokvalitetna vina, vinogradarstvo na ovom području također pridonosi očuvanju tradicije i lokalnog naslijeđa.



Slika 2.3. Snimka Vrbničkog polja iz zraka
(Izvor: Poljoprivredna zadruga Gospoja)

2.6 RCP (Representative Concentration Pathway) i SSP (Shared Socioeconomic Pathway)

Prema projektu "Jačanje kapaciteta Ministarstva zaštite okoliša i energetike za prilagodbu klimatskim promjenama te priprema Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama," i priručniku "Klimatske promjene u Hrvatskoj" (Vitali Čepo, D., 2021), predviđanja klime u budućnosti temelje se na različitim scenarijima emisija i koncentracija stakleničkih plinova, poznatim kao RCP (Reprezentativne putanje koncentracija) i SSP (Zajedničke socioekonomske putanje).

RCP scenariji fokusiraju se na različite razine stakleničkih plinova u atmosferi. Primjerice, RCP 4.5 predstavlja umjereni scenarij gdje emisije dosežu vrhunac oko 2040. godine, a zatim se postupno smanjuju, uz politiku stabilizacije koncentracija stakleničkih plinova. Nasuprot tome, RCP 8.5 predviđa kontinuirani rast emisija tijekom cijelog 21. stoljeća bez značajnih napora za njihovo smanjenje, što dovodi do ozbiljnijih klimatskih promjena.

SSP scenariji uključuju ekonomske i društvene faktore koji utječu na emisije. Na primjer, SSP5, poznat kao "Fossil-fueled Development," kombiniran s klimatskim scenarijem 8.5,

pretpostavlja visoki ekonomski rast uz intenzivno korištenje fosilnih goriva i visoke emisije, s malo pažnje posvećene smanjenju emisija. To dovodi do značajnog zagrijavanja.

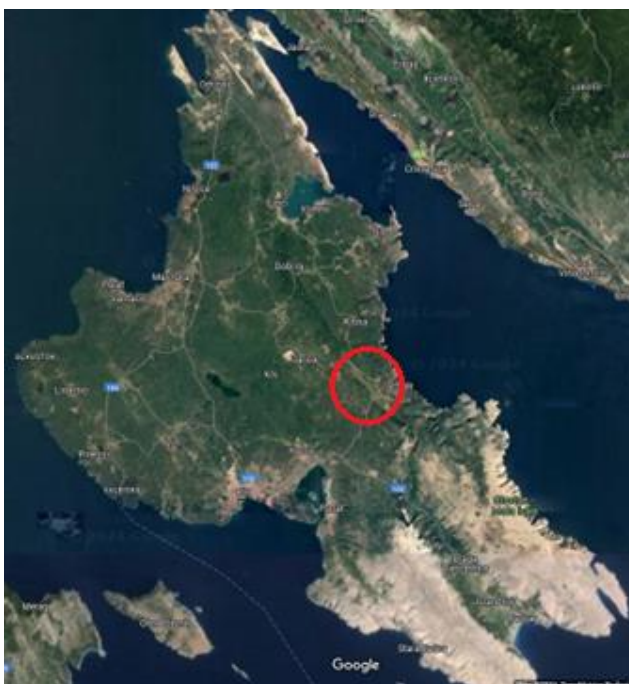
Scenariji RCP 4.5 i RCP 8.5 predstavljaju različite puteve emisija bez detaljnog socioekonomskog konteksta. Nasuprot tome, SSP2-4.5 i SSP5-8.5 integriraju socioekonomske putanje s klimatskim scenarijima, pružajući širi kontekst za razumijevanje mogućih ishoda klimatskih promjena pod različitim razvojnim i političkim uvjetima.

Prema SSP2 4.5 prosječna temperatura zraka će se povisiti za 1,6 °C, a prema scenariju SSP5 8.5 prosječna temperatura narasti će za 2,5 °C. Također očekuje se smanjenje oborina za 15 % u scenariju SSP2 4.5 i 20 % u scenariju SSP5 8.5.

3. Materijali i metode

3.1. Područje istraživanja

Istraživanja u ovom završnom radu provedena su za područje Vrbničkog polja (slika 3.1). Pravac pružanja polja je dinarski: sjeverozapad (x: 5474535, y: 4990972) - jugoistok (x: 5471351, y : 4995159), s nagibom od sjevera (164 m nadmorske visine) prema jugu (85 m nadmorske visine) koje se nalazi na otoku Krku u Primorsko-goranskoj županiji. Veličina Vrbničkog polja je 225 ha.



Slika 3.1. Otok Krk, Vrbničko polje, Izvor: Google karte
(pristupljeno: 13.6.2024)

3.2. Ulazni parametri za izračun potreba za navodnjavanjem vinograda na području Vrbničkog polja

Potrebe za vodom izračunate su korištenjem softwera CROPWAT 8.0.1.1. (Smith, 1992). Referentna evapotranspiracija ET_0 izračunata je prema formuli Penman-Monteith (Allen i sur., 1998) (izraz 1):

$$(1) ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)}$$

gdje su:

ET_0 : referentna evapotranspiracija (mm/dan)

R_n : neto radijacija ($MJ/m^2/dan$)

G: zemljišni gradijent topline (MJ/m²/dan)
T: srednja temperatura zraka na 2 m visine (°C)
u₂: srednja brzina vjetra na 2 m visine (m/s)
e_s-e_a: deficit napona vodene pare na 2 m visine (kPa)
Δ: pad napona zasićene vodene pare (kPa/°C)
γ: psihrometrijska konstanta

Stoga su za modeliranje potreba vinove loze za navodnjavanjem korišteni klimatološki podaci za razdoblje 1999. godina – 2023. godina koje je dostavio za potrebe izrade završnog rada Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ) s:

- a) meteorološke postaje Krk: temperatura zraka (°C), oborine (mm), vlaga zraka (%), brzina vjetra (m/s) te
- b) meteorološke postaje Senj: insolacija (h).

Potrebe vode za navodnjavanjem vinograda izračunate su programom CROPWAT 8.0.1.1. (Smith, 1992).

Prije samog modeliranja u programu su promijenjene postavke ulaznih parametara pri čemu su korištene prosječne temperature umjesto minimalnih i maksimalnih, mjerna jedinica za brzinu vjetra promijenjena je iz km/h u m/s, a za izračun efektivnih oborina odabrana je USDA metoda.

Nakon podešavanja ulaznih parametara slijedio je unos lokacijskih parametara: geografska širina, dužina i nadmorska visina za meteorološku postaju Krk, od koje se koriste podaci za izračun ET₀.

Potrebe za vode za navodnjavanjem po prethodno opisanom postupku su izračunate za tri scenarija:

- a) za prosječnu klimatsku godinu
- b) s promjenom (klime) prema SSP2 4.5
- c) s promjenom (klime) prema SSP5 8.5

Za određivanje potreba za navodnjavanjem osim klimatskih pokazatelja, važno je uzeti u obzir svojstva tla, ali i druge agroekološke pokazatelje poput zahtjeva sorte, načina obrade tla, postojanje pokrova i drugih agrotehničkih zahvata.

Ulazni podaci za tlo (slika 4.2) preuzeti su iz Bakić (2015), a odnose se na pedološke profile, VBP-1 i VBP-2 (slika 4.3) koji su otvoreni u nižem dijelu polja i u središnjem, geografski višem dijelu Vrbničkog polja. Pod pretpostavkom da su otvoreni profili reprezentativni za obuhvat Vrbničkog polja i da se nisu značajnije mijenjala svojstva tla isti podatci korišteni su za izračun potreba za vodom u prosječnoj klimatološkoj godini te za scenarije SSP2 4.5 i SSP5 8.5.

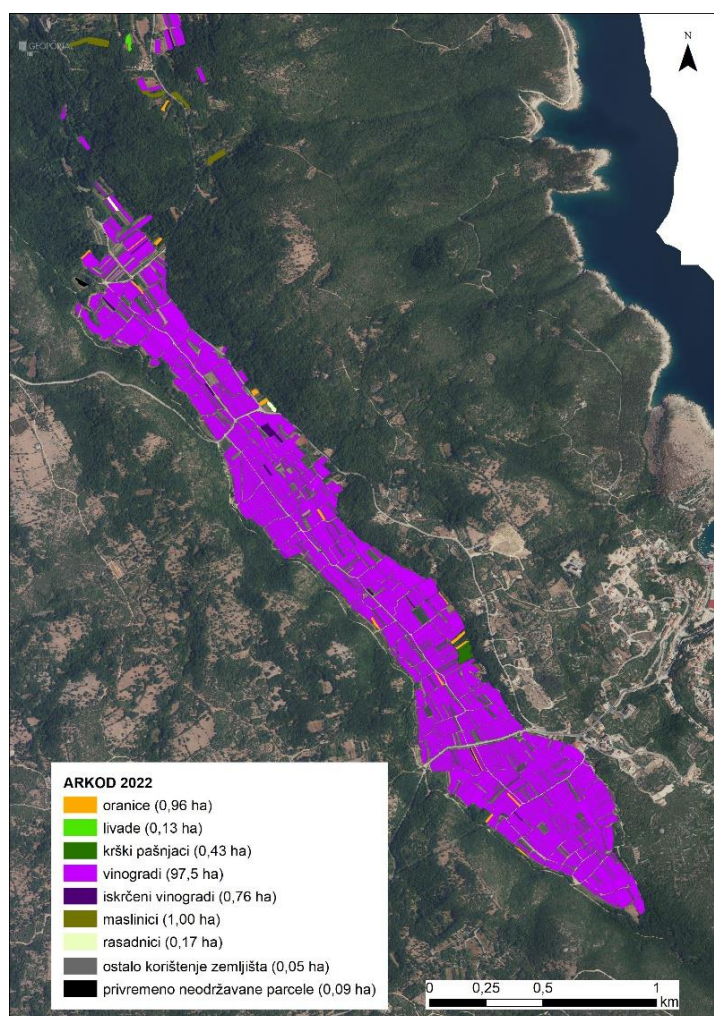
Soil name	<input type="text" value="Heavy (clay)"/>	
General soil data		
Total available soil moisture (FC - WP)	<input type="text" value="200,0"/>	mm/meter
Maximum rain infiltration rate	<input type="text" value="40"/>	mm/day
Maximum rooting depth	<input type="text" value="300"/>	centimeters
Initial soil moisture depletion (as % TAM)	<input type="text" value="20"/>	%
Initial available soil moisture	<input type="text" value="160,0"/>	mm/meter

Slika 4.2 Prikaz zaslona programa CROPWAT za ulazne podatke o tlu

4.Rezultati i rasprava

4.1. Način korištenja zemljišta

Kako bi se odredio dominantan način korištenja zemljišta u obuhvatu Vrbničkog polja korištena je dostupna baza podataka ARKOD (APPRRR, 2022). Za sve kulture izračunat je udio površina u obuhvatu samog polja, ali i udio u ukupno evidentiranim ARKOD površinama. Karta (slika 4.1) načina korištenja s pripadajućom legendom izrađena je korištenjem software-a ArcMap 10.8.1. (ESRI, 2020).



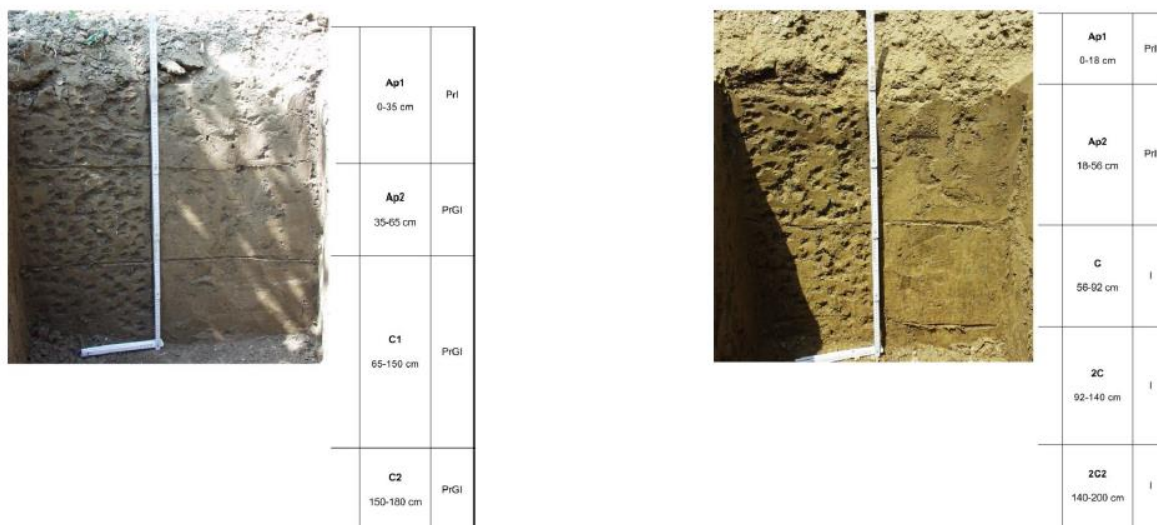
Slika 4.1. Karta načina korištenja zemljišta unutar Vrbničkog polja na otoku Krku

Tablica 4.1. Način korištenja s izraženim površinama poljoprivrednog zemljišta u obuhvatu Vrbničkog polja

Način korištenja (ARKOD 2022)	P (ha)	Udio u površini polja (%)	Udio u ukupnoj poljoprivrednoj površini (%)
oranice	0,96	0,43	0,95
livade	0,13	0,06	0,13
krški pašnjaci	0,43	0,19	0,43
vinogradi	97,5	43,3	96,4
Iskrčeni vinogradi	0,76	0,34	0,75
maslinici	1,00	0,44	0,99
rasadnici	0,17	0,08	0,17
matičnjaci	0,06	0,03	0,06
ostalo korištenje zemljišta	0,05	0,02	0,05
privremeno neodržavana parcela	0,09	0,04	0,09
Ukupni zbroj	101	44,9	100

S obzirom na dostupne podatke iz sustava ARKOD (2022) dominantni način korištenja zemljišta u Vrbničkom polju su vinogradi koji čine gotovo 96,4 % od ukupnog poljoprivrednog zemljišta unutar Polja. Svi ostali načini korištenja zastupljeni su < 1 %. Drugi najzastupljeniji način korištenja zemljišta su krški pašnjaci, koji pokrivaju 0,43 ha ili 0,43 % ukupne poljoprivredne površine. Najmanje zastupljeni su matičnjaci s 0,06 ha, što čini samo 0,06 % ukupne površine.

4.2. Svojstva tla



Slika 4.3 Profil VBP 1 (lijevo) i profil VBP 2 (desno) (Izvor: Bakić H., 2015)

Tlo unutar obuhvata Vrbničkog polja je duboko, s genetskom horizontima do 180 odnosno 200 cm dubine (slika 4.3). Tlo je blago alkalno i slabo karbonatno, praškasto ilovaste do ilovaste teksture (tablica 4.2 i tablica 4.3).

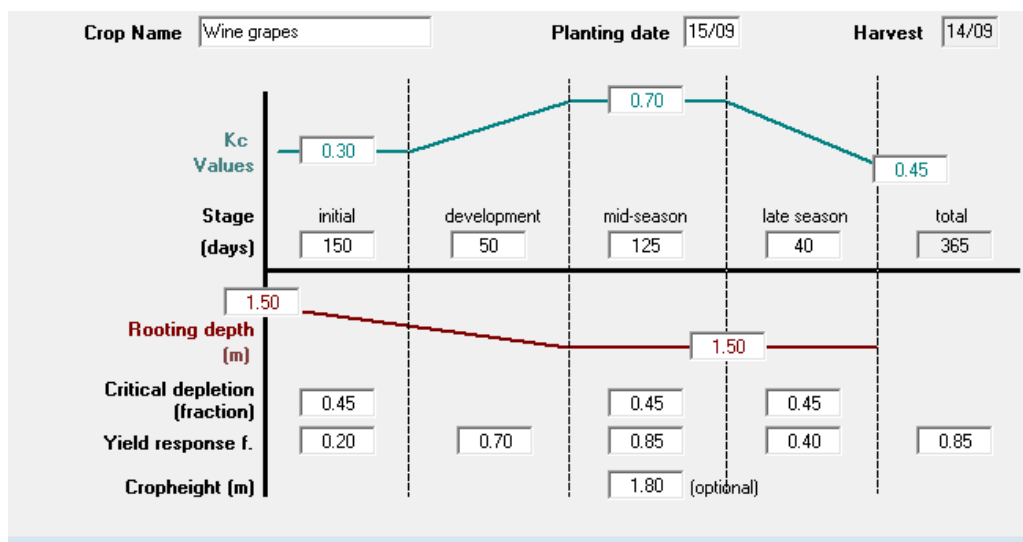
Tablica 4.2 Kemijska svojstva tla (Izvor: Bakić, H. 2015)

Pokazatelj	Dubina	pH tla (H ₂ O)	Sadržaj humusa	Udio karbonata
Mjerna jedinica	cm		g/kg	%
Profil: VBP-1	0-35	8,05	16,2	7,56
	35-65	8,15	9,80	6,72
	65-150	8,13	7,31	1,68
	150-180	7,92	8,29	-
Profil: VBP-2	0-18	7,89	11,3	2,52
	18-56	8,03	6,67	4,20
	56-92	7,8	9,11	-
	92-140	7,65	7,02	-
	140-200	7,56	7,71	-

4.3 Koeficijent kulture

Dobivene vrijednosti ET_0 korigirane su koeficijentom kulture (k_c) kako bi se dobila evapotranspiracija kulture ET_c . K_c je omjer stvarne i potencijalne potrošnje vode od strane biljke. Koeficijenti su 0,30, 0,70 i 0,45. Najmanji k_c 0,30 vrijedi za prvih 150 dana godišnjeg ciklusa. Početkom vegetacije k_c raste 50 dana te dosiže najveću vrijednost 0,70. Najveći k_c vrijedi za razdoblje od 125 dana (vrijeme intenzivnog porasta).

Nakon toga k_c ponovo pada (40 dana) i dolazi na vrijednost 0,45. Korišteni su koeficijenti i postavke implementirane unutar programa CROPWAT (Smith, 1992) za vinske sorte grožđa, a kao datum berbe postavljen je 14.09. (slika 4.4.)



Slika 4.4. Prikaz zaslona programa CROPWAT, postavke kulture

4.4. Izračun potreba za navodnjavanjem vinograda

4.4.1. Izračun potreba za navodnjavanjem vinograda za prosječnu klimatsku godinu

Prosječna godišnja temperatura zraka za postaju Krk u prosječnoj klimatološkoj godini je 15,3°C, a prosječna vlažnost zraka 69 % (slika 4.5). Najviša temperatura je u srpnju 25,3 °C, a najniža u siječnju 6,5 °C. Najveća vlaga zraka je u mjesecu studenom 77 %, a najmanja u srpnju 59 %. U razdoblju vegetacije (travanj-rujan) najmanja prosječna temperatura je u travnju 13,9 °C, a najviša u srpnju 25,3 °C.

Prosječno strujanje zraka je 3 m/s, najjače strujanje zraka je u veljači, a najslabije u lipnju. Prosječno sijanje sunca je 6,4 h. Prema formuli Penman-Monteith prosječna dnevna ET_0 iznosi 2,87 mm. ET_0 je najveća u srpnju 5,68 mm, a najmanja u siječnju i prosincu 1,03 mm. Također iz možemo primijetiti da ET_0 raste početkom i pada krajem vegetacijskog razdoblja.

Country	Hrvatska	Station	Krk			
Altitude	28 m.	Latitude	45.02 °N	Longitude	14.56 °E	
Month	Avg Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ET ₀
	°C	%	m/s	hours	MJ/m ² /day	mm/day
January	6.5	74	3.3	3.3	5.3	1.03
February	7.0	71	3.6	4.3	8.0	1.38
March	10.0	70	3.3	5.6	12.3	1.97
April	13.9	70	2.7	6.8	16.8	2.76
May	18.4	68	2.6	8.1	20.6	3.83
June	23.2	63	2.5	9.7	23.6	5.09
July	25.3	59	2.6	10.3	23.9	5.68
August	24.8	62	2.6	9.7	21.2	5.07
September	19.9	69	2.8	7.3	15.2	3.34
October	15.6	75	3.0	5.4	9.8	2.00
November	11.6	77	3.2	3.4	5.7	1.28
December	8.0	75	3.3	3.1	4.6	1.03
Average	15.3	69	3.0	6.4	13.9	2.87

Slika 4.5. Prikaz zaslona programa CROPWAT, izračun referentne evapotranspiracije za prosječnu klimatološku godinu

Za meteorološku postaju Krk prosječne ukupne godišnje oborine iznose 1255,2 mm (slika 4.6.). Najviše oborina padne u studenom 185,3 mm, a najmanje u srpnju 51,6 mm. Od ukupnih oborina prema USDA-SCS efektivne oborine iznose 1014,3 mm. U vegetacijskom razdoblju (travanj-rujan) padne 491,7 mm, što čini 39 % godišnjih oborina.

Station		Eff. rain method	
Krk		USDA S.C. Method	
	Rain	Eff rain	
	mm	mm	
January	108.4	89.6	
February	104.4	87.0	
March	74.3	65.5	
April	70.8	62.8	
May	86.1	74.2	
June	60.9	55.0	
July	51.6	47.3	
August	79.2	69.2	
September	143.1	110.3	
October	152.9	115.5	
November	185.3	130.4	
December	138.2	107.6	
Total	1255.2	1014.3	

Slika 4.6. Prikaz zaslona programa CROPWAT, izračun efektivnih oborina

Na temelju zadanih vrijednosti k_c izračunate su dnevne i dekadne vrijednosti evapotranspiracije kulture (ET_c) (slika 4.7). Za godišnji ciklus koji počinje i završava u rujnu slijedeće godine, dobivena vrijednost ET_c iznosi 476,4 mm, a efektivne oborine iznose 850 mm. Međutim, najveća količina oborina pada izvan vegetacijskog razdoblja. Najviše vrijednosti ET_c su u razdoblju od travnja do srpnja.

Uzimajući u obzir efektivne oborine, potreba za navodnjavanjem javlja se u razdoblju od svibnja do kolovoza, kada efektivne oborine ne zadovoljavaju potrebe za evapotranspiracijom kulture. Konkretno, potreba za navodnjavanjem je izraženija u dekadama kada su efektivne oborine značajno niže od ET_c , posebno u lipnju, srpnju i kolovozu.

Najveće potrebe za vodom javljaju se u srpnju, kada je potrebno dodati 54 mm vode, najintenzivnije navodnjavanje zahtijeva druga dekada ovog mjeseca (19 mm). Tijekom lipnja potrebno je nadoknaditi 34,9 mm vode (tablica 4.3). Ukupni nedostatak vode za navedeni godišnji ciklus uzimajući u obzir prosječne klimatske pokazatelje za postaju Krk i koeficijent kulture za vinovu lozu iznosi 112 mm.

ETo station		Krk		Crop		Wine grapes	
Rain station		Krk		Planting date		15/09	
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Sep	2	Init	0.29	0.98	5.9	19.6	0.0
Sep	3	Init	0.30	0.87	8.7	32.7	0.0
Oct	1	Init	0.30	0.73	7.3	32.0	0.0
Oct	2	Init	0.30	0.60	6.0	32.3	0.0
Oct	3	Init	0.30	0.53	5.8	34.1	0.0
Nov	1	Init	0.30	0.46	4.6	37.2	0.0
Nov	2	Init	0.30	0.38	3.8	39.4	0.0
Nov	3	Init	0.30	0.36	3.6	36.4	0.0
Dec	1	Init	0.30	0.34	3.4	32.6	0.0
Dec	2	Init	0.30	0.31	3.1	30.1	0.0
Dec	3	Init	0.30	0.30	3.4	28.3	0.0
Jan	1	Init	0.30	0.30	3.0	26.3	0.0
Jan	2	Init	0.30	0.29	2.9	24.2	0.0
Jan	3	Init	0.30	0.33	3.7	24.2	0.0
Feb	1	Init	0.30	0.37	3.7	24.9	0.0
Feb	2	Deve	0.32	0.44	4.4	24.9	0.0
Feb	3	Deve	0.36	0.57	4.6	22.5	0.0
Mar	1	Deve	0.40	0.72	7.2	19.5	0.0
Mar	2	Deve	0.45	0.89	8.9	17.2	0.0
Mar	3	Deve	0.50	1.11	12.3	17.2	0.0
Apr	1	Mid	0.53	1.33	13.3	17.0	0.0
Apr	2	Mid	0.53	1.47	14.7	16.6	0.0
Apr	3	Mid	0.53	1.66	16.6	17.9	0.0
May	1	Mid	0.53	1.85	18.5	20.1	0.0
May	2	Mid	0.53	2.04	20.4	21.6	0.0
May	3	Mid	0.53	2.26	24.9	19.4	5.4
Jun	1	Mid	0.53	2.48	24.8	16.5	8.3
Jun	2	Mid	0.53	2.71	27.1	14.5	12.5
Jun	3	Mid	0.53	2.81	28.1	14.0	14.1
Jul	1	Mid	0.53	2.95	29.5	12.8	16.7
Jul	2	Mid	0.53	3.07	30.7	11.7	19.0
Jul	3	Mid	0.53	2.95	32.4	14.1	18.3
Aug	1	Late	0.52	2.79	27.9	16.4	11.5
Aug	2	Late	0.47	2.41	24.1	18.1	6.0
Aug	3	Late	0.40	1.83	20.2	22.5	0.0
Sep	1	Late	0.34	1.32	13.2	28.1	0.0
Sep	2	Late	0.29	0.98	3.9	13.0	0.0
					476.4	850.0	112.0

Slika 4.7. Prikaz zaslona programa CROPWAT, model izračunate dekadne potrebe vode za navodnjavanje vinove loze u prosječnoj klimatskoj godini

4.4.2. Izračun potreba za navodnjavanjem vinograda s promjenom klime prema SSP2 4.5 scenariju

Prosječna godišnja temperatura zraka prema scenariju SSP 4.5 iznosi 16,9 °C (slika 4.8). Prosječna vlažnost zraka, brzina strujanja vjetra i količina sijanja sunca zadržani su kao u prosječnoj klimatološkoj godini. Najviša temperatura je u srpnju i iznosi 26,9 °C, dok je najniža u siječnju s vrijednošću od 8,1 °C. U razdoblju vegetacije (travanj-rujan) najmanja prosječna temperatura je u travnju i iznosi 15,5 °C, dok je najviša u srpnju s 26,9 °C.

Prema formuli Penman-Monteith, prosječna dnevna referentna evapotranspiracija (ET_0) iznosi 3,03 mm. ET_0 je najveća u srpnju s vrijednošću od 5,93 mm, dok je najmanja u siječnju s vrijednošću od 1,10 mm.

Country	Hrvatska	Station	Krk			
Altitude	28 m.	Latitude	45.02 °N			
		Longitude	14.56 °E			
Month	Avg Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ET ₀
	°C	%	m/s	hours	MJ/m ² /day	mm/day
January	8.1	74	3.3	3.3	5.3	1.10
February	8.6	71	3.6	4.3	8.0	1.49
March	11.6	70	3.3	5.6	12.3	2.10
April	15.5	70	2.7	6.8	16.8	2.92
May	20.0	68	2.6	8.1	20.6	4.03
June	24.8	63	2.5	9.7	23.6	5.32
July	26.9	59	2.6	10.3	23.9	5.93
August	26.4	62	2.6	9.7	21.2	5.30
September	21.5	69	2.8	7.3	15.2	3.52
October	17.2	75	3.0	5.4	9.8	2.12
November	13.2	77	3.2	3.4	5.7	1.37
December	9.6	75	3.3	3.3	4.6	1.11
Average	16.9	69	3.0	6.4	13.9	3.03

Slika 4.8 Prikaz zaslona programa CROPWAT, izračun referentne evapotranspiracije za scenarij SSP2 4.8

Po klimatološkom scenariju SSP2 4.5 na područje Vrbničkog polja palo bi 1066,9 mm oborina (slika 4.9). Najviše oborina palo bi u studenom 157,5 mm, a najmanje u srpnju 40.8 mm. Od ukupnih oborina prema USDA-SCS efektivne oborine iznosile bi 892,9 mm.

Station		Eff. rain method	
Krk		USDA S.C. Method	
	Rain	Eff rain	
	mm	mm	
January	92.2	78.6	
February	88.8	76.2	
March	63.1	56.7	
April	60.2	54.4	
May	73.2	64.6	
June	51.7	47.4	
July	43.9	40.8	
August	67.3	60.1	
September	121.6	97.9	
October	130.0	103.0	
November	157.5	117.8	
December	117.4	95.3	
Total	1066.9	892.9	

Slika 4.9 Prikaz zaslona programa CROPWAT, izračun efektivnih oborina za scenarij SSP2 4.5

Temeljem izračuna potreba kulture za vodom u scenariju SSP2 4.5, potrebno je dodati 115,3 mm, što je 2,3 mm više u odnosu na prosječnu klimatsku godinu (slika 4.10). ETC iznosi 501,4 mm, što je 25 mm više, dok efektivne oborine iznose 893,1 mm, što je 43,1 mm više. Prvi obrok navodnjavanja potrebno je dodati u trećoj dekadi svibnja i to 5,6 mm/dekadi, što je 0,2 mm više u odnosu na prosječnu klimatsku godinu.

Najveće potrebe za vodom javljaju se u srpnju, kada je potrebno dodati 55,7 mm, što je 1,7 mm više u odnosu na prosječnu klimatsku godinu, a najintenzivnije navodnjavanje zahtijeva druga dekada ovog mjeseca, kada je potrebno dodati 19,6 mm, što je 0,6 mm više. U lipnju je potrebno dodati 36,1 mm, što je 2,1 mm više u odnosu na prosječnu klimatsku godinu.

ETo station		Krk	Crop		Wine grapes		
Rain station		Krk	Planting date		15/09		
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Sep	2	Init	0.29	1.03	6.2	20.5	0.0
Sep	3	Init	0.30	0.92	9.2	34.2	0.0
Oct	1	Init	0.30	0.78	7.8	33.5	0.0
Oct	2	Init	0.30	0.64	6.4	33.9	0.0
Oct	3	Init	0.30	0.56	6.2	35.7	0.0
Nov	1	Init	0.30	0.49	4.9	38.8	0.0
Nov	2	Init	0.30	0.41	4.1	41.0	0.0
Nov	3	Init	0.30	0.39	3.9	37.9	0.0
Dec	1	Init	0.30	0.36	3.6	34.1	0.0
Dec	2	Init	0.30	0.33	3.3	31.5	0.0
Dec	3	Init	0.30	0.33	3.7	29.8	0.0
Jan	1	Init	0.30	0.33	3.3	27.6	0.0
Jan	2	Init	0.30	0.33	3.3	25.5	0.0
Jan	3	Init	0.30	0.37	4.1	25.5	0.0
Feb	1	Init	0.30	0.41	4.1	26.2	0.0
Feb	2	Deve	0.32	0.48	4.8	26.1	0.0
Feb	3	Deve	0.36	0.61	4.9	23.7	0.0
Mar	1	Deve	0.40	0.77	7.7	20.5	0.0
Mar	2	Deve	0.45	0.95	9.5	18.1	0.0
Mar	3	Deve	0.50	1.19	13.0	18.1	0.0
Apr	1	Mid	0.53	1.41	14.1	18.0	0.0
Apr	2	Mid	0.53	1.55	15.5	17.6	0.0
Apr	3	Mid	0.53	1.75	17.5	18.9	0.0
May	1	Mid	0.53	1.94	19.4	21.2	0.0
May	2	Mid	0.53	2.14	21.4	22.8	0.0
May	3	Mid	0.53	2.37	26.1	20.5	5.6
Jun	1	Mid	0.53	2.60	26.0	17.4	8.6
Jun	2	Mid	0.53	2.83	28.3	15.4	12.9
Jun	3	Mid	0.53	2.94	29.4	14.8	14.6
Jul	1	Mid	0.53	3.08	30.8	13.5	17.2
Jul	2	Mid	0.53	3.20	32.0	12.4	19.6
Jul	3	Mid	0.53	3.07	33.8	14.9	18.9
Aug	1	Late	0.52	2.91	29.1	17.3	11.8
Aug	2	Late	0.47	2.52	25.2	19.2	6.0
Aug	3	Late	0.40	1.92	21.1	23.7	0.0
Sep	1	Late	0.34	1.39	13.9	29.5	0.0
Sep	2	Late	0.29	1.03	4.1	13.7	0.0
					501.4	893.1	115.3

Slika 4.10 Prikaz zaslona programa CROPWAT, model izračunate dekadne potrebe vode za navodnjavanje vinove loze prema scenariju SSP2 4.5

4.4.3. Izračun potreba za navodnjavanjem vinograda s promjenom klime) prema SSP5 8.5 scenariju

Na temelju novih podataka iz scenarija SSP5 8,5, prosječna godišnja temperatura zraka za postaju Krk iznosi 17,9°C (slika 4.11). Prosječna vlažnost zraka, brzina strujanja vjetra i količina sijanja sunca ostaju kao u prosječnoj klimatološkoj godini. Najviša temperatura je u srpnju i iznosi 27,8 °C, dok je najniža u siječnju s vrijednošću od 9,0 °C. U razdoblju vegetacije (travanj-rujan) najmanja prosječna temperatura je u travnju i iznosi 16,4 °C, dok je najviša u srpnju s 27,8 °C. Prema formuli Penman-Monteith, prosječna dnevna referentna evapotranspiracija (ET₀) iznosi 3,11 mm. ET₀ je najveća u srpnju s vrijednošću od 5,45 mm, dok je najmanja u siječnju s vrijednošću od 1,15 mm.

Country		Hrvatska		Station		Krk	
Altitude		28 m.		Latitude		45.02 °N	
				Longitude		14.56 °E	
Month	Avg Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ET ₀	
	°C	%	m/s	hours	MJ/m ² /day	mm/day	
January	9.0	74	3.3	3.3	5.3	1.15	
February	9.5	71	3.6	4.3	8.0	1.55	
March	12.5	70	3.3	5.6	12.3	2.18	
April	16.4	70	2.7	6.8	16.8	3.01	
May	20.9	68	2.6	8.1	20.6	4.14	
June	25.7	63	2.5	9.7	23.6	5.45	
July	27.8	59	2.6	10.3	23.9	6.06	
August	27.3	62	2.6	9.7	21.2	5.43	
September	22.4	69	2.8	7.3	15.2	3.62	
October	18.1	75	3.0	5.4	9.8	2.19	
November	14.1	77	3.2	3.4	5.7	1.42	
December	10.5	75	3.3	3.1	4.6	1.17	
Average	17.9	69	3.0	6.4	13.9	3.11	

Slika 4.11. Prikaz zaslona programa CROPWAT, izračun referentne evapotranspiracije za scenarij SSP5 8.5

Prema klimatološkom scenariju SSP5 8.5, ukupne oborine na području Vrbničkog polja iznose 1004,1 mm, što je 251,1 mm manje u odnosu na prosječnu klimatsku godinu i 62,8 mm manje u odnosu na scenarij SSP2 4.5 (slika 4.12). Najviše oborina u scenariju SSP5 8.5 pada u studenom (148,3 mm), što je 37 mm manje u odnosu na prosječnu klimatsku godinu i 9,2 mm manje u odnosu na scenarij SSP2 4.5. Najmanje oborina pada u srpnju (38,6 mm), što je 13 mm manje u odnosu na prosječnu klimatsku godinu i 2,2 mm manje u odnosu na scenarij SSP2 4.5.

Efektivne oborine prema scenariju SSP5 8.5 iznose 850 mm, što je 164,3 mm manje u odnosu na prosječnu klimatsku godinu i 42,9 mm manje u odnosu na scenarij SSP2 4.5

Station		Eff. rain method	
Krk		USDA S.C. Method	
	Rain	Eff rain	
	mm	mm	
January	86.7	74.7	
February	83.5	72.3	
March	59.4	53.8	
April	56.6	51.5	
May	68.9	61.3	
June	48.7	44.9	
July	41.3	38.6	
August	63.4	57.0	
September	114.5	93.5	
October	122.3	98.4	
November	148.3	113.1	
December	110.5	91.0	
Total	1004.1	850.0	

Slika 4.12. Prikaz zaslona programa CROPWAT, izračun efektivnih oborina za scenarij SSP5 8.5

Temeljem izračuna potreba kulture za vodom u scenariju SSP5 8.5, potrebno je dodati 121,5 mm, što je 6,2 mm više u odnosu na scenarij SSP2 4.5 te 9,5 mm više u odnosu na prosječne klimatske uvjete (slika 4.13). Evapotranspiracija kulture (ET_c) iznosi 515,5 mm, što je 14,1 mm više u odnosu na scenarij SSP2 4.5 te 39,1 mm više u odnosu na prosječne klimatske uvjete. Efektivne oborine iznose 889,3 mm, što je 3,7 mm manje od scenarija SSP2 4.5, a 39,3 mm više od prosječne klimatske godine.

Prvi obrok navodnjavanja potrebno je dodati u trećoj dekadi svibnja i to 6,3 mm po dekadi, što je povećanje za 0,7 mm u odnosu na scenarij SSP2 4.5 te 0,9 mm u odnosu na prosječnu klimatsku godinu. Najveće potrebe za vodom javljaju se u srpnju, kada je potrebno dodati 58,1 mm, što je 2,4 mm više u odnosu na scenarij SSP2 4.5 te 4,1 mm više u odnosu na prosječnu klimatsku godinu. Najintenzivnije navodnjavanje zahtijeva druga dekada srpnja, kada je potrebno dodati 20,4 mm, što je 0,8 mm više u odnosu na scenarij SSP2 4.5 te 1,4 mm više u odnosu na prosječnu klimatsku godinu.

U lipnju je potrebno dodati 38,1 mm, što je 2 mm više u odnosu na scenarij SSP2 4.5 te 3,2 mm više u odnosu na prosječnu klimatsku godinu.

ETo station		Krk	Crop		Wine grapes		
Rain station		Krk	Planting date		15/09		
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Sep	2	Init	0.29	1.06	6.4	20.5	0.0
Sep	3	Init	0.30	0.94	9.4	34.2	0.0
Oct	1	Init	0.30	0.80	8.0	33.5	0.0
Oct	2	Init	0.30	0.66	6.6	33.9	0.0
Oct	3	Init	0.30	0.58	6.4	35.7	0.0
Nov	1	Init	0.30	0.50	5.0	38.8	0.0
Nov	2	Init	0.30	0.43	4.3	41.0	0.0
Nov	3	Init	0.30	0.40	4.0	37.9	0.0
Dec	1	Init	0.30	0.37	3.7	34.2	0.0
Dec	2	Init	0.30	0.35	3.5	31.7	0.0
Dec	3	Init	0.30	0.35	3.8	29.5	0.0
Jan	1	Init	0.30	0.35	3.5	26.5	0.0
Jan	2	Init	0.30	0.34	3.4	23.9	0.0
Jan	3	Init	0.30	0.38	4.2	24.4	0.0
Feb	1	Init	0.30	0.42	4.2	25.9	0.0
Feb	2	Deve	0.32	0.50	5.0	26.3	0.0
Feb	3	Deve	0.36	0.64	5.1	23.9	0.0
Mar	1	Deve	0.40	0.80	8.0	20.5	0.0
Mar	2	Deve	0.45	0.98	9.8	18.1	0.0
Mar	3	Deve	0.50	1.23	13.5	18.1	0.0
Apr	1	Mid	0.53	1.45	14.5	18.0	0.0
Apr	2	Mid	0.53	1.60	16.0	17.6	0.0
Apr	3	Mid	0.53	1.80	18.0	18.9	0.0
May	1	Mid	0.53	2.00	20.0	21.2	0.0
May	2	Mid	0.53	2.20	22.0	22.8	0.0
May	3	Mid	0.53	2.43	26.8	20.5	6.3
Jun	1	Mid	0.53	2.66	26.6	17.4	9.2
Jun	2	Mid	0.53	2.90	29.0	15.4	13.6
Jun	3	Mid	0.53	3.01	30.1	14.8	15.3
Jul	1	Mid	0.53	3.15	31.5	13.5	18.0
Jul	2	Mid	0.53	3.28	32.8	12.4	20.4
Jul	3	Mid	0.53	3.15	34.6	14.9	19.7
Aug	1	Late	0.52	2.98	29.8	17.3	12.5
Aug	2	Late	0.47	2.58	25.8	19.2	6.6
Aug	3	Late	0.40	1.97	21.6	23.7	0.0
Sep	1	Late	0.34	1.42	14.2	29.5	0.0
Sep	2	Late	0.29	1.06	4.3	13.7	0.0
					515.5	889.3	121.6

Slika 4.13. Prikaz zaslona programa CROPWAT, model izračunate dekadne potrebe vode za navodnjavanje vinove loze prema scenariju SSP5 8.5

Važno je napomenuti da su pri analiziranju potreba za navodnjavanjem korišteni modeli klimatskih promjena, kojima su se mijenjale količine oborina i temperature. Zbog toga nije došlo do značajnijih promjena u potrebama za vodom, odnosno u razlikama evapotranspiracije između različitih klimatskih pokazatelja. Pri analizi nisu uzete u obzir vjerojatne promjene vjetra, vlage i radijacije. Promjene u radijaciji i brzini vjetra (u_2) također značajno utječu na evapotranspiraciju. Radijacija direktno utječe na količinu energije dostupne za isparavanje vode, dok brzina vjetra utječe na brzinu isparavanja vode površine

bilje i tla. Stoga, uzimajući u obzir samo promjene temperature i oborina, stvarne potrebe za navodnjavanjem mogle bi biti veće od predviđenih u analiziranim scenarijima. Potrebno je uključiti promjene u radijaciji i brzini vjetra kako bi se dobila točnija procjena evapotranspiracije i, posljedično, preciznije potrebe za navodnjavanjem.

5. Zaključci

Analizom načina korištenja zemljišta u Vrbničkom polju utvrđeno je da vinogradi čine dominantnu poljoprivrednu kulturu s udjelom od 97 % ukupnog poljoprivrednog zemljišta. Ova činjenica naglašava izuzetnu važnost vinogradarstva za lokalnu ekonomiju i kulturu. S obzirom na klimatske promjene i njihove predviđene utjecaje na poljoprivredu, neophodno je detaljno razumjeti i planirati potrebe za navodnjavanjem vinograda kako bi se osigurala održiva proizvodnja.

Potrebe za navodnjavanjem vinograda u Vrbničkom polju analizirane su pomoću programa CROPWAT. Rezultati su pokazali da u prosječnoj klimatskoj godini vinogradima treba dodati 112 mm vode kako bi se osigurao optimalan rast i razvoj. Međutim, u scenarijima klimatskih promjena SSP2 4.5 i SSP5 8.5, ove potrebe rastu. U scenariju SSP2 4.5 potrebno je dodati 115,3 mm vode, dok scenarij SSP5 8.5 zahtijeva 121,6 mm. Ove povećane potrebe za navodnjavanjem rezultat su predviđenog porasta prosječne godišnje temperature za 1.6°C u scenariju SSP2 4.5 i za 2.5 °C u scenariju SSP5 8.5, uz istovremeno smanjenje količine oborina za 15 % odnosno 20 %.

Najveći deficit vode zabilježen je u mjesecu srpnju za sve analizirane scenarije. To znači da je u tom mjesecu najpotrebnije provoditi intenzivno navodnjavanje kako bi se održala optimalna razina vlage u tlu. Međutim, važno je izdvojiti da se provedenim modelima bilježi nedostatak vode već od treće dekade svibnja. Ovi podaci naglašavaju važnost prilagodbe strategija navodnjavanja kako bi se odgovorilo na sezonske varijabilnosti u dostupnosti vode.

Prema dostupnim pedološkim profilima, tlo u Vrbničkom polju je alkalno, s niskim sadržajem organske tvari i visokim kapacitetom zamjene kationa, pretežno zasićeno kalcijem. Ove karakteristike zahtijevaju specifične agrotehničke mjere za održavanje plodnosti tla, kao i prilagodbu strategija navodnjavanja.

U cilju povećanja učinkovitosti upotrebe vode i smanjenja gubitaka kroz isparavanje, preporučuje se korištenje lokaliziranih sustava navodnjavanja, poput sustava kap po kap. Ovi sustavi omogućuju precizno doziranje vode i minimalizaciju otjecanja, čime se osigurava optimalna iskoristivost vode. Integracija navodnjavanja s drugim mjerama prilagodbe, poput uzgoja otpornijih kultivara i promjena poljoprivrednih praksi, ključna je za stvaranje otpornijeg i održivijeg poljoprivrednog sustava.

Zaključno, rezultati ovog rada jasno ukazuju na potrebu za strateškim planiranjem i upravljanjem vodnim resursima kako bi se osigurala održiva proizvodnja vinove loze u Vrbničkom polju.

6. Popis literature

1. Adrian R., Craig M., Degvold F., Ebi K.L., Frieler K., Jamshed A., McMillan J., Mechler R., New M., Simpson N., Stevens N. (2022). Međuvladin panel o klimatskim promjenama - Klimatske promjene 2022, Utjecaji, prilagodba i ranjivost; sažetak za donositelje odluka.
2. Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
3. Bakić H. (2015). Stabiliziranje organskog ugljika i retencija metala organo-mineralnim kompleksiranjem u tlima krških polja.
4. Državni hidrometeorološki zavod (2024), podatci sa stanica Krk i Senj
5. Državni zavod za statistiku. www.dzs.hr, pristupljeno 15.5.2024.
6. ESRI (2020). ArcMap 10.8.1. Environmental Systems Research Institute Inc.
7. Ford D.C., Williams P.W. (2007). Karst hydrology and geomorphology. John Wiley and Sons, Chichester. 576 pp.
8. Grimani I., Šušnjar M., Bukovac J., Milan A., Nikler L., Crnolatac I., Šikić D., Blašković I. (1963). Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000. Tumač za list Crikvenica K 33-102. Institut za geološka istraživanja, Zagreb. 47 str.
9. Jennings J.N. (1985). Karst Geomorphology. Basil Blackwell, Oxford, New York. 293 pp.
10. Kuterovac V. (2022). Troškovi i učinci sustava za navodnjavanje u poljoprivrednoj proizvodnji, završni rad.
11. Osrečak M. (2022). Navodnjavanje vinove loze, Gospodarski list.
12. Pokos-Nemec V. (2008). Navodnjavanje u vinogradarstvu, Glasnik zaštite bilja 6/2008.
13. Romić D., Karoglan J.K., Preiner D., Romić M., Lazarević B., Maletić E., Ondrašek G., Andabaka Ž., Bakić H.B., Bubalo M.K., Zovko M. (2020). Performance of grapevine grown on reclaimed Mediterranean karst land: Appearance and duration of high temperature events and effects of irrigation. Agricultural water management, 236, 106166, 12.

14. Romić D., Romić M., Ondrašek G., Zovko M., Bubalo Kovačić M., Bakić Begić H., Reljić M., Husnjak S., Sraka M., Njavro M., Kuspilić N., Ocvirk E., Gilja G., Potočki K., Cikojević A., Nakić Z., Kovač Z., Rastija D., Tadić L., Brleković T., Josipović M. (2021). Novelacija nacionalnog projekta navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama (NAPNAV).
15. Smith M. (1992). Cropwat-A computer program for irrigation planning and management. Irrigation and Drainage paper. No. 46, FAO, Rome.
16. Terry L. Prichard. (2018). Vineyard Irrigation Systems, Department of Viticulture and Enology.
17. Tomaz A., Dôres J., Martins I., Catarino A., Boteta L., Santos M., Patanita M., Palma P. (2024). Water and carbon footprints in irrigated vineyards: an on-farm assessment. *Irrigation Science*, 1-17. 10.1007/s00271-024-00926-6.
18. Trumbić I., Landau S., Pavičić Kaselj A., Branković Č., Rubinić J., Ljubenković I., Znaor D., Krajter Ostoić S., Ozimec R., Kurtović B., Tropčić-Zekan G., Šverko Grdić Z., Berlengi G., Jergović M. (2017). Jačanje kapaciteta Ministarstva zaštite okoliša i energetike za prilagodbu klimatskim promjenama te priprema Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama. EPTISA Adria d.o.o.
19. USDA (1967). Irrigation water requirements. Tech. Release No. 21, United States Dept. of Agr., Soil Management, 59: 67–75.
20. Vitali Čepo D. (2021). Priručnik "Klimatske promjene u Hrvatskoj", CO2go-Priče za klimatsku akciju

Životopis

Rođen u Rijeci 15. srpnja 2002., Mate Toljanić trenutno živi u Vrbniku. Osnovnu školu završio je u OŠ Fran Krsto Frankopan. Srednje obrazovanje stekao je u Prirodoslovnoj i grafičkoj školi Rijeka, gdje je od 2017. do 2021. pohađao smjer kemijski tehničar. Tijekom svog obrazovanja, Mate Toljanić stekao je osnovno znanje engleskog jezika na A2 razini. Uz studiranje Mate Toljanić radi u obiteljskoj firmi koja se bavi ugostiteljstvom te proizvodnjom vina i pršuta.