

# Utjecaj suše na vinovu lozu

---

**Vezilj, Borna**

**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:204:328368>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-12**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
AGRONOMSKI FAKULTET

UTJECAJ SUŠE NA VINOVO LOZU

ZAVRŠNI RAD

Borna Vezić

Zagreb, rujan, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
AGRONOMSKI FAKULTET

Preddiplomski studij:  
Hortikultura

UTJECAJ SUŠE NA VINOVOU LOZU  
ZAVRŠNI RAD

Borna Vezić

Mentor: prof. dr. sc. Marko Karoglan

Zagreb, rujna, 2024.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**AGRONOMSKI FAKULTET**

**IZJAVA STUDENTA**  
**O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI**

Ja, Borna Vežilj, JMBAG 0178129759, izjavljujem da sam samostalno izradio završni rad pod naslovom:

**UTJECAJ SUŠE NA VINOVOU LOZU**

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 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/ice **Borna Vezilj**, JMBAG 0178129759 , naslova

**UTJECAJ SUŠE NA VINOVO LOZU**

mentor je ocijenio ocjenom \_\_\_\_\_.

Završni rad obranjen je dana \_\_\_\_\_ pred povjerenstvom koje je prezentaciju ocijenilo ocjenom \_\_\_\_\_, te je student/ica postigao/la ukupnu ocjenu<sup>1</sup> \_\_\_\_\_.

Povjerenstvo:

1. prof. dr. sc. Marko Karoglan mentor
2. \_\_\_\_\_ član
3. \_\_\_\_\_ član

potpisi:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

---

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

## **Zahvala**

Ovime zahvaljujem svojem mentoru prof. dr. sc. Marku Karoglanu na uloženom trudu, strpljenju i pomoći pri izradi ovoga rada kao i znanju koje mi je prenio putem drugih kolegija. Također bih se zahvalio svojim prijateljima i kolegama koji su mi pružili pomoć i bili potpora. Posebna zahvala ide mojoj obitelji i roditeljima koji su mi omogućili obrazovanje i bili podrška tijekom studija.

## **Sažetak**

Završnog rada studenta **Borna Vezilj**, naslova

### **UTJECAJ SUŠE NA VINOVOU LOZU**

Ovaj rad istražuje utjecaj suše na vinovu lozu, s posebnim naglaskom na fiziološke i ekonomske aspekte. Vinova loza je biljka osjetljiva na nedostatak vode, što može uzrokovati smanjenje prinosa i kvalitete grožđa, te posljedično utjecati na kvalitetu vina. Suša uzrokuje stres kod biljke, smanjujući fotosintetsku aktivnost, poremećaje u metabolizmu i smanjenu apsorpciju hranjivih tvari. Na temelju analize različitih istraživanja, rad također razmatra prilagodbe vinove loze sušnim uvjetima, metode navodnjavanja te sustave uzdržavanja tla. Zaključci rada sugeriraju da je održiva proizvodnja vina u uvjetima suše moguća, ali zahtijeva integrirani pristup upravljanju vinogradima.

**Ključne riječi:** vinova loza, suša, klimatske promijene

## **Summary**

Of the final work – student **Borna Vezilj**, entitled

### **Impact of drought of grapevine**

This paper investigates the impact of drought on grapevines, with special emphasis on physiological and economic aspects. The grapevine is a plant sensitive to a lack of water, which can cause a decrease in the yield and quality of the grapes, and consequently affect the quality of the wine. Drought causes stress in the plant, reducing photosynthetic activity, disturbances in metabolism and reduced absorption of nutrients. Based on the analysis of various research, the paper also considers the adaptation of the grapevine to drought conditions, including the selection of more resistant varieties, irrigation methods and soil maintenance practices. The conclusions of the paper suggest that sustainable wine production in drought conditions is possible but requires an integrated approach to vineyard management.

**Keywords:** grapevine, drought, climate change



# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Cilj rada.....	1
2. UTJECAJ SUŠE NA VINOVOU LOZU .....	2
2.1. Fiziologija.....	4
2.1.1. Odgovor puči.....	4
2.1.2. Metabolički odgovor .....	5
2.1.3. Fiziološki stres i odgovor na oksidativni stres .....	6
2.2. Morfologija.....	7
2.3. Utjecaj nedostatka vode na fiziologiju i sastav bobica .....	8
2.4. Utjecaj okolišnih čimbenika i dizajna vinograda na nedostatak vode stopu transpiracije na razini lisne mase i zone grožđa .....	10
2.4.1. Okolišni čimbenici .....	11
2.4.2. Dizajn vinograda .....	11
2.4.3. Utjecaj na nadzemni dio trsa i zonu grožđa .....	14
3. MOGUĆE STRATEGIJE ZA POBOLJŠANJE UPOTREBE VODE, KVALITETE I PRINOSA .....	15
3.1. Nedostatak navodnjavanja i djelomično isušivanje u zoni korijena (PRD) / partial rootzone drying (PRD) .....	15
3.1.1. Fiziološka pozadina iza poboljšane efikasnosti korištenja vode izazvane deficitom vode.....	16
3.2. Strategije navodnjavanja za specifične mikrolokacije .....	17
3.3. Znanstveni napredak na polju intervala navodnjavanja .....	19
4. ZAKLJUČAK.....	21
5. POPIS LITERATURE .....	22

## **1. UVOD**

Suša predstavlja jednu od najznačajnijih prirodnih prijetnji za poljoprivredne kulture širom svijeta, a vinova loza nije iznimka. Kao biljka koja zahtijeva specifične uvjete tla i klime za optimalan rast i razvoj, vinova loza je izrazito osjetljiva na promjene u količini i distribuciji oborina. Suša, koja se definira kao produženo razdoblje neadekvatne količine vode, može imati duboke posljedice na fiziološke procese vinove loze, utječući na kvalitetu i kvantitetu uroda.

Vinova loza (*Vitis vinifera*) je ekonomski važna kultura, posebno u mediteranskim regijama gdje je vinogradarstvo značajan dio lokalne ekonomije i kulturne baštine. Klimatske promjene i sve češće pojave sušnih perioda stavljaju dodatni pritisak na vinogadare, koji se moraju prilagođavati novim uvjetima kako bi osigurali održivost proizvodnje. Razumijevanje utjecaja suše na vinovu lozu stoga postaje ključno za razvoj strategija koje će pomoći u ublažavanju negativnih efekata i očuvanju kvalitete vina.

### **1.1. Cilj rada**

Cilj ovog rada je istražiti i analizirati kako suša utječe na vinovu lozu, uključujući fiziološke promjene u biljci, utjecaj na prinos i kvalitetu grožđa te ekonomske posljedice za vinogradarstvo. Rad također nastoji identificirati moguće strategije i prilagodbe koje vinogradari mogu primijeniti kako bi ublažili negativne učinke suše i osigurali održivu proizvodnju. Kroz pregled literature i analizu konkretnih slučajeva, rad će ponuditi smjernice za bolje upravljanje vinogradima u uvjetima sve češćih i intenzivnijih suša.

## 2. UTJECAJ SUŠE NA VINOVOU LOZU

Nedostatak vode utječe na vegetativni i generativni rast vinove loze na različite načine, ovisno o intenzitetu i trenutku u sezoni kada se javlja. Prvi fiziološki odgovor na blagi nedostatak vode je smanjenje rasta mladica, pri čemu su zaperci pogođeni prije nego što se smanji rast glavnih mladica i regulira otvaranje puči. S povećanjem nedostatka vode, loza počinje zatvarati svoje puči kako bi ograničila gubitak vode transpiracijom, što dovodi do smanjenja fotosinteze (Keller, 2010). Kako se rast usporava prije nego što se smanji fotosinteza tijekom povećanog stresa zbog nedostatka vode, više ugljikohidrata postaje dostupno i može se alocirati na reproduktivne organe poput plodova, čime se potiče sinteza spojeva koji određuju kvalitetu bobica (aromatični spojevi, antocijani, sadržaj šećera) (van Leeuwen i sur., 2009).

Povećana učestalost suša ili nepravilnosti u oborinama mogu smanjiti dostupnost vode za navodnjavanje i rast usjeva.



*Slika 1. Posljedice suše u vinogradu*

( <https://winemakermag.com/technique/1470-beyond-the-shadow-of-a-drought> )

Fiziološki mehanizmi koji stoje iza regulacije puči uključuju hidrauličke i hormonske signale. Hormonska regulacija djeluje putem nakupljanja hormona suše abscizinske kiseline (ABA) u listovima, što izravno utječe na stanice zapornice koje zatvaraju puči (Coupel-Ledru i sur., 2017). Povijesne studije pokazuju da se sinteza ABA putem izoprenoidnog puta događa uglavnom u korijenju, nakon čega slijedi transport do listova gdje djeluje na regulaciju puči (Simonneau i sur., 1998).

Nedavna znanstvena literatura ističe da se većina ABA vjerojatno proizvodi unutar listova i naknadno transportira u korijenje gdje pomaže u održavanju normalnih razina ABA u korijenju te određuje rast i građu korijena (Christmann i sur., 2007; Speris i sur., 2013). To podržavaju studije ekspresije gena i procjene transporta ABA u toku soka u visokim stablima, gdje bi jednostavan fizički transport od korijena do listova trajao do 40 dana, dok se regulacija puči događa unutar nekoliko sati zbog stresa. (McAdams i sur., 2016; Sampaio Filho i sur., 2018).

Dakle, regulaciju puči najvjerojatnije pokreće ABA iz listova u kombinaciji s drugim, bržim signalima (Christmann i sur., 2007). Ovi signali su vjerojatno hidrauličke prirode i uzrokovani su kavitacijama koje se javljaju u ksilemskim posudama kada atmosferska potražnja ne može biti zadovoljena sadržajem vode u tlu. To stvara tako visoku napetost unutar ksilema da se molekule plina iz vode šire i ispunjavaju ksilemske posude ili traheide, što rezultira stvaranjem embolija i time smanjenjem hidrauličke provodljivosti (Knipfer i sur., 2016; Tramontini i sur., 2014).

Vinova loza opisana je i kao osjetljiva i relativno otporna na emboliju. Općenito, udaljeni organi poput peteljki osjetljiviji su na emboliju nego bliži dijelovi poput stabljika (Hochberg i sur., 2015).

## 2.1. Fiziologija

Kada razmatramo fiziologiju vinove loze u kontekstu utjecaja suše, fokusiramo se na kompleksne procese i prilagodbe koje biljka primjenjuje kako bi se nosila s nedostatkom vode. Suša predstavlja jedan od najvećih izazova za vinogradarstvo, posebno u svjetlu klimatskih promjena koje uzrokuju sve češće i intenzivnije sušne periode. Vinova loza (*Vitis vinifera*), kao višegodišnja biljka, razvila je niz adaptivnih mehanizama kako bi se nosila s nedostatkom vode. Razumijevanje fizioloških odgovora vinove loze na sušu ključno je za očuvanje prinosa i kvalitete grožđa u uvjetima promjenjive klime (Zhang i Keller, 2017).



Slika 2. Cvatnja vinove loze

(<https://gospodarski.hr/casopis/izdanja-2020-casopis/kako-poboljsati-cvatnju-vinove-loze/>)

### 2.1.1. Odgovor puči

- **Regulacija otvaranja puči:** Vinova loza reagira na sušu zatvaranjem puči kako bi smanjila transpiraciju vode. Ovaj proces pomaže u očuvanju vode u biljci, ali istovremeno ograničava unos CO<sub>2</sub> potrebnog za fotosintezu.

- **Efekti na fotosintezu:** Smanjenjem otvaranja puči, biljka ograničava dostupnost CO<sub>2</sub>, što može smanjiti brzinu fotosinteze i proizvodnju šećera potrebnih za rast i razvoj.

### 2.1.2. Metabolički odgovor

**Akumulacija osmotskih regulirajućih tvari:** Pod sušnim uvjetima, vinova loza može akumulirati osmotske regulirajuće tvari poput prolina, glicerola i šećera. Ove tvari pomažu u održavanju osmotskog tlaka unutar stanica i smanjuju rizik od dehidracije. Metaboličke prilagodbe vinove loze tijekom suše uključuju osmotsku regulaciju, gdje biljka akumulira osmolitike poput prolina i šećera kako bi održala turgor stanica. Ove tvari pomažu stanicama da zadrže vodu i zadrže svoj oblik unatoč sušnim uvjetima. Povećana sinteza antioksidansa još je jedan ključni mehanizam. Suša može uzrokovati oksidativni stres, a antioksidansi štite stanice od oštećenja. Promjene u fotosintezi također su uobičajene – zatvaranje puči smanjuje gubitak vode, ali i ograničava unos CO<sub>2</sub>, što može smanjiti fotosintetsku aktivnost i time utjecati na rast i razvoj biljke (Mikac, 2014).



Slika 3. Oksidativni stres stanice

( <https://www.merz-spezial.hr/merz-spezial-blog/clanak/clanak/sto-je-oksidativni-stres-i-zasto-ga-trebate-smanjiti/> )

### 2.1.3. Fiziološki stres i odgovor na oksidativni stres

- **Povećanje proizvodnje reaktivnih kisikovih spojeva (ROS):** Suša može izazvati povećanu proizvodnju ROS, što može uzrokovati oksidativni stres u stanicama vinove loze. Biljka razvija obrambene mehanizme poput antioksidativnih enzima za neutralizaciju ROS.

- **Efekti na fizičku strukturu i rast:** Suša može utjecati na fizičku strukturu biljke, uključujući smanjenje rasta zbog ograničenja unosa vode i hranjivih tvari.



*Slika 4. Simptomi suše na grozdu vinove loze*

*(<https://www.savjetodavna.hr/2020/04/15/susa-u-vinogradima/>)*



## 2.2. Morfologija

Vinova loza pokazuje morfološke prilagodbe kao odgovor na nedostatak vode, koje uključuju smanjenje veličine listova i površine listova, što može pomoći u smanjenju transpiracije. Također dolazi do promjena u debljini i sastavu voštanog sloja na listovima, što ograničava gubitak vode kroz površinu lista. Jedna od primarnih strategija vinove loze na sušu jest razvoj dubljeg korijenskog sustava. Kroz ovu morfološku promjenu, loza može dosegnuti vodu koja je dublje u tlu, čime se povećava njezina otpornost na sušne uvjete. Uz to, vinova loza često smanjuje površinu svojih listova kao odgovor na sušu.

Manji listovi znače manju površinu za transpiraciju, čime se smanjuje gubitak vode. Povećanje debljine voštanog sloja na listovima također pridonosi smanjenju gubitka vode, čime se poboljšava učinkovitost korištenja vode.

Genetičke adaptacije uključuju selektivni uzgoj sorti vinove loze koje su otpornije na sušu. Kroz selekciju i križanje, vinogradari su uspjeli razviti sorte koje bolje podnose sušne uvjete. Također, aktivacija specifičnih gena u odgovoru na stres uzrokovan sušom omogućava biljci da se prilagodi i preživi nepovoljne uvjete (Tombesi i sur., 2018).



*Slika 5. Sušenje vinove loze*

[\(https://gospodarski.hr/rubrike/vinogradarstvo-rubrike/utjecaj-suse-na-prirod-i-kakvocu-grozda/\)](https://gospodarski.hr/rubrike/vinogradarstvo-rubrike/utjecaj-suse-na-prirod-i-kakvocu-grozda/)



### 2.3. Utjecaj nedostatka vode na fiziologiju i sastav bobica

Nedostatak vode značajno utječe na fiziologiju i sastav bobica vinove loze, a ti učinci mogu biti različiti ovisno o intenzitetu i trajanju stresa. Dugotrajna suša može značajno smanjiti prinos grožđa zbog smanjene fotosintetske aktivnosti i povećanog opadanja cvjetova i mladih bobica. Međutim, suša može imati i pozitivan učinak na kemijski sastav grožđa. Povećanje koncentracije šećera i fenolnih spojeva u bobicama može poboljšati okus i kvalitetu vina, iako smanjenje prinosa ostaje ekonomski izazov za vinogradare (Zhang i sur., 2006). Ovdje su ključni aspekti kako nedostatak vode utječe na bobice:

- **Veličina bobica:** Nedostatak vode često dovodi do smanjenja veličine bobica. Manje bobice obično imaju koncentriraniji okus i veći omjer kože prema mesu, što može utjecati na povećanje koncentracije spojeva iz kože poput boje i tanina (Ojeda i sur., 2002).



Slika 6. Početna faza sušenja bobice vinove loze

(<https://progressivecrop.com/2019/07/29/grapevine-heat-stress-and-sunburn-management/>)

- **Sadržaj šećera:** Kada vinova loza doživljava stres zbog nedostatka vode, fotosinteza se smanjuje, ali omjer šećera u bobicama može se povećati zbog smanjenja veličine bobica i koncentracije šećera u manjem volumenu soka (Keller, 2010).

-**Sinteza sekundarnih metabolita:** Nedostatak vode može stimulirati sintezu određenih sekundarnih metabolita poput antocijana i flavonoida, koji su odgovorni za boju i okus vina. Ovi spojevi često se proizvode kao odgovor na stres i mogu doprinijeti boljoj kvaliteti vina (Castellarin i sur., 2007).

- **Sadržaj kiselina:** Smanjenje dostupnosti vode može utjecati na ravnotežu organskih kiselina u bobicama. Nedostatak vode može smanjiti razinu jabučne kiseline zbog povećane respiracije i smanjene sinteze, dok se razina vinske kiseline također može smanjiti, što utječe na ukupnu kiselost vina (Chaves i sur.,2007).

- **Aromatski spojevi:** Nedostatak vode može utjecati na proizvodnju aromatskih spojeva u bobicama. Neki istraživači sugeriraju da stres zbog nedostatka vode može poboljšati koncentraciju određenih spojeva koji doprinose aromi vina, čime se poboljšava kompleksnost i karakter vina (Deluc i sur., 2009).

- **Fenoli i tanini:** Manje bobice s većim omjerom kožice prema mesu rezultiraju većim koncentracijama fenolnih spojeva i tanina, što može poboljšati strukturu i tijelo vina (Kennedy i sur., 2002).

- **Fiziološki odgovori:** Vinova loza razvija različite fiziološke odgovore na stres zbog nedostatka vode, uključujući regulaciju otvaranja puči, smanjenje transpiracije i promjene u alokaciji resursa između vegetativnih i generativnih organa, što može utjecati na ukupni prinos i kvalitetu ploda (Chaves i sur., 2007).



*Slika 7. Posljedice suše na 'Pošipu'*

( <https://gospodarski.hr/rubrike/vinogradarstvo-rubrike/utjecaj-suse-na-prirod-i-kakvocu-grozda/> )

#### **2.4. Utjecaj okolišnih čimbenika i dizajna vinograda na nedostatak vode i transpiraciju vinove loze**

Vinogradarstvo, kao poljoprivredna grana koja ovisi o specifičnim okolišnim uvjetima, suočava se s brojnim izazovima uslijed klimatskih promjena, među kojima su suša i visoke temperature posebno zabrinjavajući. Okolišni čimbenici i dizajn vinograda igraju ključnu ulogu u upravljanju vodnim režimom biljke, transpiracijom i općim zdravstvenim stanjem vinove loze. Razumijevanje kako ovi čimbenici utječu na nedostatak vode i stopu transpiracije može pomoći vinogradarima u optimizaciji uzgojnih praksi za bolju otpornost na sušu.

### 2.4.1. Okolišni čimbenici

Okolišni čimbenici kao što su temperatura, solarna radijacija, vlažnost zraka i vjetar značajno utječu na stanje vode u vinovoj lozi i njenu stopu transpiracije. Evo nekoliko ključnih utjecaja:

- **Temperatura:** Više temperature povećavaju stopu transpiracije zbog povećane evaporacije vode iz listova. Visoke temperature također mogu dovesti do većeg stresa zbog nedostatka vode.

- **Insolacija:** Intenzivno sunčevo zračenje povećava fotosintezu, ali također povećava transpiraciju. Vinova loza koja je izložena izravnom sunčevom zračenju može imati veće stope transpiracije u usporedbi s lozom u sjeni.

- **Vlažnost zraka:** Niža vlažnost zraka povećava gradijent tlaka vodene pare između listova i zraka, što rezultira većom transpiracijom. Kada je zrak suh, veća je razlika u koncentraciji vode između unutrašnjosti biljke i vanjskog okruženja, što vodi bržem gubitku vode. Ovo može biti posebno izazovno u sušnim i aridnim područjima.

- **Vjetar:** Vjetar povećava transpiraciju uklanjanjem sloja vlage oko listova i povećava evaporaciju.

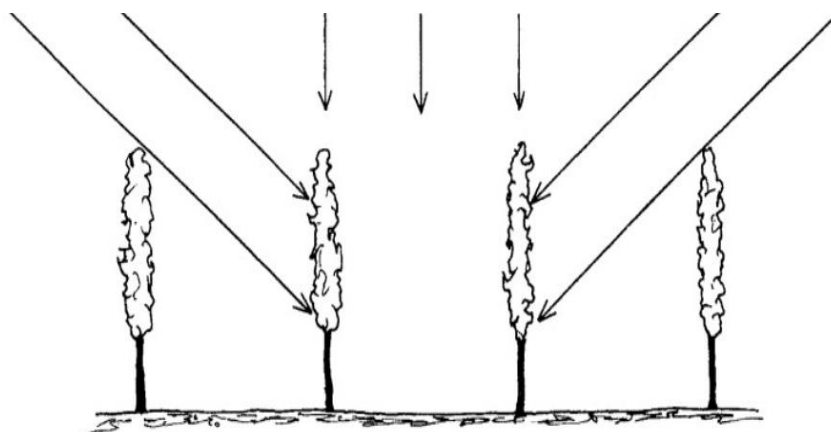
- **Tlo i vodni kapacitet:** svojstva tla, poput vodnog kapaciteta i sposobnosti zadržavanja vode, ključni su za dostupnost vode vinovoj lozi. Pjeskovita tla, koja imaju manju sposobnost zadržavanja vode, mogu brže uzrokovati deficit vode u biljci, dok glinena tla, koja zadržavaju više vode, mogu pružiti stabilniji izvor vode tijekom sušnih perioda.

### 2.4.2. Dizajn vinograda

Dizajn vinograda odnosi se na način na koji su trsovi vinove loze raspoređeni i oblikovani unutar vinograda, što može značajno utjecati na mikroklimatske uvjete i upravljanje vodom. Ključni aspekti uključuju:

- **Orijentacija redova:** Orijentacija redova vinove loze može utjecati na izloženost suncu i vjetru, te time na transpiraciju i stanje vode.

Redovi postavljeni u smjeru sjever-jug često imaju ravnomjerniju raspodjelu svjetlosti tijekom dana u usporedbi s redovima postavljenim istok-zapad. Orijentacija redova vinove loze u vinogradu ključan je čimbenik koji utječe na mikroklimatske uvjete, fotosintetsku aktivnost, vodni režim i ukupnu produktivnost vinograda. Ispravno odabrana orijentacija redova može optimizirati izloženost sunčevoj svjetlosti, smanjiti rizik od bolesti, i poboljšati kvalitetu grožđa. U ovom radu istražiti ćemo kako različite orijentacije redova vinove loze utječu na njezin rast i razvoj, posebno u kontekstu nedostatka vode i transpiracije.



Slika 8. Geometrija vinograda

( <https://bnrc.springeropen.com/articles/10186/s42269-020-00413-w> )

Orijentacija redova sjever-jug smatra se optimalnom u mnogim vinogradarskim regijama jer omogućuje ravnomjernu raspodjelu sunčeve svjetlosti tijekom dana. Ujutro, istočna strana redova dobiva svjetlost, dok u popodnevni satima zapadna strana redova prima sunčevu energiju. Ova ravnomjerna raspodjela može smanjiti stres od pregrijavanja i prekomjerne transpiracije.

Orijentacija redova istok-zapad omogućuje da jedna strana redova primi izravnu sunčevu svjetlost tijekom jutra, dok druga strana dobiva svjetlost u poslijepodnevni

satima. Ova orijentacija može biti korisna u regijama s nižim temperaturama ili manjom količinom sunčeve svjetlosti.

- **Visina i širina nadzemnog dijela trsa:** Visina i širina nadzemnog dijela trsa utječu na količinu svjetlosti koja dopire do listova i plodova. Bujni trsovi imaju manju transpiraciju smanjujući izloženost unutarnjih listova izravnom suncu, ali može također povećati vlažnost zraka unutar krošnje. Održavanje krošnje, uključujući rezidbu i oblikovanje, može optimizirati balans između izloženosti svjetlu i zaštite od pretjeranog isparavanja vode.

- **Prozračnost:** Prozračnost nadzemnog dijela trsa utječe na protok zraka i vlažnost unutar vinove loze. Bolja prozračnost može smanjiti bolesti povezane s vlagom, ali također može povećati transpiraciju. Prozračnost vinove loze odnosi se na protok zraka kroz nadzemni dio trsa i između redova vinograda. Dobra prozračnost je ključna za zdravstveno stanje vinove loze jer smanjuje rizik od bolesti, poboljšava mikroklimatske uvjete i može pomoći u upravljanju transpiracijom. Dobra prozračnost pomaže u smanjenju vlažnosti unutar trsa, čime se smanjuje rizik od gljivičnih bolesti kao što su pepelnica (oidium) i plamenjača (peronospora). Gljivične bolesti često nastaju u uvjetima visoke vlažnosti i slabe cirkulacije zraka, pa prozračnost može značajno smanjiti njihovu pojavnost.

Integracija okolišnih čimbenika i dizajna vinograda zahtijeva holistički pristup koji uzima u obzir specifične uvjete svake lokacije. Strategije kao što su primjena navodnjavanja koje odgovara stvarnim potrebama biljke, upotreba malča za smanjenje isparavanja vode iz tla, te izbor odgovarajućih sorti i podloga koje su otpornije na sušu, mogu pomoći u smanjenju utjecaja suše.

Primjerice, u sušnim područjima, vinogradari mogu koristiti tehnologije preciznog navodnjavanja tehnologije kao što su kap po kap sustavi, koji dostavljaju vodu direktno korijenovom sustavu biljke, minimizirajući gubitke vode. Korištenje sustava uzgoja koji optimiziraju sjenu i smanjuju direktno izlaganje plodova suncu može pomoći u smanjenju stresa od topline i isparavanja.

### 2.4.3. Utjecaj na nadzemni dio trsa i zonu grožđa

Jedna od prvih reakcija vinove loze na sušu je zatvaranje puči na listovima kako bi se smanjila transpiracija i gubitak vode. Iako ova adaptacija pomaže u očuvanju vode, istovremeno smanjuje unos CO<sub>2</sub>, što negativno utječe na fotosintezu i rast biljke.

Vinova loza može smanjiti svoju lisnu površinu kao odgovor na sušu. Ovo se postiže kroz proces opadanja listova ili zaustavljanja rasta novih listova. Manja lisna površina smanjuje ukupnu transpiraciju, ali također smanjuje fotosintetsku površinu, što može utjecati na proizvodnju i sazrijevanje grožđa. Lisna masa vinove loze može pokazivati fizičke promjene u strukturi tkiva tijekom suše. Lišće može postati deblje zbog povećanja debljine voštanog sloja, što pomaže u smanjenju gubitka vode. Međutim, prekomjerno zadebljanje može smanjiti efikasnost fotosinteze.

Nedostatak vode i transpiracija utječu na različite dijelove vinove loze na različite načine:

- **Lisna masa:** Gornji dijelovi trsa obično su izloženi suncu i vjetru, što rezultira višom stopom transpiracije. Upravljanje nadzemnim dijelom trsa, uključujući orezivanje i oblikovanje, može pomoći u regulaciji transpiracije i poboljšanju učinkovitosti korištenja vode.
- **Zona grožđa:** Zona grožđa također je pod utjecajem mikroklimatskih uvjeta. Regulacija transpiracije u zoni plodova može pomoći u održavanju kvalitete grožđa, uključujući razinu šećera, kiselina i aromatičnih spojeva.

### **3. MOGUĆE STRATEGIJE ZA POBOLJŠANJE GOSPODARENJA VODOM, KVALITETE I PRINOSA**

#### **3.1. Nedostatno navodnjavanje / deficit irrigation (DI) i djelomično isušivanje u zoni korijena / partial rootzone drying (PRD)**

Učinkovitost upotrebe vode (water use efficiency (WUE)) može se definirati na nekoliko razina. Na razini lista WUE se definira kao omjer ugljika dobivenog fotosintezom i vodljivosti vode kroz puči (intrinzična efikasnost upotrebe vode) ili kao omjer između dobivenog ugljika i transpirirane vode (vode isparene preko lista). Na razini biljke učinkovitost upotrebe vode ili produktivnost može se izračunati uzimajući u obzir ukupnu proizvedenu biomasu ili prinos u odnosu na vodu izgubljenu transpiracijom (Medrano, 2015.).

Među sortama vinove loze izgleda da postoji određena genetska varijabilnost s obzirom na učinkovitost korištenja vode. Međutim, što se tiče izo/anizohondrije izgleda da na to utječe širok opseg uvjeta u okolišu kao i vrsta uzgojne podloge. Dakle, na učinkovitost korištenja vode se može utjecati određenim agronomskim mjerama i praksama uzgoja kao što su zasjenjivanje trsova, gustoća sadnje, agrotehničke mjere za održavanje i njegu vinograda te navodnjavanje.

Općenito, povećanjem deficita vode povećava se i efikasnost upotrebe vode što podrazumijeva poboljšanje kvalitete bobica, ali ima negativan utjecaj na urod kao funkcija jačine suše. Dakle, postoji kompromis između gubitka prinosa i dobitka na kvaliteti koje treba optimizirati s obzirom na komercijalne strategije proizvođača (Chai, 2015.)



### **3.1.1. Fiziološka pozadina iza poboljšane efikasnosti korištenja vode izazvane deficitom vode**

Mehanizmi kojima biljka odgovara na stres oko nedostatka vode uključuje morfološke osobine, kao npr. povećanje opsega korijena da bi poboljšala unos nutrijenata i oporavak; fiziološke osobine, kao npr. zatvaranje puči, smanjenje respiracije preko lista i fotosinteze te biokemijske osobine, npr. povećano signaliziranje među molekulama i unaprijeđena antioksidativna enzimatska aktivnost (Costa, 2016.).

Različite strategije oko deficita navodnjavanja mogu se podijeliti na:

- 1) u startu reguliran rast u zoni deficita navodnjavanja (DI)
- 2) djelomično navodnjavanje u zoni korijena ili suša (PRD)
- 3) podpovršinsko navodnjavanje kapanjem.

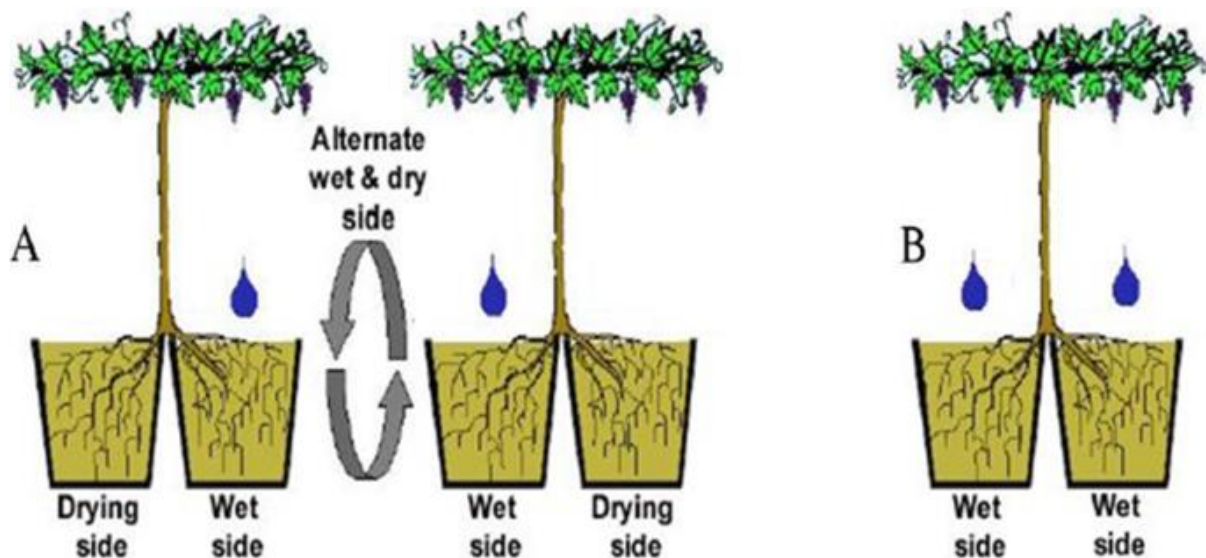
Ovo posljednje se u prošlosti uglavnom koristilo u plastenicima.

Opći koncept deficitarnog navodnjavanja jest da se koristi manje vode nego što se gubi evapotranspiracijom. Glavne razlike između navedenih strategija su u primjeni deficita vode tijekom vremena i u prostoru. Deficitarno navodnjavanje se temelji na principu da osjetljivost biljke na stres od nedostatka vode nije konstantna tijekom svih fenoloških faza. Nedostatak vode u ranoj fazi više utječe na redukciju veličine bobice dok nedostatak vode u kasnijoj fazi promiče sekundarni metabolizam i u manjoj mjeri utječe na volumen bobice (Chai i sur., 2015.).

Deficitarno navodnjavanje traži način da održava razinu vode u tlu i biljci u uskom rasponu da bi se izbjegla ili pretjerana redukcija upotrebe vode koja može rezultirati teškim gubicima prinosa i kvalitete i/ili pretjerano navodnjavanje koje bi potisnulo prednosti primjene iste strategije.

Parcijalno isušivanje korijena (PDR) se sastoji u vlaženju i sušenju otprilike polovice sustava korijenja u ciklusima od 8–14 dana, ovisno o tipovima tla i zahtjeva dvostruku liniju navodnjavanja koju kontroliraju dva ventila koji dozvoljavaju navodnjavanje jednog dijela sustava korijena, ostavljajući drugu polovicu suhom. Vlažna strana dostavlja dovoljno vode biljci izbjegavajući na taj način stres od vode, dok se u suhoj polovici korijenja proizvode hormonski i hidraulični signali koji smanjuju i na taj način poboljšavaju efikasnost korištenja vode (Costa, 2016.).

Mnoge studije uspoređuju fiziološke efekte parcijalnog isušivanja korijena i smanjenog deficita navodnjavanja i nekoliko odličnih osvrta navode najvažnije rezultate i zaključuju da su efekti među strategijama jako slični. Najnovija studija o deficitu navodnjavanja sorte Mourvedre (Mataro), mediteranske vinske sorte crnog grožđa, cijepljenog na pet različitih podloga u polusušnim vinogradarskim regijama jugoistočne Španjolske dala je različite odgovore i naglasila važnost vrste podloge u praksi navodnjavanja. U nedavnoj studiji parcijalno navodnjavanje korijena povećalo je prinose i /ili kvalitetu bobice na podloge niske i visoke bujnosti, ali ne i na podlogama srednje bujnosti. Nadalje, djelomično navodnjavanje korijena daje korisno povećanje nutritivnog potencijala za gotovo sve podloge (Romero i sur., 2018)



Slika 9. Parcijalno isušivanje korijena (PDR)

(<https://bnrc.springeropen.com/articles/10.1186/s42269-020-00413-w>)

### 3.2. Strategije navodnjavanja za specifične mikrolokacije

Prije uvođenja navodnjavanje specifičnih lokacija treba uzeti u obzir sve biotske i abiotske faktore koji bi mogli utjecati na promjene statusa vode u vinovoj lozi kao što su kombinacija podloge i plemke, tekstura tla, klimatske specifičnosti i fenološke faze vinove loze, kvalitetu lokalne vode i sustav armature. Zbog izvedbenih ograničenja, raspored navodnjavanja je uglavnom tjedna aktivnost za vinogradare u manje sušnim uzgojnim regijama. Prema tome, termin navodnjavanja ne odgovara nužno vremenskim zahtjevima u vinogradu za odgovarajuće

situacije. Popratne utjecaje okolišnih parametara, dizajna vinograda, sadnog materijala, tla i zahtjeva za vodom te tolerancija na sušu je teško predvidjeti što otežava stvaranje rasporeda za optimalno navodnjavanje. Dostupnost vode prikladne za navodnjavanje predstavlja primarnu izvedbenu zapreku u mnogim sušnim regijama. U polu sušnim regijama izloženim oskudicama vode, atraktivna praksa je recikliranje otpadnih voda u svrhu uštede vode i troškova. Međutim, kvaliteta vode, uglavnom s obzirom na visoku koncentraciju soli koja izaziva visoki stres na sol, može imati štetan utjecaj na transpiraciju vinove loze i na taj način negativno utjecati na prinos i sastav bobice te posljedično na kvalitetu vina. Korištenje umjereno slane vode u deficitarnom navodnjavanju utječe na razdvajanje iona u bobicama grožđa ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) ( Miras-Avalos, 2017.)

Ti primjeri ilustriraju potrebu za integracijom mnogih specifičnosti vezanih za vinogradarsko područje (npr. tekstura tla, sadni materijal) kao i upravljanje ograničenjima (salinitet vode, arhitektura armature, ljetna rezidba). Za evaluaciju strategije navodnjavanja efekti moraju biti procjenjivani redovito uzimajući u obzir kompromis između redukcije prinosa i dobitka na kvaliteti, a ne samo kao odgovor na sezonski stres oko nedostatka vode u vinogradu. Stupanj nametnutog deficita vode u vinogradu variranjem učestalosti promjene navodnjavanja, tipično kroz tri razdoblja ovise o fenološkom stadiju. U izvještajima iz brojnih probnih navodnjavanja u pravilu se razlikuje prvo razdoblje u kojem pup prelazi u cvijet ili plod, drugo razdoblje do zatvaranja grozda, šare i treće razdoblje do berbe.

Modulacija deficita vode u vinogradu kroz različita razdoblja može pokazati kontrastne rezultate zbog interakcije specifičnosti područja u kombinaciji sa strategijom navodnjavanjem. Npr. u četverogodišnjem pokusu na sorti 'Merlot', smanjivanje zaliha vode da bi se izazvao stres zbog deficita u kasnom stadiju razvoja bobice nije imalo negativan utjecaj ni na prinos ni na kvalitetu bobice ( Munitz, 2017.).

Izvučen je zaključak da obilnije navodnjavanje u periodu između cvatnje i zatvaranja grozda, a oskudnije navodnjavanje u periodu između zatvaranja grozda i berbe potencijalno daje najbolji balans između vegetativnog rasta i razvoja, prinosa i kvalitete vina. Smanjenje ili izostanak navodnjavanja tijekom drugog i trećeg razdoblja dali su za rezultat značajan efekt na prinose zbog redukcije volumena bobice.

Vrijeme i prag željenog deficita vode u vinogradu prije pokretanja navodnjavanja variraju u skladu s proizvodnim ciljevima uzgajivača. Međutim, uvijek postoji kompromis između

količine i kvalitete. Uzgajivači kojima je bitnija kvaliteta tolerirati će veći nivo stresa i manje prinose nego oni kojima su bitni kvantitativni parametri za ekonomski uspjeh. U slijedećem poglavlju su prijedlozi koji mogu pomoći definirati kritične točke uzimajući u obzir efekte na proizvodnju voća i specifičnosti vezane za proizvodna područja ( Zúñiga, 2018.)

### **3.3. Znanstveni napredak na području intervala navodnjavanja**

Učestalo navodnjavanje implicira primjenu malih količina vode što rezultira površinskim kapljicama vode. Kod teškog glinastog tla učestalo navodnjavanje (svaki drugi dan) dovodi do smanjenja efikasnosti u odnosu na uvjete niske dostupnosti vode. Razlike u učestalosti navodnjavanja vinograda mogu utjecati na učinak da bi se postigao praktični kompromis između ciljeva i troškova proizvodnje Sebastian i sur., 2015).

Manja učestalost navodnjavanja glinasto ilovastog tla dovodi do povećanja uroda i otežane rezidbe te dovodi do bolje distribucije vode kroz tlo i uglavnom do razvoja većeg sustava korijenja.

Četverogodišnja studija proučavanja učinka jednodnevnog i trodnevnog intervala navodnjavanja u ilovasto pjeskovitom tlu na sortama 'Cabernet Sauvignon', 'Merlot' i 'Syrah' pokazala je da nema efekta na težinu rezidbe, ali je isto tako pokazala poboljšanje uroda održavanjem kvalitete manje učestalim navodnjavanjem. Neke obećavajuće strategije navodnjavanja da bi se povećala efikasnost korištenja vode u vinogradima sastoji se u primjeni velike količine navodnjavanja nakon perioda umjerene suše (Selles i sur., 2004).

Cilj primjene najveće moguće količine vode koju sustav korijenja može primiti jest da se dosegne maksimalni potencijal transpiracijske razine vinove loze i da se slijedeće navodnjavanje odgodi što je više moguće. U razdoblju između dva navodnjavanja nameću se periodi suša različitih intenziteta, ovisno o ciljevima proizvodnje. Razlike između deficita vode između dva obilna navodnjavanja postupno se uspoređuju s onim što se promatra između navodnjavanja manjim volumenom vode. Ta strategija nastoji promovirati uštede vode i energije i trenutno se evaluira od strane Agencija za vodu i Agencije za očuvanje energije (projekt MWDICP program, projekt EPICCEC)( Scholasch, 2015).

Teško je predvidjeti interakciju između vinogradarskih praksi i dozrijevanja grožđa s obzirom na specifičnosti okoliša. Postoji kompleksna veza između strategije navodnjavanja i drugih vinogradarskih praksi kao što su prorjeđivanje grozdova, manipulacije prinosem, primjene dušika i drugih abiotičkih faktora. Prema tome, da bismo fino podesili strategiju navodnjavanja potrebno je izravno mjeriti određene parametre vinove loze. U tom kontekstu, mjerenje promjena volumena bobice i akumulacije šećera pružiti će kritične informacije kako bolje procijeniti odgovor vinograda na deficit vode u kombinaciji s drugim faktorima. Promjene u sekundarnom metabolizmu biljke na stres od nedostatka vode su različite za različite kultivare pa prag i učestalost navodnjavanja trebaju biti definirane u skladu sa jedinstvenim zahtjevima svake sorte (Guilpart i sur., 2014).



*Slika 10. Navodnjavanje vinograda kap na kap sustavom*

[\(https://mazers.com/wine-growing-in-a-changing-climate-irrigation-must-change-too/\)](https://mazers.com/wine-growing-in-a-changing-climate-irrigation-must-change-too/)

## 4. ZAKLJUČAK

Utjecaj suše na vinovu lozu predstavlja jedan od najvažnijih izazova s kojima se suočavaju vinogradari diljem svijeta. Suša ima dalekosežne posljedice na fiziološke procese unutar biljke, kvalitetu ploda, a time i na konačni proizvod - vino. Analiza utjecaja suše na vinovu lozu ključna je za razumijevanje i razvoj učinkovitih strategija za ublažavanje negativnih posljedica ovog prirodnog fenomena.

Umjereni stres zbog nedostatka vode može pozitivno utjecati na koncentraciju šećera poput antocijana i tanina, koji su ključni za boju, okus i strukturu vina. Takvi uvjeti često rezultiraju visokokvalitetnim vinima s bogatim aromatskim profilima i dobrim potencijalom za odležavanje. Međutim, ekstremne suše dovode do prekomjernog smanjenja prinosa, dehidracije grožđa i gubitka aromatičnih komponenti, što rezultira vinima lošije kvalitete.

Upravljanje vinogradima u uvjetima suše zahtijeva pažljivo planiranje i primjenu specifičnih agrotehničkih mjera. Pravilno upravljanje vodenim resursima, poput implementacije navodnjavanja kap na kap, može osigurati optimalnu opskrbu vodom i smanjiti stres biljaka. Ipak, selekcija sorti vinove loze otpornijih na sušu predstavlja dugoročno održivo rješenje. Ove mjere mogu značajno poboljšati otpornost vinograda na sušne uvjete i osigurati stabilnost proizvodnje.

Klimatske promjene dodatno kompliciraju problem suše u vinogradarstvu. Predviđa se povećanje učestalosti i intenziteta suša, što predstavlja dugoročni izazov za održivost vinogradarske proizvodnje. Adaptacija postojećih praksi, istraživanje novih tehnologija i razvoj inovativnih metoda upravljanja postaju imperativ. Edukacija vinogradara o važnosti prilagodbe i primjeni znanstveno utemeljenih metoda ključno je za uspješnu borbu protiv negativnih učinaka suše.

Zaključno, suša ima kompleksan i višestruk utjecaj na vinovu lozu. Iako umjereni stres zbog nedostatka vode može poboljšati kvalitetu grožđa i vina, ekstremni uvjeti suše značajno ugrožavaju prinos i kvalitetu.

Primjenom znanstveno utemeljenih metoda i tehnologija moguće je učinkovito upravljati vinogradima i ublažiti negativne posljedice suše. Daljnja istraživanja i inovacije u vinogradarskoj praksi bit će ključni za osiguranje održivosti i kvalitete vinogradarstva u uvjetima promjenjivih klimatskih uvjeta.

## 5. POPIS LITERTURE

1. Deluc L., Quilici D., Decendit A., Grimplet J., Wheatley M., Schlauch K., Merillon J., Cushman J. and Cramer G., 2009. Water deficit alters differentially metabolic pathways affecting important flavor and quality traits in grape berries of Cabernet Sauvignon and Chardonnay.
2. Guilpart N., Metay A. and Gray C., 2014. Grapevine bud fertility and number of berries per bunch are determined by water and nitrogen stress around flowering in the previous year.
3. Keller M., 2010. *The Science of Grapevines; Anatomy and Physiology*
4. Knipfer T., Cuneo I.F., Brodersen C.R. and McElrone A.J., 2016. In Situ Visualization of the Dynamics in Xylem Embolism Formation and Removal in the Absence of Root Pressure: A Study on Excised Grapevine Stems.
5. Nicolas Guilpart, Aurélie Metay (2014) - Grapevine bud fertility and number of berries per bunch are determined by water and nitrogen stress around flowering in the previous year
6. McAdam S.A., Manzi., Ross J.J., Brodribb T.J. and Gomez-Cadenas A., 2016. Uprooting an abscisic acid paradigm: Shoots are the primary source.
7. Ojeda H., Andary C., Kraeva E., Carbonneau A. and Deloire A., 2002. Influence of Pre- and Postveraison Water Deficit on Synthesis and Concentration of Skin Phenolic Compounds during Berry Growth of *Vitis vinifera*
8. Romero M., Luo Y., Su B. and Fuentes S., 2018. Vineyard water status estimation using multispectral imagery from an UAV platform and machine learning algorithms for irrigation scheduling management
9. Selles V.S., Ferreyra E.R., Contreras W.G., Ahumada B.R., Valenzuela J. and Bravo G., 2004. Effect of three irrigation frequencies applied by drip irrigation over table grapes

10. Simonneau T., Barrieu P. and Tardieu F., 1998. Accumulation rate of ABA in detached maize roots correlates with root water potential regardless of age and branching order
11. Tombesi S., Frioni T., Poni S. and Palliotti A., 2018. Effect of water stress “memory” on plant behavior during subsequent drought stress
12. Zhang Y. and Keller M., 2017. Discharge of surplus phloem water may be required for normal grape ripening.