

# Utjecaj navodnjavanja na rast i razvoj madagaskarskog zimzelena (Catharanthus roseus (L.) G.Don)

---

Erceg, Lucija

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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:204:802164>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-13**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
AGRONOMSKI FAKULTET

**UTJECAJ NAVODNJAVANJA NA RAST I RAZVOJ  
MADAGASKARSKOG ZIMZELENA (*CATHARANTHUS  
ROSEUS* (L.) G.DON)**

DIPLOMSKI RAD

Lucija Erceg

Zagreb, rujan, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
AGRONOMSKI FAKULTET

Diplomski studij:

Hortikultura - Ukrasno bilje

**UTJECAJ NAVODNJAVANJA NA RAST I RAZVOJ  
MADAGASKARSKOG ZIMZELENA (*CATHARANTHUS  
ROSEUS* (L.) G.DON)**

DIPLOMSKI RAD

Lucija Erceg

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Tatjana Prebeg

Zagreb, rujan, 2022.

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

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

Ja, **Lucija Erceg**, JMBAG 0178113164, rođena 17.05.1998. u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradila diplomski rad pod naslovom:

**UTJECAJ NAVODNJAVANJA NA RAST I RAZVOJ MADAGASKARSKOG ZIMZELENA (CATHARANTHUS ROSEUS (L.) G.DON)**

Svojim potpisom jamčim:

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

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

\_\_\_\_\_  
*Potpis studenta / studentice*

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
AGRONOMSKI FAKULTET

IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studentice **Lucije Erceg**, JMBAG 0178113164, naslova

**UTJECAJ NAVODNJAVANJA NA RAST I RAZVOJ MADAGASKARSKOG ZIMZELENA  
(*CATHARANTHUS ROSEUS* (L.) G.DON)**

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

Povjerenstvo:

potpisi:

1. Izv. prof. dr. sc. Tatjana Prebeg mentor

\_\_\_\_\_

2. Izv. prof. dr. sc. Monika Zovko član

\_\_\_\_\_

3. Izv. prof. dr. sc. Vesna Židovec član

\_\_\_\_\_



## Sadržaj

1.	UVOD .....	1
2.	PREGLED LITERATURE .....	3
2.1.	Utjecaj manjka vode na biljke.....	3
2.1.1.	Podjela biljaka s obzirom na dostupnost vode u okolišu.....	3
2.1.2.	Otpornost biljaka na sušu .....	3
2.1.3.	Stres izazvan sušom .....	4
2.2.	Smanjeno navodnjavanje u proizvodnji ukrasnih biljnih vrsta .....	6
2.3.	Madagaskarski zimzelen ( <i>Catharanthus roseus</i> (L.) G.Don).....	8
3.	MATERIJALI I METODE .....	10
3.1.	Biljni materijal.....	10
3.2.	Postavljanje pokusa .....	12
3.3.	Metode .....	13
3.3.1.	Mjerenja morfoloških parametara biljaka .....	13
3.3.2.	Svjetlosno-mikroskopske analize.....	13
3.3.3.	Određivanje relativnog sadržaja klorofila u listovima .....	14
3.3.4.	Analiza spektralnog otiska listova.....	14
3.3.5.	Statistička analiza podataka .....	14
4.	REZULTATI.....	15
4.1.	Morfološke karakteristike biljaka .....	15
4.2.	Anatomske karakteristike listova .....	17
4.3.	Relativni sadržaj klorofila u listovima.....	21
4.4.	Vrijeme cvatnje.....	22
4.5.	Spektralni otisak listova.....	23
5.	RASPRAVA.....	25
6.	ZAKLJUČAK.....	29
7.	LITERATURA .....	30

## Sažetak

Diplomskog rada studentice **Lucije Erceg**, naslova

### **UTJECAJ NAVODNJAVANJA NA RAST I RAZVOJ MADAGASKARSKOG ZIMZELENA (*CATHARANTHUS ROSEUS* (L.) G.DON)**

U radu su analizirani morfološki i fiziološki odgovori presadnica madagaskarskog zimzelena (*Catharanthus roseus* (L.) G. Don 'SunStorm Red') na tri različite varijante (obroka) navodnjavanja: 100%, 80% i 60% PVK (poljski vodni kapacitet). Smanjeno navodnjavanje dovelo je smanjenja duljine i promjera stabljike, širine biljaka, broja bočnih grana s vidljivim cvjetnim pupovima i veličine listova, no nije značajno utjecalo na broj nodija do prvog cvijeta i debljinu listova. Indeks sadržaja klorofila (CCI) je kod obje varijante smanjenog navodnjavanja bio povećan. Veličina puči je u biljaka slabije opskrbljenih vodom na obje strane lista bila smanjena, a broj puči po mm<sup>2</sup> se na abaksijalnoj strani lista povećao. Slabija opskrba vodom nije u većoj mjeri utjecala na vrijeme početka cvatnje, no smanjila je promjer cvijeta, a kod 60% PVK varijante navodnjavanja, i broj cvjetnih pupova. Provedena istraživanja pokazala su da istraživani kultivar madagaskarskog zimzelena dobro tolerira primijenjene razine smanjenog navodnjavanja. Iako je smanjena opskrba vodom utjecala na morfološke parametre biljaka, ove promjene kod 80% PVK varijante navodnjavanja nisu znatnije narušile vizualne karakteristike presadnica.

**Ključne riječi:** *Catharanthus roseus*, madagaskarski zimzelen, puči, morfološke karakteristike, smanjeno navodnjavanje



## Summary

Of the master's thesis – student **Lucija Erceg**, entitled

### **THE INFLUENCE OF IRRIGATION ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF MADAGASCAR PERIWINKLE (*CATHARANTHUS ROSEUS* (L.) G.DON)**

In this work, morphological and physiological responses of transplants of Madagascar periwinkle (*Catharanthus roseus* (L.) G. Don 'SunStorm Red') to three different irrigation levels (variants), 100%, 80% and 60% FWC (field water capacity), were analyzed. Deficit irrigation led to a decrease in stem length and diameter, plant width, number of lateral branches with visible flower buds and the size of the leaf blade, but did not affect the number of nodes formed before flowering and leaf thickness. Chlorophyll content index (CCI) was increased in both variants of reduced irrigation. In plants under deficit irrigation, the size of the stomata on both sides of the leaves decreased, while stomatal density on the abaxial side of the leaves increased. Deficit irrigation did not affect the start of flowering, but it reduced flower diameter and, in the 60% FWC variant of irrigation, the number of flower buds. The study showed that the investigated cultivar of Madagascar periwinkle tolerates the applied levels of deficit irrigation well. Although deficit irrigation affected the morphological parameters of the plants, these changes in the 80% PVK irrigation variant did not significantly impair visual quality of the transplants.

**Keywords:** *Catharanthus roseus*, deficit irrigation, Madagascar periwinkle, morphological characteristics, stomata

# 1. UVOD

Od 510 milijuna km<sup>2</sup> Zemljine površine, voda prekriva 361,1 milijun km<sup>2</sup> ili 70,8% (Hrvatska enciklopedija, 2022.), od čega slatka voda čini tek 2,5% (Gleick i Palaniappan, 2010.). Mnogim dijelovima svijeta prijete nestašica vode, što uz rastuću industrijalizaciju, brzi rast stanovništva i klimatske promjene rezultira znatnim problemima u pogledu upravljanja vodnim resursima, ponajviše u urbanim sredinama (Lea-Cox i Ross, 2001.; Nazemi Rafi i sur., 2019.). Gotovo 800 milijuna ljudi nema omogućen pristup zdravstveno ispravnoj pitkoj vodi (Schiermeier, 2014.), a ako se uzmu u obzir predviđanja da će se do 2050. godine svjetska populacija povećati za 30%, situacija bi se u nadolazećim desetljećima mogla još više pogoršati (Godfray i sur., 2010.).

Najviše pitke vode, čak dvije trećine ukupne potrošnje, koristi se u poljoprivrednoj proizvodnji (Gan i sur., 2013.). S druge strane, znatan dio vodnih resursa u urbanim područjima (gotovo 25%) troši se na navodnjavanje vrtova i površina zelenila (Zollinger i sur., 2006.; Welsh i sur., 2007.; Sun i sur., 2012.). Zbog toga se stvara sve veći pritisak da se voda u poljoprivrednoj proizvodnji racionalnije koristi, a količina vode za navodnjavanje urbanih površina zelenila smanji (Cirillo i sur., 2013.; Fulcher i sur., 2016.; Caser i sur., 2017.). Kako bi se ovi problemi ublažili, nastoje se pronaći učinkovite dugoročne i kratkoročne strategije smanjenja potrošnje vode, kao što su primjena preciznog navodnjavanja (Kjelgren i sur., 2000.), korištenje obnovljene vode<sup>1</sup> (Hilaire i sur., 2008.; Gómez-Bellot i sur., 2013.), primjena autohtonih biljnih vrsta i vrsta otpornih na sušu (Lockett i sur., 2002.) ili smanjeno (deficitarno) navodnjavanje (Sanchez- Blanco i sur., 2019.).

Smanjeno ili deficitarno navodnjavanje je pojam koji označava navodnjavanje kod kojega je primijenjena količina vode manja od one koja je biljkama potrebna (stopa evapotranspiracije), što ovisi o biljnoj vrsti, stupnju razvoja biljke, klimatskim uvjetima i tipu tla ili supstrata. Cilj ove metode je smanjiti količinu vode koja se troši za navodnjavanje, a da se pri tome ne naruši estetska kvaliteta biljaka (kod ukrasnih vrsta) ili prinos i kvaliteta proizvoda (u proizvodnji hrane) (Sanchez- Blanco i sur., 2019.).

Interes za primjenom smanjenog navodnjavanja u posljednja je dva desetljeća bio usmjeren uglavnom na voćarske kulture kod kojih se uspješno i koristi (Ruiz-Sánchez i sur. 2000.; Goldhamer i Beede 2004.). Međutim, primjena ove strategije u proizvodnji i primjeni ukrasnih biljnih vrsta relativno je slabo istražena (Cameron i sur. 2006.; Álvarez i sur. 2009.), iako ukrasno bilje čini velik dio hortikulture proizvodnje, a za navodnjavanje urbanih površina zelenila se troši znatan dio vodnih resursa (Henson i sur., 2006.; Cirillo i sur., 2013.).

---

<sup>1</sup> voda iz koje su tehnološkim postupcima uklonjene ili smanjene štetne tvari koje je čine neuporabljivom za planirane namjene (Simović, 2002.)

Kako bi strategiju smanjenog navodnjavanja bilo moguće uspješno primijeniti u ukrasnoj hortikulturi, važno je poznavati morfološke i fiziološke odgovore biljaka na manjak vode te toleranciju pojedinih vrsta na vodni stres. Cilj ovog istraživanja bio je analizirati morfološke i fiziološke odgovore presadnica madagaskarskog zimzelena na različite razine navodnjavanja te utvrditi mogućnost proizvodnje kvalitetnih presadnica uz smanjeno navodnjavanje.

## 2. PREGLED LITERATURE

### 2.1. Utjecaj manjka vode na biljke

#### 2.1.1. Podjela biljaka s obzirom na dostupnost vode u okolišu

Količina vode i vlage u prirodnom okolišu biljke može se jako razlikovati. S obzirom na prilagodbe na dostupnost vode biljke se ugrubo mogu svrstati u četiri skupine: hidrofite (vodene biljke), higrofite (biljke izrazito vlažnih staništa), mezofite (biljke prilagođene staništima koja nisu ni previše suha niti previše vlažna) i kserofite (biljke više ili manje suhih staništa) (Fang i Xiong, 2015.; Nikolić, 2017.). Mezofitima pripada većina kultiviranih vrsta, uključujući mnoge ukrasne biljne vrste, šumsko drveće, uobičajene livadne i šumske zeljaste vrste i sl. Ove biljke rastu u umjereno vlažnom tlu i obično su izložene samo povremenom i blagom deficitu vode. Za razliku od kserofita, koji su svoje organe i čitav svoj habitus prilagodili povremenom ili stalnom nedostatku vode, mezofiti nemaju posebne prilagodbe na smanjenu količinu vode (Gurevich i sur., 2002.; Nikolić, 2017.). Kada se tlo previše isuši, mezofitne biljke zatvaraju puči i drže ih zatvorenima dok uvjeti ne postanu povoljniji. Na tipičnom staništu u umjerenim područjima to može potrajati nekoliko sati ili dana. Ako suša potraje, mnogi mezofiti neće preživjeti. Većina ovih vrsta uvjete suše moći će tolerirati tek nekoliko tjedana (Gurevitch i sur., 2002.).

#### 2.1.2. Otpornost biljaka na sušu

U okolišima u kojima postoji stalan ili povremen manjak vode, opstanak biljaka omogućuju različiti mehanizmi otpornosti na sušu: izbjegavanje suše, odgađanje isušivanja i tolerancija isušivanja (Pevalek-Kozlina, 2003.; Salehi-Lisar i Bakhshayeshan-Agdam, 2016.).

Biljke koje izbjegavaju sušu čitav svoj životni ciklus završavaju tijekom vlažne sezone, prije nego što nastupi sušno razdoblje (Bray, 2001.; Farooq i sur., 2009.; Akhtar i Nazir, 2013.). Ove vrste nemaju posebne prilagodbe za zaštitu od manjka vode, pa razdoblje suše preživljavaju u obliku dormatnih sjemenki ili podzemnih spremišnih organa koji su zaštićeni od isušivanja (Larcher, 2010.). Primjerice, mnoge jednogodišnje pustinske vrste, posebice one s kratkim životnim ciklusom, završavaju čitav svoj nadzemni život tijekom kratkog vlažnog razdoblja, kada je dostupno dovoljno vode (Gurevich i sur., 2002.). Drugi kserofiti odgađaju isušivanje različitim prilagodbama koje omogućuju održavanje visokog vodnog potencijala što je dulje moguće, unatoč suhoći tla i zraka (Larcher, 2010.; Salehi-Lisar i Bakhshayeshan-Agdam, 2016.). Glavne značajke ove strategije su smanjenje gubitka vode kontrolom transpiracije kroz puči i održavanje primanja vode iz tla pomoću dugačkog i opsežnog

korijenova sustava (Bray, 2001.; Farooq i sur., 2009.). Ove biljke mogu imati i druge karakteristike kojima se sprječava prevelik gubitak vode, kao što su veća gustoća i debljina kutikule i razvoj više ili manje gustog dlačnog pokrova na listovima (Nikolić, 2017.). Konačno, tolerancija isušivanja odnosi se na sposobnost biljaka da čak i u uvjetima snažnog vodnog stresa održe određenu razinu fiziološke aktivnosti (Fang i Xiong, 2015.).

### 2.1.3. Stres izazvan sušom

Pod sušom se obično podrazumijeva dugotrajno razdoblje bez oborina ili izražen manjak oborina. Od svih abiotičkih stresova, suša u najvećoj mjeri ograničava fiziološke procese biljaka uzrokujući velike gubitke u poljoprivrednoj proizvodnji (Toscano i sur., 2019.). S agronomске i fiziološke točke gledišta, stres izazvan sušom nastaje kada je količina biljkama raspoložive vode u tlu smanjena zbog niske vlažnosti tla (Keyvan, 2010., Dai, 2012.). S druge strane, do vodnog stresa dolazi i kada je stopa transpiracije kroz puči listova veća od brzine kojom biljka usvaja vodu putem korijena (Salehi-Lisar i sur., 2012.).

Simptomi suše variraju ovisno o biljnoj vrsti, stadiju razvoja, uvjetima rasta biljke i različitim okolišnim čimbenicima (Arbona i sur., 2013.; Bhargava i Sawant, 2013.; Nezhadahmadi i sur., 2013.), a ovisе i o intenzitetu i duljini trajanja suše, fizikalno-kemijskim svojstvima tla i vitalnosti biljaka. Općenito, simptomi suše obuhvaćaju gubitak turgora u listovima te venuće, žućenje i prerano otpadanje listova (Bernacchia i Furini, 2004.; Farooq i sur., 2009.; Jaleel i sur., 2009.; Zare i sur., 2011.; Akhtar i Nazir, 2013.; Bhargava i Sawant, 2013.; Sapeta i sur., 2013.). Osim toga, može doći i do pucanja kore na stablu, odumiranja grana te nekroze i zaostajanja u rastu. U ekstremnim uvjetima biljka na kraju ugiba (Hossain i sur., 2016.).

Najraniji učinak vodnog stresa na biljke je smanjenje hidrostatskog tlaka (turgora) pa su na pomanjkanje vode najosjetljivije aktivnosti ovisne o turgoru (Taiz i Zeiger, 2003.). Zbog smanjenja turgora, smanjuje se volumen stanica, stanični sadržaj postaje sve koncentriraniji, stanična membrana postaje deblja i manje napeta, a stanična stijenka se opušta. Kako je rast stanica pod utjecajem turgora, smanjenjem turgora dolazi i do smanjenja rasta stanica. Osim toga, smanjuje se elastičnost staničnih stijenki što također utječe na rast stanica (Lazarević i Poljak, 2019.; Taiz i Zeiger, 2003.). Usporavanje procesa rasta (osobito produžnog rasta) stoga se smatra najosjetljivijim odgovorom biljke na vodni stres (Larcher, 1995.).

Zbog inhibicije povećavanja stanica smanjuje se i lisna površina. Manji listovi transpiracijom gube manje vode pa smanjena lisna površina biljkama pomaže sačuvati vodu te dugoročno čuva ograničenu zalihu vode u tlu. U uvjetima manjka vode do smanjenja lisne površine dolazi i zbog smanjenja broja listova jer listovi brže stare i otpadaju (pojačava se sinteza etilena, što potiče absciziju listova). Kod nekih biljaka, do otpadanja listova može doći već pri blagom nedostatku vode, što učinkovito

smanjuje lisnu površinu preko koje biljka gubi vodu. Osim toga, lisna površina se u uvjetima vodnog stresa može smanjiti i zbog toga što se smanjuju broj i stopa rasta bočnih ogranaka (Lazarević i Poljak, 2019.; Taiz i Zeiger, 2003.).

Manjak vode također pojačava rast korijena. Naime, inhibicija povećavanja listova omogućava ne samo manju potrošnju vode, veći i manju potrošnju ugljika i energije. Zbog toga se više ugljikohidrata translocira u korijen i omogućuje njegov rast. Pored toga, vrškovi korijena u suhom tlu brzo gube turgor pa korijen raste u dublje, još vlažne, dijelove tla. Kako se uglavnom najprije suše gornji dijelovi tla tako korijen raste sve dublje u tlo (Taiz i Zeiger, 2003.; Lazarević i Poljak, 2019.).

Kod mnogih biljnih vrsta otpornih na sušu, kao odgovor na vodni stres dolazi do nakupljanja različitih organskih spojeva, kao što su šećeri, šećerni alkoholi, aminokiseline, alkaloidi i anorganski ioni (Fang i Xiong, 2015.). Zbog povećanja koncentracije ovih spojeva vodni potencijal postaje negativniji bez znatne promjene turgora ili volumena stanica. Na taj način ovaj proces, tzv. osmotska prilagodba, pomaže pri održavanju volumena stanice i usporava gubitak turgora u mezofilnim stanicama lista. Održavanje turgora omogućuje normalan rast stanica i veću otvorenost puči pri nižem vodnom potencijalu (Lazarević i Poljak, 2019.). Osim toga, u uvjetima snažnog vodnog stresa osmotska prilagodba održava strukturu stanice i fotosintezu, odgađa senescencija listova i poboljšava rast korijena (Turner i sur., 2001.).

Kada vodni stres nastupi brzo ili su se listovi već razvili do pune veličine, biljke gubitak vode smanjuju zatvaranjem puči. Otvaranje i zatvaranje puči regulirano je promjenom turgora unutar stanica zapornica, modificiranih stanica epiderme lista koje okružuju otvor puči i ekstremno su osjetljive na okolišne uvjete. Funkcija puči u prilagođavanju transpiracije od posebne je važnosti u uvjetima ograničene opskrbe vodom (Fang i Xiong, 2015.). Puči većinom reagiraju na vodni stres na dva načina: (1) kao direktan odgovor na vlažnost zraka kod kojega do zatvaranja puči dolazi kada stanice zapornice i susjedne epidermalne stanice gube vodu zbog direktne evaporacije (tzv. hidropasivno zatvaranje puči) i (2) kao odgovor na promjene vodnog potencijala u listovima pri čemu do zatvaranja puči dolazi kada vodni potencijal padne ispod određene razine (tzv. hidroaktivno zatvaranje puči). Hidroaktivno zatvaranje puči ovisi o metaboličkim procesima u stanicama zapornicama, a događa se zbog smanjenja koncentracije osmotski aktivnih tvari. To uzrokuje izlazak vode i pad turgora u stanicama zapornicama uslijed čega se puči zatvaraju. U ovom procesu važnu ulogu ima abscizinska kiselina (ABA) (Lazarević i Poljak, 2019.).

## 2.2. Smanjeno navodnjavanje u proizvodnji ukrasnih biljnih vrsta

Zbog ograničenih vodnih resursa, potrošnja vode postaje sve važniji čimbenik u proizvodnji bilja u zaštićenim prostorima. Stoga je u industriji ukrasnog bilja sve izraženija potreba za smanjenjem potrošnje vode i učinkovitijom proizvodnjom biljaka (Sweatt i Davies, 1984.).

Metoda navodnjavanja kod koje je količina vode za navodnjavanje ispod razine koja je potrebna za optimalan rast biljke naziva se smanjenim (deficitarnim) navodnjavanjem (Chai i sur., 2016.). Pri tome treba uzeti u obzir da se tolerancija na manjak vode kod različitih ukrasnih biljnih vrsta i kultivara uvelike razlikuje (Sánchez-Blanco i sur., 2004.). Osim toga, navodnjavanje biljaka koje rastu u posudama ili kontejnerima zahtjevnije je nego navodnjavanje biljaka koje se uzgajaju u tlu. Zbog malog volumena supstrata u uzgojnim posudama i lončićima kontejnera, korijenu je dostupna ograničena količina vode pa su biljke podložnije vodnom stresu (Zhen i Burnett, 2015.). Pored toga, hidraulička vodljivost supstrata koji se koriste u uzgoju presadnica se s malim promjenama u sadržaju vode brzo smanjuje te je stoga pri niskom sadržaju vode u supstratu crpljenje vode biljkama jako otežano (Toscano i Romano, 2021.).

Istraživanja su pokazala da smanjena razina navodnjavanja može negativno utjecati na različite parametre o kojima ovisi estetska vrijednost biljaka te npr. može doći do smanjenja broja cvjetova, narušavanja kvalitete listova ili prekomjernog smanjenja rasta biljaka (Sánchez-Blanco i sur., 2004.; Franco i sur., 2006.). S druge strane, umjereno smanjena opskrba vodom može imati i povoljne učinke na biljke, kao što je kompaktniji i uravnoteženiji rast (Cameron i sur., 2006.). Štoviše, dulja ili kraća razdoblja smanjenog navodnjavanja mogu u biljaka izazvati niz morfoloških i fizioloških promjena koje su povezane s procesima povećanja otpornosti i/ili aklimatizacije. Smanjeno navodnjavanje se stoga često koristi kako bi se smanjio šok zbog presađivanja te na taj način proizvele visokokvalitetne presadnice (Franco i sur., 2006.). Biološka osnova ove metode temelji se na odgovoru biljke na manjak vode. Naime, pri određenim razinama deficita vode rast se zaustavlja, no stopa fiksacije CO<sub>2</sub> ostaje relativno visoka, pa dolazi do prilagodbe u korištenju produkata fotosinteze (Aussenac i sur., 1998.). U normalnim uvjetima uzgoja (odgovarajuće temperature, opskrbe vodom i fotoperioda), visok postotak asimilata usmjerava se u formiranje novih struktura (stabljike, listova, korijena itd.). Međutim, u uvjetima vodnog stresa, velik dio asimilata se pohranjuje jer se ne mogu iskoristi za formiranje organa biljke (Varone i sur., 2012.). Smanjeno navodnjavanje na taj način biljkama daje sposobnost da bolje podnesu nepovoljne okolišne uvjete jer su otpornije (Sánchez-Blanco i sur., 2019.). Utvrđeno je da blagi manjak vode primijenjen u ranoj fazi rasta biljke povećava razinu otpornosti na sušu u kasnijem dijelu životnog ciklusa biljke (Liu i sur. 2006).

Kako bi se kod pojedine vrste primijenila optimalna razina smanjenog navodnjavanja od kritične je važnosti uzeti u obzir stupanj i trajanje primijenjenog vodnog stresa (Sánchez-Blanco i sur., 2019.). Na primjer, u proizvodnji četkovca

(*Callistemon citrinus*) umjereno smanjeno navodnjavanje može se koristiti kako bi se uz manju potrošnju vode proizvele kvalitetne biljke, no jako smanjeno navodnjavanje se ne preporuča, jer se smanjuje broj cvjetova te time i ukrasna vrijednost biljaka (Álvarez i Sánchez-Blanco , 2013.).

Odgovor biljke na manjak vode ovisit će ne samo o količini primijenjene vode, već i o trenutku u kojem se smanjeno navodnjavanje primjenjuje (Álvarez i sur., 2009.; Sharp i sur., 2009.; Álvarez i sur., 2013.). Različite faze razvoja biljke nisu jednako osjetljive na manjak vode, te je stoga za svaku vrstu bitno poznavati najkritičnije faze i/ili razdoblja najveće osjetljivosti na manjak vode, u kojima smanjena opskrba vodom može ugroziti prinos ili kvalitetu biljke. Kako bi se za pojedinu vrstu primijenila najprikladnija strategija navodnjavanja, potrebno je znati u kojoj se fenološkoj fazi navodnjavanje može smanjiti kako bi se proizvela biljka dobre kvalitete (Sánchez-Blanco i sur., 2019.).

Većina dosad provedenih istraživanja pokazala je da smanjeno navodnjavanje tijekom kraćeg vremenskog razdoblja u biljaka izaziva blagi vodni stres, no ako se nakon toga opskrba vodom vrati na dovoljno visoku razinu, biljke se brzo oporavljaju i nastavljaju s normalnim rastom i razvojem. Kratko razdoblje blagog manjka vode potiče razvoj i ima pozitivan učinak na rast biljaka (Chai i sur., 2016.). Međutim, dugotrajan ozbiljan manjak vode može imati značajan negativan utjecaj na rast biljaka (Siddique i Bramley, 2014.).



### 2.3. Madagaskarski zimzelen (*Catharanthus roseus* (L.) G.Don)

Odjeljak:	<i>Magnoliophyta</i>
Razred:	<i>Magnoliopsida</i>
Red:	<i>Gentianales</i>
Porodica:	<i>Apocynaceae</i>
Rod:	<i>Catharanthus</i>
Vrsta:	<i>Catharanthus roseus</i> (L.) G.Don

Rod *Catharanthus* (od grč. *katharos* – čist i *anthos* – cvijet) (Kohlmuzer, 1968.) obuhvaća osam vrsta jednogodišnjih biljaka i trajnica, od kojih su sve porijeklom s Madagaskara, osim vrste *C. pusillus* (Murr.) G. Don koja je prirodno rasprostranjena na području Šri Lanke i Indije (Barkat i sur., 2017.).

*Catharanthus roseus* (L.) G.Don (slika 1) je jednogodišnja biljka ili trajnica, polugrm ili zeljasta biljka s odrvjenjelom bazom, koja naraste do 1 m visine i izlučuje mliječni sok (Nejat i sur., 2014.; Barkat i sur., 2017.). Listovi su nasuprotni, jednostavni, eliptični do duguljasti, cjelovita ruba, na licu sjajni i zeleni, na naličju blijedozeleni s istaknutom blijedom središnjom žilom, dugi 2,5 do 9 cm, a široki od 1 do 3,5 cm (Herwig, 1975., Gilman i Howe, 1999., Barkat i sur., 2017.). Stabljika je zeljasta, promjera od 1,1 do 8,9 cm, a razmak između nodija varira od 0,5 do 6,8 cm (Barkat i sur., 2017.). Korijen može doseći dubinu od 70 cm (Nejat i sur., 2014.).

Cvjetovi su pentamerni, aktinomorfni, 2,0 do 5,1 cm u promjeru, a mogu biti ljubičasti (var. *roseus*), bijeli (var. *alba*) ili bijeli s crvenim okom (var. *ocellatus*). Cijev vjenčića je cilindričnog oblika, duga 2-3 cm, u gornjem dijelu s pet laticastih režnjeva. Cvat je grozdast (Barkat i sur., 2017.). Prvi cvjetovi pojavljuju se 6-8 tjedana nakon klijanja. U područjima s toplom klimom cvate i donosi plodove tijekom cijele godine. (Barkat i sur., 2017.).

Madagaskarski zimzelen ima mnoga ljekovita svojstva i široku primjenu u narodnoj medicini. U Indiji se sok iz listova koristi za tretiranje mjesta uboda osa, a na Havajima se prokuhana biljka koristi u oblozima za zaustavljanje krvarenja. U Srednjoj Americi i nekim dijelovima Južne Amerike popularan je narodni lijek za ublažavanje prehlade, plućne kongestije i grlobolje. Na Kubi, Portoriku i Jamajki koristi se za ispiranje očiju kod dojenčadi, a u Africi kod menoragije i reumatizma (Dobelis 1997.; Walts 2004.; Nejat i sur., 2014.).

Iz madagaskarskog zimzelena izolirano je više od 130 indolskih alkaloida, od kojih neki imaju izrazita ljekovita svojstva. Dva komercijalno i farmakološki važna citotoksična dimerna alkaloida, vinblastin i vinkristin, široko se koriste zbog svojeg antikancerogenog djelovanja, a u listovima su prisutni u vrlo niskim koncentracijama. Oba alkaloida su izrazito toksični antimetaboli koji vezanjem na mikrotubule blokiraju mitozu u metafazi. Svi alkaloidi u madagaskarskom zimzelenu imaju neurotoksično djelovanje, posebno vinkristin, koji utječe na neurotransmisiju. Sadržaj alkaloida

najveći je u fazi cvatnje (Nejat i sur., 2014.). Ako se madagaskarski zimzelen konzumira oralno može biti štetan za zdravlje jer se smatra da ima halucinogeno djelovanje (Barkat i sur., 2017.).

Madagaskarski zimzelen dobro podnosi sušu što ga čini pogodnim za uzgoj u sušnim dijelovima svijeta. Zalijevanje mora biti redovito, a supstrat bi trebalo održavati umjereno vlažnim (Herwig, 1975.). Ne odgovaraju mu alkalna i vodom natopljena tla. Najbolje uspijeva na umjereno plodnim pjeskovito-ilovastim do ilovastim tlima. Dobro podnosi slana tla te često raste uz obale mora ili rijeka. Može se prihranjivati gnojivom koje sadrži dušik, fosfor i kalij (Pandey, 2017.).

Najbolje raste na sunčanom položaju, pri temperaturama između 20 i 30 °C (Pandey, 2017.). Temperatura noću ne smije biti niža od 10 °C. (Herwig, 1975.) Ako temperatura padne ispod 5 °C pojedine grane odumiru ili čak čitava biljka može uginuti. Kada temperatura poraste, biljka će ponovno potjerati iz bazalnih aksilarnih pupova, osobito nakon snažnog reza izdanka i korijena (Barkat, 2017.).

Može se razmnožavati sjemenom ili vegetativno, zelenim ili poluzrelim reznicama (Pandey, 2017.). Kako bi se potaknulo grananje, apikalna dominacija mora se ukloniti otkidanjem vršnog dijela biljke (ostavlja se stabljika visine 7-8 cm) (Pandey, 2017.).

Najčešća bolest u proizvodnji madagaskarskog zimzelena je crna trulež korijena koju uzrokuje gljiva iz roda *Thielaviopsis* (Nau i sur., 2021.), no mogu se pojaviti i *Pythium* i *Rhizoctonia* (Nau i sur., 2021.). Od insekata se mogu pojaviti lisne uši i trips (Nau i sur., 2021.).



Slika 1. *Catharanthus roseus*.

Izvor: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Catharanthus\\_July\\_2013-1.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Catharanthus_July_2013-1.jpg).

### 3. MATERIJALI I METODE

#### 3.1. Biljni materijal

Presadnice madagaskarskog zimzelena (*Catharanthus roseus* (L.) G. Don 'SunStorm Red'; Syngenta) (slika 2) uzgojene su u plasteniku Zavoda za ukrasno bilje, krajobraznu arhitekturu i vrtnu umjetnost Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.



Slika 2. *Catharanthus roseus* 'SunStorm Red'.

Sjeme je posijano 2. svibnja 2022. godine u PVC kontejnere veličine 12 x 22 cm s 264 sjetvena mjesta. Kontejneri su prethodno napunjeni Klasmann - Potgrond H supstratom [pH 6.0, električna provodljivost (EC) 40 mS/m (+/- 25%)] koji sadrži promrznuti crni treset, bijeli treset, mikroelemente i NPK gnojivo (14-10-18). U svako sjetveno mjesto položena je po jedna sjemenka. Kada su biljke bile u fazi razvoja drugog para pravih listova (9. lipnja, 38. dan nakon sjetve) presađene su u plastične uzgojne posude promjera 10 cm u kojima su rasle do kraja pokusa (slika 3).



Slika 3. Mlade biljke madagaskarskog zimzelena nakon presađivanja u uzgojne posude.

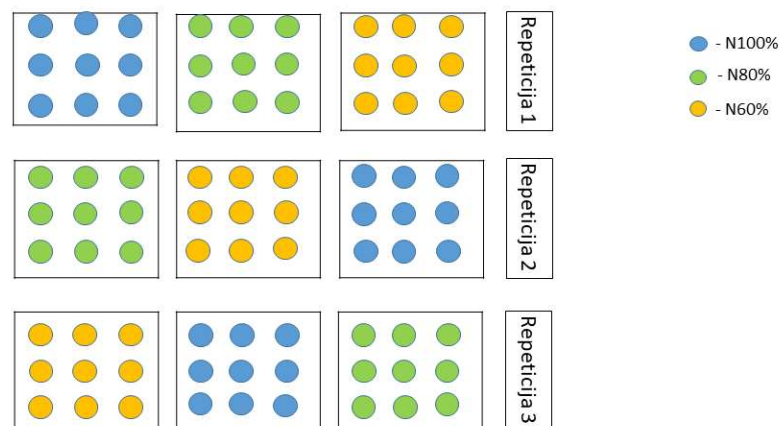
Biljke su u fazi potpuno raširenih kotiledona i fazi potpuno razvijenih prvih pravih listova jednokratno prihranjene. Korišteno je gnojivo s dušikom i kalcijem u podjednakom omjeru (N:Ca 1:1,2), u otopini hraniva koncentracije 500 ppm. Nakon presađivanja, prilikom svakog drugog zalijevanja, umjesto vode je korištena otopina hraniva bitnih makro- i mikroelemenata. Do pojave cvjetnih pupova (vegetativna faza), primijenjena je otopina hraniva sastava N:P:K:Ca:Mg:S (2:0,5:3:0,3:0,3:0,2) s mikroelementima u koncentraciji od 1300 ppm-a. U istoj koncentraciji, ali nakon pojave cvjetnih pupova (generativna faza), primijenjena je otopina hraniva bez kalcija i s višim udjelom fosfora i kalija sastava N:P:K:Mg:S (1:0,3:2:0,1:0,07) s mikroelementima.

### 3.2. Postavljanje pokusa

Istraživanje je provedeno od svibnja do srpnja 2022. godine u negrijanom plasteniku. Biljke su navodnjavane u tri različita obroka (tri varijante): 100% PVK (kontrola), 80% PVK (tj. 80% količine vode kontrolne varijante) te 60% PVK (tj. 60% količine vode kontrolne varijante). Varijante navodnjavanja označene su s N100% (kontrola), N80% i N60%.

Obrok navodnjavanja određen je na temelju prosječne mase uzgojne posude sa supstratom kod 100% PVK (349,3 g). Kod sve tri varijante navodnjavanja, biljke su zalijevane kada se masa supstrata u kontrolnoj varijanti navodnjavanja (N100%) zbog gubitka vode smanjila za ~35%. Biljke su zalijevane ručno, dodavanjem određenog volumena vode pomoću menzure. U varijanti N100% je prilikom svakog zalijevanja u posudu s biljkom dodavano 125 ml vode, u varijanti N80% 100 ml vode, a u N60% varijanti 75 ml vode. Za zalijevanje je korištena vodovodna voda. Turnus navodnjavanja bio je u prosjeku svaka 3 dana.

Pokus je bio postavljen u tri ponavljanja, s 12 biljaka po svakom ponavljanju (ukupno 36 biljaka po varijanti) (slika 4.). Kako bi sve biljke bile izložene približno jednakim uvjetima, sa svake strane područja s pokusnim biljkama postavljen je red biljaka koje nisu bile uključene u pokus.



Slika 4. (a) Shema pokusa; (b) Presadnice madagaskarskog zimzelena na početku pokusa.



### 3.3. Metode

#### 3.3.1. Mjerenja morfoloških parametara biljaka

Morfološki parametri mjereni su 3. dan nakon otvaranja prvog cvijeta (6.-16. srpnja 2022.; 35. do 46. dan nakon sjetve), a određeni su visina biljke (od površine supstrata do zadnjeg nodija), širina biljke (na najširem dijelu biljke), promjer stabljike (0,5 cm ispod prvog nodija s pravim listovima), broj nodija s pravim listovima (do prvog cvijeta), duljina plojke lista (na četvrtom paru pravih listova), širina plojke lista (na četvrtom paru pravih listova, na najširem dijelu plojke), broj bočnih grana s vidljivim cvjetnim pupovima, broj cvjetnih pupova (većih od 5 mm) te promjer otvorenog cvijeta. Visina i širina biljke, visina i širina lista te promjer cvijeta mjereni su pomoću ravnala, a promjer stabljike pomoću digitalnog pomičnog mjerila.

#### 3.3.2. Svjetlosno-mikroskopske analize

Svjetlosno-mikroskopske analize provedene su u vrijeme početka cvatnje, na četvrtom paru pravih listova. Za pripremu uzoraka korišten je središnji dio plojke lista.

Na svježim prerezima kroz list izmjereni su debljina lista, debljina gornje i donje epiderme te debljine palisadnog i spužvastog parenhima. Za svaku varijantu navodnjavanja analizirano je ukupno 12 biljaka (četiri biljke po svakom ponavljanju), na svakoj biljci po jedan list.

Analiza puči na listovima provedena je na otiscima površine listova načinjenim pomoću prozirnog laka za nokte. Lak je četkicom u tankom sloju nanesen na površinu listova te nakon sušenja odvojen s površine listova pomoću prozirne ljepljive trake (selotejpa). Ljepljiva traka s otiskom zatim je zalijepljena na površinu predmetnog stakalca. Na otiscima površine listova izmjerena je duljina i širina puči te određen broj puči i broj epidermalnih stanica po mm<sup>2</sup> površine lista.

Na temelju dobivenih podataka je prema sljedećoj formuli izračunat stomatalni indeks:

$$\text{stomatalni indeks} = \frac{S}{E+S} \times 100$$

pri čemu je

S - broj puči po mm<sup>2</sup>

E - broj epidermalnih stanica po mm<sup>2</sup>.

Analiza puči na listovima je za svaku varijantu navodnjavanja provedena na ukupno 12 biljaka (4 biljke po svakom ponavljanju), na svakoj biljci po jedan list. Na svakom otisku analizirana su tri vidna polja. U svakom vidnom polju izmjerena je duljina i širina ukupno 5 puči.

Na istim otiscima listova određen je i broj dlaka po mm<sup>2</sup> površine lista. Za svaku varijantu navodnjavanja analiza broja dlaka provedena je na ukupno 12 biljaka (4 biljke po svakom ponavljanju), na svakoj biljci po jedan list. Na svakom otisku analizirana su tri vidna polja.

Preparati su promatrani svjetlosnim mikroskopom OPTIKA B-500 Ti te snimljeni digitalnom kamerom Optika C-P1. Za morfometrijska mjerenja korišten je računalni program Optika ProView.

Brojanje stanica na svjetlosno-mikroskopskim slikama provedeno je pomoću programa za obradu slike GIMP (GNU Image Manipulation Program).

### 3.3.3. Određivanje relativnog sadržaja klorofila u listovima

Relativni sadržaj klorofila u listu određen je pomoću klorofilmetra CCM-200 plus (Opti-Sciences, Inc., USA), a izražen je kao indeks sadržaja klorofila (Chlorophyll Content Index - CCI). Mjerenja su provedena u vrijeme početka cvatnje biljaka (6. srpnja 2022.), na četvrtom paru pravih listova, u središnjem dijelu plojke između glavne žile i ruba lista. Relativni sadržaj klorofila za svaki list određen je kao srednja vrijednost rezultata mjerenja na dva mjesta na listu (na svakom mjestu po dva mjerenja).

### 3.3.4. Analiza spektralnog otiska listova

Spektralni otisci listova snimani su terenskim spektrometrom (Spectral Evolution® SR-2500). Spektrometar opremljen kontaktnom sondom (5 W volfram halogena lampa) ima 768 spektralnih vrpca u spektralnom rasponu od 350 do 2500 nm, a razlučivost od 5 nm u rasponu od 350-do 1000 nm te 22 nm u rasponu od 1500 nm do 2500 nm. Spektralna snimanja obavljena su u jednom terminu, nakon završetka pokusa navodnjavanja (13. srpnja 2022.) i to na tri reprezentativna lista po biljci kontaktnom sondom koja je postavljena izravno na površinu lista.

### 3.3.5. Statistička analiza podataka

Za analizu prikupljenih podataka primijenjena je jednosmjerna analiza varijance za nezavisne uzorke (OneWay ANOVA), a statistička značajnost razlike između srednjih vrijednosti određena je Tukeyevim testom pri  $P < 0,05$ .

## 4. REZULTATI

### 4.1. Morfološke karakteristike biljaka

Tijekom čitavog razdoblja trajanja pokusa, biljke su u obje varijante smanjenog navodnjavanja (N80% i N60%) bile vitalne i pravilno se razvijale te nisu znatnije zaostajale u rastu za biljkama iz kontrolne skupine (N100%) (Slika 5.). Niti u jednoj varijanti navodnjavanja u biljaka nisu opaženi simptomi venuća. Listovi su kod svih biljaka bili ujednačeno zeleni te na njima nisu bili vidljivi znakovi senescencije niti je došlo do apscizije listova.



Slika 5. Biljke madagaskarskog zimzelena u vrijeme početka cvatnje (N60%, N80%, N100% - varijante navodnjavanja).

Smanjeno navodnjavanje je međutim značajno utjecalo na morfološke parametre biljaka. Ovaj učinak je kod N80% varijante navodnjavanja bio slabo primjetan, no kod N60% varijante je bio vizualno uočljiviji i u većoj mjeri je utjecao na estetske karakteristike biljaka (tablica 1; slika 5).

Biljke navodnjavane u manjim obrocima bile su statistički značajno niže od biljaka u kontrolnoj varijanti navodnjavanja. Kod N80% i N60% varijante navodnjavanja stabljike biljaka su na kraju pokusa bile 6,3% odnosno 14,6% niže nego u N100% varijanti. Smanjeno navodnjavanje je još više utjecalo na širinu biljaka. U N80% i N60% varijanti navodnjavanja širina biljaka je bila 9,2% odnosno 21% manja nego kod N100% varijante (tablica 1).

Smanjeno navodnjavanje je statistički značajno utjecalo i na promjer stabljike. Biljke su kod N60% varijante navodnjavanja bile 7,6% odnosno 21,1% manjeg promjera nego kod kontrolne varijante. Međutim, broj razvijenih nodija u vrijeme prve cvatnje nije se statistički značajno razlikovao između tri varijante navodnjavanja (tablica 1).



Broj bočnih grana s vidljivim cvjetnim pupovima je u biljaka slabije opskrbljivanih vodom bio znatno smanjen. Ovaj učinak je bio osobito izražen kod N60% varijante navodnjavanja kod koje je broj bočnih grana u prosjeku bio čak 74,7% manji nego kod biljaka u N100% varijanti. Kod N80% varijante navodnjavanja broj bočnih grana bio je 32% manji nego kod N100% varijante (tablica 1).

Smanjeno navodnjavanje je u istraživanih biljaka rezultiralo i razvojem manjih listova. Kod N80% i N60% varijante navodnjavanja, duljina listova bila je 9,1% odnosno 20,3% manja, a širina listova 5% odnosno 17,1% manja nego kod 100% varijante (tablica 1).

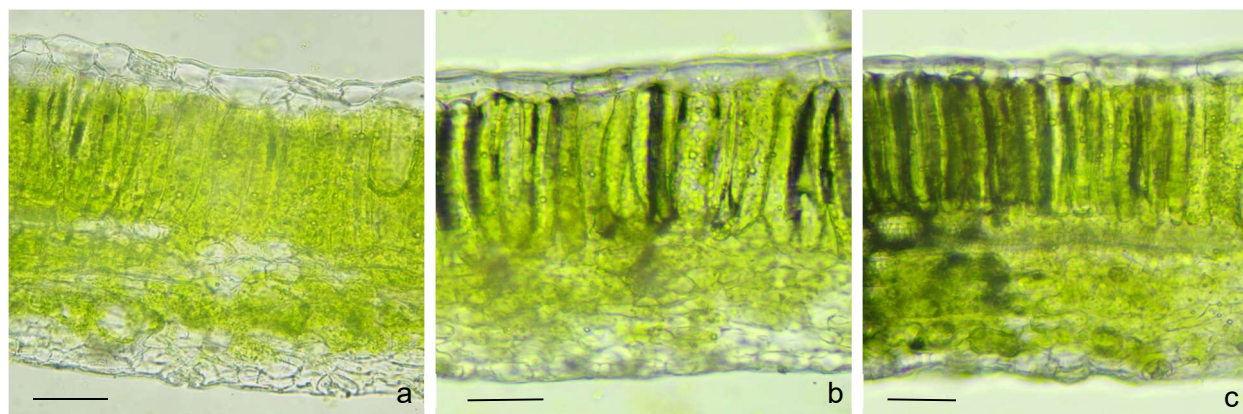
Smanjeno navodnjavanje je u istraživanih biljaka također smanjilo promjer cvjetova i broj cvjetnih pupova. Promjer cvijeta je kod N60% varijante navodnjavanja bio 10,9% manji nego kod N100% varijante. Razlika u promjeru cvijeta između N100% i N80% varijante navodnjavanja bila je znatno manja (5,6%), no ipak statistički značajna, a vizualno je na biljkama bila jedva primjetna. Pored toga, broj cvjetnih pupova u slabije navodnjavanih biljaka bio je smanjen, no ta je razlika bila statistički značajna samo kod N60% varijante navodnjavanja (tablica 1).

Tablica 1. Morfološki parametri biljaka madagaskarskog zimzelena kod različitih varijanti navodnjavanja. Vrijednosti označene različitim slovima (a, b, c) statistički su značajno različite prema Tukeyevom testu na razini  $p < 0,05$ . Podaci prikazani u tablici su srednja vrijednost  $\pm$  standardna pogreška.

Parametar	Varijanta navodnjavanja		
	N100%	N80%	N60%
Visina biljke (cm)	10,28 $\pm$ 0,16 a	9,63 $\pm$ 0,15 b	8,78 $\pm$ 0,14 c
Širina biljke (cm)	20,36 $\pm$ 0,15 a	18,49 $\pm$ 0,16 b	16,08 $\pm$ 0,11 c
Promjer stabljike (mm)	5,16 $\pm$ 0,05 a	4,77 $\pm$ 0,05 b	4,07 $\pm$ 0,04 c
Broj nodija	5,47 $\pm$ 0,08 a	5,36 $\pm$ 0,08 a	5,42 $\pm$ 0,08 a
Broj bočnih grana s vidljivim cvjetnim pupovima	7,47 $\pm$ 0,33 a	5,08 $\pm$ 0,38 b	1,89 $\pm$ 0,28 c
Duljina lista (cm)	9,78 $\pm$ 0,07 a	8,89 $\pm$ 0,10 b	7,79 $\pm$ 0,06 c
Širina lista (cm)	3,63 $\pm$ 0,04 a	3,45 $\pm$ 0,03 b	3,01 $\pm$ 0,03 c
Broj cvjetnih pupova	5,19 $\pm$ 0,18 a	4,83 $\pm$ 0,22 ab	4,22 $\pm$ 0,17 b
Promjer cvijeta (cm)	5,34 $\pm$ 0,05 a	5,04 $\pm$ 0,05 b	4,76 $\pm$ 0,06 c

## 4.2. Anatomske karakteristike listova

Listovi madagaskarskog zimzelena bili su tipične bifacijalne građe, s jednoslojnom epidermom i mezofilom diferenciranim na palisadni i spužvasti parenhim. Na poprečnim prerezima kroz tkivo lista nisu opažene razlike u anatomskoj građi tkiva lista između različito navodnjavanih skupina biljaka (slika 6.).



Slika 6. Poprečni prerezi kroz listove madagaskarskog zimzelena pri različitim varijantama navodnjavanja. (a) N100%, (b) N80%, (c) N60%. Skala = 50  $\mu$ m.

Morfometrijske analize pokazale su da smanjeno navodnjavanje nije utjecalo na debljinu gornje i donje epiderme te palisadnog i spužvastog parenhima. Stoga se i debljina lista u obje skupine slabije navodnjavanih biljaka nije statistički značajno razlikovala od biljaka u N100% varijanti navodnjavanja (tablica 2).

Svjetlosno-mikroskopskom analizom otisaka površine lista utvrđena je prisutnost dlaka na obje strane lista, pri čemu je broj dlaka na abaksijalnoj strani kod sve tri varijante navodnjavanja bio znatno veći nego na adaksijalnoj strani (tablica 2). Smanjeno navodnjavanje rezultiralo je povećanjem broja dlaka na obje strane lista, no samo kod N60% varijante navodnjavanja. Kod ovih je biljaka broj dlaka na obje strane lista bio ~34% veći nego kod biljaka u N100% varijanti navodnjavanja.

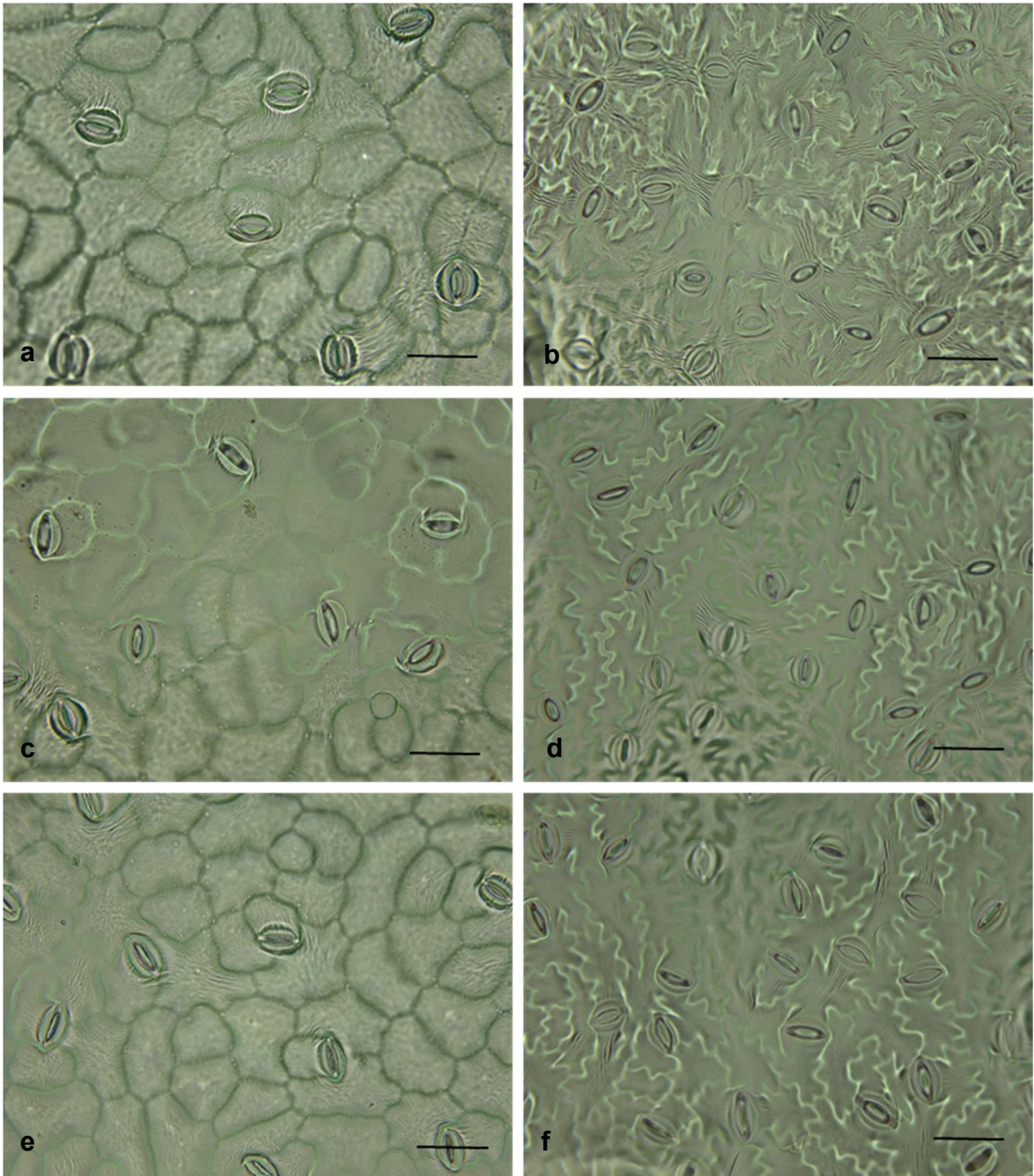
Tablica 2. Anatomske parametre listova madagaskarskog zimzelena kod različitih varijanti navodnjavanja. Vrijednosti označene različitim slovima (a, b, c) statistički su značajno različite prema Tukeyevom testu na razini  $p < 0,05$ . Podaci prikazani u tablici su srednja vrijednost  $\pm$  standardna pogreška.

Parametar	Varijanta navodnjavanja		
	N100%	N80%	N60%
Debljina lista ( $\mu\text{m}$ )	255,78 $\pm$ 2,36 a	255,11 $\pm$ 5,24 a	257,14 $\pm$ 4,05 a
Debljina adaksijalne epiderme ( $\mu\text{m}$ )	25,28 $\pm$ 1,08 a	25,98 $\pm$ 1,06 a	23,57 $\pm$ 0,73 a
Debljina palisadnog parenhima ( $\mu\text{m}$ )	117,21 $\pm$ 2,48 a	120,57 $\pm$ 3,67 a	118,38 $\pm$ 3,77 a
Debljina spužvastog parenhima ( $\mu\text{m}$ )	100,48 $\pm$ 2,48 a	95,46 $\pm$ 3,67 a	101,96 $\pm$ 3,77 a
Debljina abaksijalne epiderme ( $\mu\text{m}$ )	16,57 $\pm$ 0,78 a	17,98 $\pm$ 0,67 a	17,47 $\pm$ 0,46 a
Broj dlaka/ $\text{mm}^2$ na adaksijalnoj strani lista	10,22 $\pm$ 1,03 b	9,75 $\pm$ 1,02 b	13,73 $\pm$ 0,75 a
Broj dlaka/ $\text{mm}^2$ na abaksijalnoj strani lista	46,09 $\pm$ 2,55 b	53,73 $\pm$ 1,89 b	61,61 $\pm$ 2,26 a

Analiza otisaka površine lista pokazala je da madagaskarski zimzelen ima amfistomatski raspored puči (slika 7.). Stoga je morfometrijska analiza puči provedena zasebno na adaksijalnoj i abaksijalnoj površini lista. Provedena mjerenja pokazala su da je smanjeno navodnjavanje utjecalo na veličinu puči na obje strane lista. Najveće razlike utvrđene su kod biljaka u N60% varijanti navodnjavanja kod kojih je duljina puči na adaksijalnoj strani listova bila 15,8% manja, a širina puči 11,8% manja nego kod biljaka u N100% varijanti navodnjavanja (tablica 3.). Slabija opskrba vodom nije statistički značajno utjecala na broj puči po  $\text{mm}^2$  na adaksijalnoj strani lista, no na abaksijalnoj strani je broj puči po  $\text{mm}^2$  kod N60% varijante navodnjavanja bio 16,9% veći nego kod N100% varijante navodnjavanja (tablica 3.).

Broj epidermalnih stanica po  $\text{mm}^2$  površine lista se na adaksijalnoj strani nije značajno razlikovao između tretmana. Međutim, na abaksijalnoj strani lista je broj epidermalnih stanica po  $\text{mm}^2$  kod N60% varijante navodnjavanja bio 18,5% veći nego kod N100% varijante navodnjavanja (tablica 3.). Stomatolni indeks se niti na jednoj epidermi nije razlikovao između različitih varijanti navodnjavanja, a na abaksijalnoj strani lista je bio znatno veći nego na adaksijalnoj strani (tablica 3.).





Slika 7. Otisci površine listova madagaskarskog zimzelena pri različitim varijantama navodnjavanja. (a-b) N100% varijanta navodnjavanja, (c-d) N80% varijanta navodnjavanja; (e-f) N60% varijanta navodnjavanja. Slike prikazuju otiske adaksijalne (a, c, e) i abaksijalne (b, d, f) površine listova. Skala = 50  $\mu\text{m}$ .

Tablica 3. Veličina puči, broj puči po mm<sup>2</sup>, broj epidermalnih stanica po mm<sup>2</sup> i stomatalni indeks kod listova madagaskarskog zimzelena pri različitim varijantama navodnjavanja. Vrijednosti označene različitim slovima (A, B, C) statistički su značajno različite prema Tukeyevom testu na razini p < 0,05. Podaci prikazani u tablici su srednja vrijednost ± standardna pogreška.

Parametar	Varijanta navodnjavanja			
	N100%	N80%	N60%	
Adaksijalna strana lista	Duljina puči (μm)	31,59 ± 0,2 a	28,75 ± 0,23 b	26,59 ± 0,21 c
	Širina puči (μm)	21,36 ± 0,21 a	19,97 ± 0,24 b	18,83 ± 0,18 c
	Broj puči/mm <sup>2</sup>	87,24 ± 2,28 a	95,12 ± 4,06 a	92,69 ± 3,69 a
	Broj epidermalnih stanica/mm <sup>2</sup>	609,78 ± 17,62 a	625,23 ± 11,74 a	665,52 ± 25,48 a
	Stomatalni indeks (%)	12,57 ± 0,26 a	13,23 ± 0,2 a	12,24 ± 0,5 a
Abaksijalna strana lista	Duljina puči (μm)	30,33 ± 0,2 a	27,99 ± 0,23 b	26,44 ± 0,22 c
	Širina puči (μm)	21,89 ± 0,22 a	20,74 ± 0,20 b	19,41 ± 0,18 c
	Broj puči/mm <sup>2</sup>	224,16 ± 7,56 b	237,19 ± 7,6 ab	262,03 ± 8,85 a
	Broj epidermalnih stanica/mm <sup>2</sup>	709,14 ± 13,65 b	762,75 ± 16,94 b	840,3 ± 25,74 a
	Stomatalni indeks (%)	23,99 ± 0,54 a	23,71 ± 0,49 a	23,82 ± 0,54 a

### 4.3. Relativni sadržaj klorofila u listovima

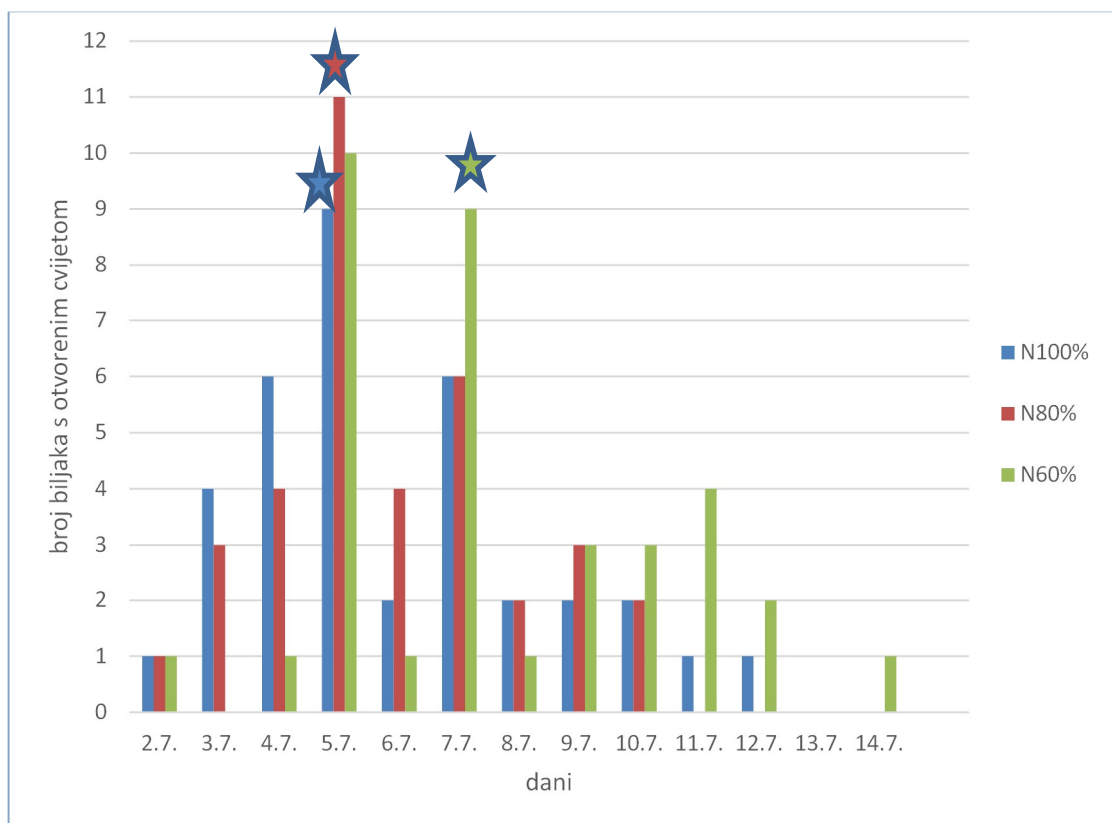
U listovima slabije navodnjavanih biljaka je izmjeren značajno viši indeks sadržaja klorofila (CCI) nego kod biljaka u N100% varijanti navodnjavanja. Vrijednost CCI je kod N80% varijante navodnjavanja bila 20,1% viša, a kod N60% varijante 28,5% viša nego kod N100% varijante navodnjavanja (tablica 4.). Ova razlika bila je i vizualno uočljiva, osobito kod N60% varijante navodnjavanja, kod koje su listovi biljaka bili zamjetno tamnije zeleni.

Tablica 4. Indeks sadržaja klorofila (CCI - *chlorophyll content index*) u listovima madagaskarskog zimzelena kod različitih varijanti navodnjavanja. Vrijednosti označene različitim slovima (a, b, c) statistički su značajno različite prema Tukeyevom testu na razini  $p < 0,05$ . Podaci prikazani u tablici su srednja vrijednost  $\pm$  standardna pogreška.

Parametar	Varijanta navodnjavanja		
	N100%	N80%	N60%
CCI	39,06 $\pm$ 0,75 c	46,91 $\pm$ 0,97 b	50,2 $\pm$ 1,14 a

#### 4.4. Vrijeme cvatnje

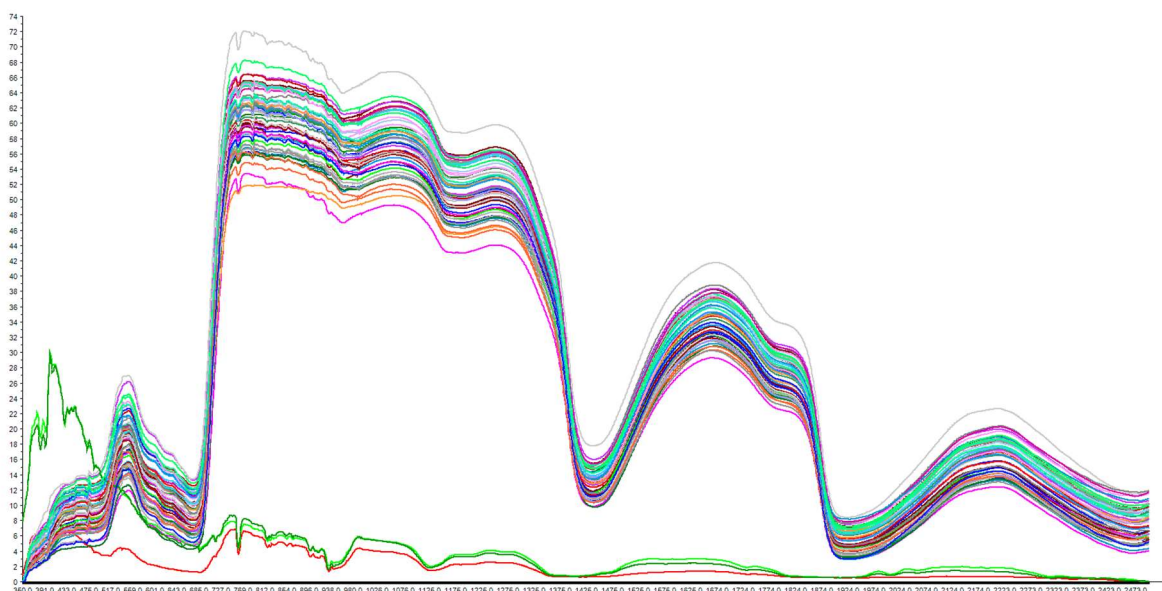
Smanjeno navodnjavanje nije znatnije utjecalo na vrijeme cvatnje. Iako je početak cvatnje kod sve tri varijante navodnjavanja nastupio isti dan, otvaranje cvjetova je kod N60% varijante navodnjavanja bilo nešto sporije: u ovoj je skupini 50% biljaka bilo u cvatu dva dana kasnije nego kod biljaka u N80% i N100% varijantama, a razdoblje početka cvatnje je bilo malo produljeno (dva dana) (slika 8.).



Slika 8. Vrijeme početka cvatnje biljaka madagaskarskog zimzelena kod različitih varijanti navodnjavanja (N100%, 80% i 60%). Stupci označeni zvjezdicom označavaju dan kada je 50% biljaka bilo u cvatu.

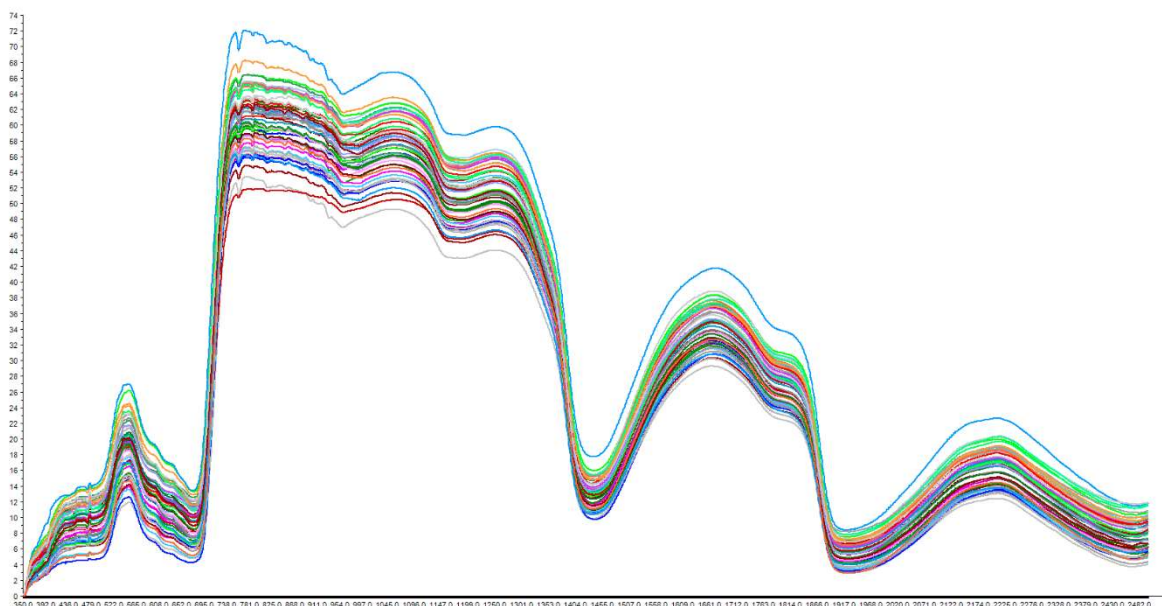
#### 4.5. Spektralni otisak listova

Na slici 9 dan je grafički prikaz svih prikupljenih neobrađenih spektralnih otisaka listova iz pokusa navodnjavanja. Svi spektralni otisci su sličnih spektralnih krivulja. Kako je vidljivo od tih krivulja odstupaju tri uzorka (uzorak br. 2, br. 9 i br. 51) te su oni isključeni iz daljnje obrade. Osim toga, kako bi razlike u spektrima bile jasnije vidljive učinjena je transformacija spektralnih podataka, tzv. zaglađivanje spektra u svrhu uklanjanja nekemijskih učinaka i stvaranja robusnih modela kalibracije. Izvedenice također mogu pomoći u rješavanju preklapajućih spektralnih vrpca na takav način naglašavajući male spektralne varijacije koje nisu vidljive u neobrađenim podacima. Za obradu spektra primijenjena je metoda Savitzky-Golay (slika 10.). Potom su napravljene i srednje vrijednosti spektralnih otisaka lista te standardna devijacija za cijelo promatrano spektralno područje (slika 11.).



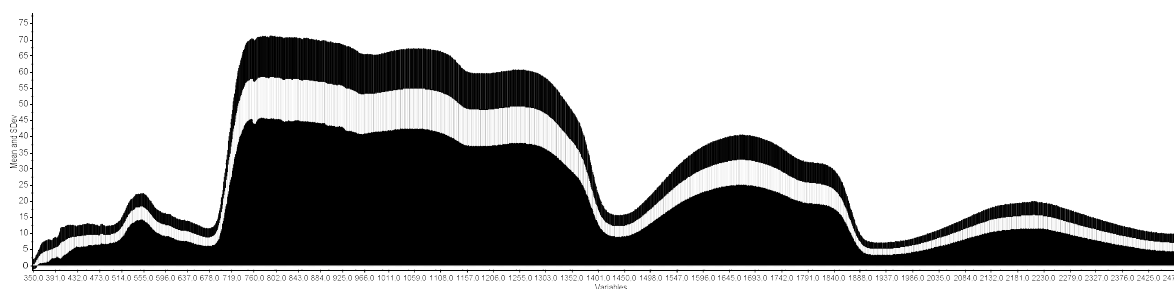
Slika 9. Grafički prikaz svih prikupljenih neobrađenih spektralnih otisaka listova madagaskarskog zimzelena. Na osi x prikazane su valne duljine od 350 do 2473 nm, a na osi y prikazana je reflektancija (%).





Slika 10. Grafički prikaz obrađenih spektralnih otisaka listova madagaskarskog zimzelena metodom Savitzky-Golay. Na osi x prikazane su valne duljine od 350 do 2473 nm, a na osi y prikazana je reflektancija (%).

Uzorci se razlikuju po udjelu reflektiranog zračenja unutar promatranog dijela spektra. Iz grafičkog prikaza vidljivo je da je najveći udio reflektiranog zračenja u području od 680 nm do 1300 nm, a najmanji na rubovima promatranog dijela spektra. Na spektralnim otiscima izdvajaju se spektralne vrpce oko 690 nm, 760 nm, 1500 te 1900 nm.



Slika 11. Grafički prikaz srednje vrijednosti i standardne devijacije prikupljenih spektralnih otisaka listova. Na osi x prikazane su valne duljine od 350 do 2473 nm, a na osi y prikazana je reflektancija (%).

## 5. RASPRAVA

Dosad provedena istraživanja u različitim biljnih vrsta pokazala su da smanjeno navodnjavanje rezultira smanjenjem rasta biljaka (Sánchez-Blanco i sur., 2019.). Budući da je produživanje stanica proces koji je najosjetljiviji na manjak vode, smanjenje rasta jedan je od prvih odgovora biljaka na vodni stres (Taiz i sur., 2015.). Kod kultivara madagaskarskog zimzelena istraživanog u ovome radu ('SunStorm Red') duljina stabljike je kod N80% i N60% varijante navodnjavanja bila statistički značajno niža nego kod biljaka u N100% varijanti navodnjavanja. To je u skladu s istraživanjem Abdul Jaleel i sur. (2008.) koje je pokazalo da smanjeno navodnjavanje (60% PVK) dovodi do smanjenja duljine stabljike kod varijeteta madagaskarskog zimzelena *roseus* i *albus*. Sličan učinak smanjenog navodnjavanja na visinu biljke opisan je i kod drugih ukrasnih vrsta kao što su *Impatiens walleriana* (Chyliński i sur., 2007.), *Dianthus caryophyllus* (Álvarez i sur., 2009.), *Pelargonium x hortorum* (Sánchez-Blanco i sur., 2009.), *Passiflora* spp. (Souza i sur., 2018.), *Phillyrea angustifolia* (Álvarez i sur., 2019.), *Matthiola incana* (Jafari i sur., 2019.) i *Zinnia elegans* (Toscano i Romano, 2021.). Utjecaj vodnog stresa na inhibiciju rasta može se međutim u različitim biljnih vrsta uvelike razlikovati (Sánchez-Blanco i sur., 2019.). Osim toga, intenzitet odgovora biljke može varirati ovisno o jačini i duljini izloženosti stresu (Cameron i sur., 2006.). Npr. kod vrste *Myrtus communis* umjereni vodni stres (60% PVK) nije rezultirao značajnim promjenama u razvoju biljaka, no izraženiji manjak vode (40% PVK) doveo je do smanjenja svih parametara rasta (Navarro i sur., 2009.).

U istraživanog kultivara madagaskarskog zimzelena, broj internodija nije se statistički značajno razlikovao između različitih tretmana, što pokazuje da je do smanjenja duljine stabljike došlo zbog razvoja kraćih internodija. Učinak vodnog stresa na visinu biljke u tom je pogledu sličan učinku retardanata rasta. Ove tvari, kada se primijene u odgovarajućoj koncentraciji, smanjuju visinu biljke jer se smanjuje produživanje internodija, no istodobno se ne mijenja broj razvijenih internodija (Grossman, 1992). Ovaj učinak je važno uzeti u obzir posebice kod ukrasnih biljnih vrsta, kod kojih primjena smanjenog navodnjavanja ne služi samo ekonomičnijem korištenju vode (posebice u područjima s ograničenim vodnim resursima), već može naći primjenu i kao metoda kontrole rasta biljaka. Smanjeno navodnjavanje tijekom faze proizvodnje se stoga može koristiti i za smanjenje prekomjernog rasta biljaka čime se izbjegava ili smanjuje primjena retardanata rasta. To je važno ne samo zbog utjecaja na estetske karakteristike biljaka, već i stoga što niži i kompaktniji habitus olakšava transport i presađivanje biljaka (Sánchez-Blanco i sur., 2019.).

U uvjetima slabije opskrbe vodom visina biljaka obično se smanjuje u većoj mjeri nego širina tj. učinak je veći na vertikalni nego na horizontalni rast, pa se i cvjetovi nalaze bliže listovima (Sánchez-Blanco i sur., 2019.). Primjerice, kod pelargonije (*Pelargonium x hortorum*) se u biljaka uzgajanih u uvjetima slabije opskrbljenosti vodom povećao omjer između širine i visine biljke. To biljkama daje kompaktniji i skladniji izgled što ih čini vizualno privlačnijima potrošačima (Álvarez i sur., 2013.). U

istraživanog kultivara madagaskarskog zimzelena smanjeno navodnjavanje je međutim imalo obrnut učinak te je širinu biljaka nešto jače smanjilo nego duljinu stabljike.

Smanjena širina slabije navodnjavanih biljaka madagaskarskog zimzelena vjerojatno je djelomično posljedica manje veličine listova. Naime, kod obje skupine biljaka izloženih manjku vode duljina i širina listova bile su manje nego kod kontrolnih biljaka, pri čemu je učinak manjka vode na duljinu listova bio nešto izraženiji nego na širinu. Usporavanje povećavanja listova u uvjetima nedostatka vode jedan je od prvih vidljivih i mjerljivih odgovora biljaka na vodni stres (Pevalek-Kozlina, 2003.; Koch i sur., 2019.). Zbog manje lisne površine transpiracijom se gubi manje vode što predstavlja prvu liniju obrane protiv suše (Pevalek-Kozlina, 2003.). Jačina ovog odgovora ovisi o intenzitetu (Aguirrezabal i sur., 2006.), ali i o vremenu pojavljivanja vodnog stresa (Lecoeur i sur., 1995). Ako je biljka izložena nedostatku vode rano tijekom razvoja lista ili tijekom čitavog razdoblja razvoja listova, do usporavanja povećavanja lista dolazi zbog smanjenja broja dioba i usporavanja povećavanja stanica (Skiryecz i sur., 2010.; Tardieu i sur., 2011.). Ako je vodni stres nastupio kasnije, kada su diobe već završile, lisna površina je manja zbog usporavanja povećavanja stanica (Granier i sur., 1999.).

Manjak vode na proces rasta stabljike djeluje na isti način kao i na povećavanje listova, pa zbog toga dolazi i do smanjenja broja i stope rasta bočnih izdanaka (Pevalek-Kozlina, 2003.). Istraživanje provedeno na vrsti *Dianthus caryophyllus* pokazalo je da se kod jako smanjenog navodnjavanja broj izdanaka kod ove vrste značajno smanjuje (Álvarez i sur., 2009.). U madagaskarskog zimzelena smanjeno navodnjavanje snažno je utjecalo na broj bočnih grana s vidljivim cvjetnim pupovima te je kod N60% varijante navodnjavanja ovaj parametar bio čak 74,7% manji nego kod N100% varijante. Stoga se može pretpostaviti da je smanjenje širine slabije navodnjavanih biljaka također bilo posljedica smanjenja stope rasta bočnih izdanaka.

Zbog inhibicije povećavanja stanica u uvjetima manjka vode, smanjeno navodnjavanje može rezultirati i smanjenjem promjera stabljike (Medeiros i sur., 2012.). Primjerice, slabije navodnjavanje (do 25% PVK i 50% PVK) smanjilo je promjer stabljike kod cinije (*Zinnia elegans*) (Toscano i Romano, 2021.). Kod biljaka madagaskarskog zimzelena istraživanih u ovome radu promjer stabljike bio je statistički značajno smanjen već kod N80% varijante navodnjavanja.

Poznato je da vodni stres može uzrokovati raniju senescenciju i odbacivanje listova. Do gubitka listova dolazi tek pri snažnom vodnom stresu te predstavlja strategiju kojom se ograničava površina preko koje biljka može gubiti vodu, uslijed čega se reducira i potrošnja vode (Sánchez-Blanco i sur., 2019.). Kod istraživanih biljaka madagaskarskog zimzelena primijenjena razina vodnog stresa, čak niti kod biljaka u N60% varijanti navodnjavanja nije izazvala simptome venuća. Osim toga, na biljkama nisu opaženi znakovi senescencije listova te niti na jednoj biljci nije došlo do apscizije listova.

Vodni stres kod biljaka može smanjiti broj cvjetova, skratiti razdoblje cvjetanja, izazvati ranije cvjetanje ili odgoditi cvjetanje (Álvarez i sur., 2013.; Sánchez-Blanco i

sur., 2019.). Ovaj učinak je osobito važno uzeti u obzir kod ukrasnih biljnih vrsta, posebice cvjećarskih kultura, kod kojih dekorativna vrijednost uglavnom ovisi o cvjetovima. U istraživanju provedenom u ovome radu, smanjeno navodnjavanje je značajno smanjilo promjer cvijeta i broj cvjetnih pupova, osobito kod N60% varijante navodnjavanja, ali nije znatnije utjecalo na vrijeme cvatnje. Dosad provedena istraživanja pokazuju da umjereni vodni stres ne mora negativno utjecati na cvjetanje. Primjerice, u istraživanju koje su Sánchez-Blanco i sur. (2009.) proveli na pelargoniji (*Pelargonium x hortorum*) smanjeno navodnjavanje rezultiralo je manjim brojem cvatova i manjim brojem otvorenih cvjetova, ali samo kod biljaka izloženih izrazitom manjku vode, dok umjereni manjak vode nije imao utjecaja na cvjetanje. Slično tome, umjereno smanjeno navodnjavanje kod karanfila (*Dianthus caryophyllus*) nije utjecalo na broj cvjetova, no u uvjetima izraženog manjka vode biljke su imale značajno manji broj cvjetova (Álvarez i sur., 2009.). Također treba uzeti u obzir da se učinak na cvjetanje može jako razlikovati kod različitih kultivara. U istraživanju provedenom na vrsti *Matthiola incana* smanjena opskrba vodom je kod kultivara 'PanAmerican' značajno smanjila broj cvjetova, no isti tretmani nisu značajno utjecali na broj cvjetova kod kultivara 'Cinderella' (Jafari i sur., 2019.).

Kod mnogih dosad istraživanih vrsta utvrđeno je da se pri smanjenoj opskrbi biljaka vodom sadržaj klorofila u listovima smanjuje, npr. kod suncokreta (*Helianthus annuus*) (Kiani i sur., 2008.), kadifca (*Tagetes spp.*) (Asrar i sur., 2011.; Cicevan i sur., 2016.), maćuhice (*Viola x wittrockiana*) (Oraee i sur., 2020.), madagaskarskog zimzelena (*Catharanthus roseus*) (Abdul Jaleel i sur., 2008.) i masline (*Olea europaea*) (Guerfel i sur., 2009.). Kod drugih vrsta pri smanjenom navodnjavanju nisu utvrđene promjene u sadržaju klorofila (Cicevan i sur., 2016.; Toscano i sur., 2018.; Rafi i sur., 2019.). U nekim su istraživanjima pri smanjenom navodnjavanju u biljaka izmjerene povećane vrijednosti relativnog sadržaja klorofila npr. kod vrsta *Helianthemum hybridum* (Bayer, 2020.), *Heliotropium arborescens* i *Angelonia angustifolia* (Guo i sur., 2018.). Pretpostavlja se da bi više vrijednosti mogle biti posljedica nižeg sadržaja vode u listu, povećane debljine lista ili višeg sadržaja klorofila (Martínez i Guiamet, 2004.). Kod kultivara madagaskarskog zimzelena istraživanog u ovome radu CCI vrijednost je kod N80% i N60% varijante navodnjavanja bila značajno viša nego kod N100% varijante. Budući da debljina lista u istraživanih biljaka nije bila povećana, viša izmjerena CCI vrijednost mogla bi biti posljedica nižeg sadržaja vode, ali i više koncentracije klorofila u stanicama.

Poznato je da uvjeti vodnog stresa mogu u biljaka izazvati anatomske promjene na listovima. Primjerice, kod vrste *Polygala myrtifolia* smanjeno navodnjavanje nije utjecalo na debljinu palisadnog i spužvastog parenhima, dok se kod vrste *Viburnum tinus* u biljaka slabije opskrbljenih vodom debljina palisadnog i spužvastog parenhima povećala (Tribulato i sur., 2019.). Istraživanje provedeno na vrstama roda *Passiflora* pokazalo je da se u uvjetima manjka vode debljina palisadnog i spužvastog parenhima povećala kod vrsta *P. edulis*, *P. gibertii* i *P. cincinnata*, a smanjila kod vrste *P. alata* (Souza i sur., 2018.). Najveću sposobnost preživljavanja pri ograničenoj opskrbi vodom te stoga i najveću otpornost na manjak vode imala je vrsta *P. setacea* jer je

pokazivala samo manje anatomske promjene u usporedbi s kontrolnim tretmanom. Svjetlosno-mikroskopska analiza poprečnih prereza kroz listove madagaskarskog zimzelena pokazala je da smanjena opskrba vodom nije utjecala na debljinu listova niti na omjer debljine palisadnog i spužvastog parenhima što sugerira da istraživani kultivar dobro tolerira primijenjenu razinu manjka vode.

Analiza otisaka površine lista pokazala je da je smanjeno navodnjavanje kod madagaskarskog zimzelena rezultiralo povećanjem broja dlaka na obje strane lista, no samo kod N60% varijante navodnjavanja. Dlake na površini listova uobičajena su karakteristika biljaka prilagođenih suhim staništima (Guerfel i sur., 2009.). Smatra se da ova karakteristika poboljšava učinkovitost korištenja vode (engl. *water-use efficiency*) jer se povećava otpor graničnog sloja na površini lista te stoga i gubitak vode transpiracijom (Baldini i sur., 1997.; Savé i sur., 2000.). Osim toga, dlake mogu služiti i kao učinkoviti filteri koji služe za zaštitu tkiva lista od oštećenja izazvanih UVB svjetlošću (Karabourniotis i Bornman, 1999.).

Kod istraživanog kultivara madagaskarskog zimzelena, duljina i širina puči je u biljaka slabije opskrbljenih vodom na obje strane lista bila značajno manja nego kod N100% varijante navodnjavanja, a broj puči po mm<sup>2</sup> se na abaksijalnoj strani lista povećao. Poznato je da listovi koji se razvijaju u uvjetima slabije opskrbljenosti vodom često imaju manje i brojnije puči nego biljke dobro opskrbljene vodom (Larcher, 1995). Npr. kod cinije (*Zinnia elegans*) se veličina puči smanjila u uvjetima izrazitog manjka vode (25% PVK), dok se broj puči po mm<sup>2</sup> površine lista povećao već pri umjerenom vodnom stresu (50% PVK) (Toscano i Romano, 2021.). Smatra se da ove promjene omogućuju da ukupna površina otvora puči ostane ista ili se poveća (zbog većeg broja puči po mm<sup>2</sup> površine lista), no istovremeno se zbog manje dubine otvora puči skraćuje difuzijski put, što potencijalno može rezultirati boljom izmjenom plinova (Franks i Farquhar, 2007.; Franks i Beerling, 2009.; Bertolino i sur., 2019.). Istraživanje koje su Bosabalidis i Kofidi (2002.) proveli na listovima masline pokazalo je da povećanje broja puči po mm<sup>2</sup> površine lista doprinosi boljoj kontroli transpiracije.

Na spektralnim otiscima madagaskarskog zimzelena izdvajaju se spektralne vrpce oko 690 nm, 760 nm, 1500 te 1900 nm. Promjene u intenzitetu spektralne vrpce oko 690 nm (crveno spektralno područje) mogu biti posljedica ekofizioloških promjena u listovima koje su rezultat procesa sušenja, a koje mogu promijeniti, na primjer, unutarnju strukturu stanica i sadržaj klorofila i karotenoida u listovima (Junttila i sur., 2017.). Promjene u sadržaju pigmenata također uključuju razlike u omjerima klorofila *a* i klorofila *b*, što je u slučaju snimanja listova vinove loze bilo izraženo kod 738 nm (Zovko i sur., 2019). Rezultati ovih snimanja pokazuju to na 760 nm. Promjene u intenzitetu spektralnih vrpce oko 1500-1550 nm (blisko infracrveno područje) povezane su sa sadržajem vode u biljci. Prema dostupnim istraživanjima vrpce apsorpcije vode u području 1300-2500 nm pokazuju visoku osjetljivost na sadržaj vode u listovima. Ova snimanja odgovaraju literaturnim podacima, gdje se vrpce povezane s vodom identificiraju na 1500 i 1900 nm.

## 6. ZAKLJUČAK

Kod kultivara madagaskarskog zimzelena istraživanog u ovome radu (*Catharanthus roseus* 'SunStorm Red') smanjeno navodnjavanje je značajno smanjilo duljinu i promjer stabljike, širinu biljaka i broj bočnih grana s vidljivim cvjetnim pupovima. Broj nodija se međutim nije statistički značajno razlikovao između različitih tretmana, što pokazuje da je manja duljine stabljike u biljaka slabije opskrbljenih vodom posljedica smanjenja produživanja internodija.

Kod obje skupine biljaka izloženih manjku vode duljina i širina listova bile su manje nego kod biljaka dobro opskrbljenih vodom. Primijenjena razina vodnog stresa, međutim, čak niti kod biljaka u N60% varijanti navodnjavanja nije izazvala simptome venuća. Osim toga, na listovima biljaka nisu opaženi znakovi senescencije te niti na jednoj biljci nije došlo do apscizije listova. Štoviše, indeks sadržaja klorofila (CCI) je kod N80% i N60% varijante navodnjavanja bio značajno viši nego kod N100% varijante navodnjavanja, a listovi su bili tamnije zeleni.

Svjetlosno-mikroskopska analiza poprečnih prereza kroz listove pokazala je da smanjena opskrba vodom nije utjecala na debljinu listova niti na debljinu epidermi te palisadnog i spužvastog parenhima. Morfometrijskom analizom otisaka površine lista utvrđeno je da je kod N60% varijante navodnjavanja broj dlaka na obje strane lista bio značajno povećan. Veličina puči je u biljaka slabije opskrbljenih vodom na obje strane lista bila je smanjena, a broj puči po mm<sup>2</sup> se na abaksijalnoj strani lista povećao. Stomatalni indeks se međutim niti na jednoj strani lista nije statistički značajno razlikovao između slabije navodnjavanih biljaka i kontrolnih biljaka.

Smanjeno navodnjavanje je značajno smanjilo promjer cvijeta, no kod N80% tretmana ta je razlika bila jedva zamjetna. Broj cvjetnih pupova bio je značajno manji samo kod N60% varijante navodnjavanja. S druge strane, slabija opskrba vodom nije u većoj mjeri utjecala na vrijeme cvatnje.

Provedena istraživanja upućuju na zaključak da istraživani kultivar dobro tolerira primijenjenu razinu manjka vode. Iako je smanjena opskrba vodom utjecala na morfološke karakteristike važne za dekorativnu vrijednost biljaka, ove promjene kod N80% varijante navodnjavanja nisu znatnije narušile vizualnu kvalitetu presadnica.

## 7. LITERATURA

1. Aguirrezabal L., Bouchier-Combaud S., Radziejwoski A., Dauzat M., Cookson S.J., Granier C. (2006). Plasticity to soil water deficit in *Arabidopsis thaliana*: dissection of leaf development into underlying growth dynamic and cellular variables reveals invisible phenotypes. *Plant, Cell & Environment*. 29: 2216–2227.
2. Akhtar I, Nazir N. (2013). Effect of waterlogging and drought stress in plants. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*. 2:34–40.
3. Álvarez S., Bañon S., Sánchez-Blanco M. J. (2013). Regulated deficit irrigation in different phenological stages of potted geranium plants: water consumption, water relations and ornamental quality. *Acta Physiologiae Plantarum*. 35:1257–1267.
4. Álvarez S., Navarro A., Bañon S., Sánchez-Blanco M. J. (2009). Regulated deficit irrigation in potted *Dianthus* plants: Effects of severe and moderate water stress on growth and physiological responses. *Scientia Horticulturae*. 122: 579–585.
5. Álvarez S., Sánchez-Blanco M.J. (2013). Changes in growth rate, root morphology and water use efficiency of potted *Callistemon citrinus* plants in response to different levels of water deficit. *Scientia Horticulturae*. 156: 54–62.
6. Álvarez S., Gómez-Bellot M.J., Acosta-Motosc J.R., Sánchez-Blanco M.J. (2019). Application of deficit irrigation in *Phillyrea angustifolia* for landscaping purposes. *Agricultural Water Management*. 218: 193-202.
7. Arbona V., Manzi M., de Ollas C., Gómez-Cadenas A. (2013). Metabolomics as a tool to investigate abiotic stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*. 14: 4885–911.
8. Asrar A.W.A., Elhindi K.M. (2011). Alleviation of drought stress of marigold (*Tagetes erecta*) plants by using arbuscular mycorrhizal fungi. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 18: 93–98.
9. Aussenac G., Guehl J.M., Kaushal P., Granier A., Grieu P.H. (1998). Critères physiologiques pour l' évaluation de la qualité des plants forestiers avant plantation [n°special]. *Revue Forestière Française*. 131- 149.
10. Baldini E., Facini O., Nerozzi F., Rossi F., Rotondi A. (1997). Leaf characteristics and optical properties of different woody species. *Trees*. 12: 73–81.
11. Barkat M.A., Abul H., Rahman M.A. (2017). Agricultural, pharmaceutical, and therapeutic interior of *Catharanthus roseus* (L.) G. Don. U: Naeem, M., Aftab, T., Khan, M. (ur.) *Catharanthus roseus*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-51620-2\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-51620-2_5) (pristupljeno 20. srpnja 2022.).
12. Bayer A. (2020). Effect of reduced irrigation on growth and flowering of coneflower and sneezeweed. *American Society for Horticultural Science*. 30: 315-321.
13. Bernacchia G., Furini A. (2004). Biochemical and molecular responses to water stress in resurrection plants. *Physiologia Plantarum*. 121:175–81.

14. Bertolino L.T., Caine R.S., Gray J.E. (2019). Impact of stomatal density and morphology on water-use efficiency in a changing world. *Frontiers of Plant Science*. [online] 10:225. doi: 10.3389/fpls.2019.00225 (pristupljeno 2. rujna 2022.)
15. Bhargava S., Sawant K. (2013). Drought stress adaptation: metabolic adjustment and regulation of gene expression. *Plant Breeding*. 132:21–32.
16. Bosabalidis, A.M., Kofidis, G. (2002). Comparative effects of drought stress on leaf anatomy of two olive cultivars. *Plant Science*. 163: 375–379.
17. Bray E.A. (2001). Plant response to water-deficit stress. *Encyclopedia of Life Sciences*. [online] 10.1002/9780470015902.a0001298.pub2. (pristupljeno 2. rujna 2022.)
18. Cameron R.W.F., Harrison-Murray R.S., Atkinson C.J., Judd H.L. (2006). Regulated deficit irrigation: a means to control growth in woody ornamentals. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 81:435–443.
19. Caser M., Lovisolo C., Scariot V. (2017). The influence of water stress on growth, ecophysiology and ornamental quality of potted *Primula vulgaris* 'Heidy' plants. New insights to increase water use efficiency in plant production. *Plant Growth Regulation*. 83: 361–373.
20. Chai Q., Yantai G., Zhao C., Xu H.-L., Waskom R.M., Niu Y., Siddique K.H.M. (2016). Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. [online] 36: 3. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0338-6> (pristupljeno 29.8.2022.)
21. Chylinski W.K., Łukaszewska A.J., Kutnik K. (2007). Drought response of two bedding plants. *Acta Physiologiae Plantarum*. 29:399–406.
22. Cicevan R., Al Hassan M., Sestras A.F., Prohens J., Vicente O., Sestras R.E., Boscaiu M. (2016). Screening for drought tolerance in cultivars of the ornamental genus *Tagetes* (Asteraceae). *PeerJ*. [online] 4:e2133. <https://doi.org/10.7717/peerj.2133> (pristupljeno 15.8.2022.)
23. Cirillo C., Caputo R., Raimondi G., De Pascale S. (2013). Irrigation management of ornamental shrubs under limited resources. *Acta Horticulturae*. 1037: 415-424.
24. Dai A. (2012). Drought under global warming: a review. *Climate Change*. 2:45–65.
25. Dobelis I.N. (1997). *Magic and medicine of plants*. The Reader's Digest Association. Pleasantville, YN.
26. Fang Y., Xiong L. (2015). General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. *Cellular and Molecular Life Sciences*. 72: 673–689.
27. Farooq M., Wahid A., Kobayashi N., Fujita D., Basra S.M.A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*. 29: 185–212.
28. Franco J. A., Bañón S., Vicente M. J., Miralles J., Martínez-Sánchez J. J. (2011) Root development in horticultural plants grown under abiotic stress conditions – a review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 86(6): 543-556.



29. Franco J.A., Martínez-Sánchez J.J., Fernández J.A., Bañón S. (2006). Selection and nursery production of ornamental plants for landscaping and xerogardening in semi-arid environments. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 81: 3–17.
30. Franks, P. J., and Beerling, D. J. (2009). Maximum leaf conductance driven by CO<sub>2</sub> effects on stomatal size and density over geologic time. *The Proceedings of the National Academy of Sciences*. 106: 10343–10347.
31. Franks, P. J., and Farquhar, G. D. (2007). The mechanical diversity of stomata and its significance in gas exchange control. *Plant Physiology*. 143: 78–97.
32. Gan Y., Siddique K.H.M., Turner N.C., Li X.-G., Niu J.-Y., Yang C., Liu L., Chai Q. (2013). Ridge-furrow mulching systems—an innovative technique for boosting crop productivity in semiarid rain-fed environments. *Advances in Agronomy*. 118:429–476.
33. Gilman E.F., Howe T. (2015). *Catharanthus roseus*. Periwinkle, Madagascar periwinkle, Vinca. Institute of Food and Agricultural Science Extension. Florida. [online] <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/FP/FP11200.pdf> (pristupljeno 27. srpnja 2022).
34. Gleick P. H., Palaniappan M. (2010). Peak water limits to freshwater withdrawal and use. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 107(25):11155-62.
35. Godfray H.C., Beddington J.R., Crute I.R., Haddad L., Lawrence D., Muir J.F., Pretty J., Robinson S., Thomas S.M., Toulmin C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*. 12;327(5967):812-8.
36. Goldhamer D.A., Beede R.H. (2004). Regulated deficit irrigation effects on yield, nut quality and water-use efficiency of mature pistachio trees. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 79:538–545.
37. Gómez-Bellot M.J., Álvarez S., Bañón S., Ortuño M.F., Sánchez-Blanco M. J. (2013). Physiological mechanisms involved in the recovery of euonymus and laurustinus subjected to saline waters. *Agricultural Water Management* 128: 131-139.
38. Granier C., Tardieu F. Water (1999). Deficit and spatial pattern of leaf development. variability in responses can be simulated using a simple model of leaf development. *Journal of Plant Physiology*. 119:609–620.
39. Grossmann, K. (1992). Plant growth retardants: Their mode of action and benefit for physiological research. U: Karssen, C.M., van Loon, L.C., Vreugdenhil, D. (ur.) *Progress in Plant Growth Regulation. Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture* 13. Springer, Dordrecht.
40. Guerfel M., Baccouri O., Boujnah D., Chai`bi W., Zarrouk M. (2009). Impacts of water stress on gas exchange, water relations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*. 119: 257–263.
41. Guo Y., Starman T., Hall C. (2018). Reducing substrate moisture content (SMC) during greenhouse production and postproduction of angelonia and heliotrope improves crop quality and economic value. *Hortscience*. 53(7):1006–1011.
42. Gurevitch J., Scheiner S.M., Fox G. A. (2002). *The Ecology of Plants*. Oxford University Press. United Kingdom.

43. Henson D. Y., Newman S. E., Hartley D. E. (2006). Performance of selected herbaceous annual ornamentals grown at decreasing levels of irrigation. *American Society for Horticultural Science*. 41(6): 1481-1486.
44. Herwig R. (1979). *Sobno i vrtno cvijeće*. Grafički zavod Hrvatske. Zagreb. 53-54
45. Hilaire R. S., Arnold M. A., Wilkerson D. C., Devitt D. A., Hurd B. H., Lesikar B. J., Lohr V. I., Martin C. A., McDonald G. V., Morris R. L., Pittenger D. R., Shaw D. A., Zoldoske D. F. (2008). Efficient water use in residential urban landscapes *Horticultural Science*. 43(7): 2081-2092.
46. Hossain M. A., Wani S. H., Bhattacharjee S., Burritt D. J., Phan Tran L.-S. (2016). *Drought stress tolerance in plants*, Vol 1. Springer International Publishing. Switzerland.
47. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Zemlja. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. [online] <<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=67110>>. Pristupljeno 14. kolovoza 2022.
48. Jafari S., Garmdareh S. E. H., Azadegan B. (2019). Effects of drought stress on morphological, physiological, and biochemical characteristics of stock plant (*Matthiola incana* L.). *Scientia Horticulturae*. 254: 128- 133.
49. Jaleel A. C., Manivannan P., Lakshmanan G.M.A., Gomathinayagam M., Panneerselvam R. (2008). Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of *Catharanthus roseus* under soil water deficits. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 61(2):298-303.
50. Jaleel C.A., Manivannan P., Wahid A., Farooq M., Somasundaram R., Panneerselvam R. (2009). Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology*. 11:100–5.
51. Junttila S., Vastaranta M., Liang X., Kaartinen A. K., Kaasalainen S., Holopainen M., Hyyppä H., Hyyppä J. (2016). Measuring leaf water content with dual-wavelength intensity data from terrestrial laser scanners. *Remote Sensing of Environment*. [online] 9(1), 8; <https://doi.org/10.3390/rs9010008> (pristupljeno: 1.7.2022.).
52. Karabourniotis G., Bornman J., (1999). Penetration of UV-A, UV-B and blue light through the leaf trichome layers of two xeromorphic plants, olive and oak, measured by optical fibre microprobes. *Physiologia Plantarum*. 105: 655–661.
53. Keyvan S. (2010). The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars. *The Journal of Animal and Plant Sciences*. 8: 1051- 1060.
54. Kiani S.P., Maury P., Sarrafi A., Grieu P. (2008). QTL analysis of chlorophyll fluorescence parameters in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under well-watered and water stressed conditions. *Plant Science*. 175: 565–573.
55. Kjelgren R., Rupp L., Kilgren D. (2000). Water conservation in urban landscapes. *Horticultural Science*. 35(6): 1037-1040.

56. Koch G., Rolland G., Dauzat M., Bédiée A., Baldazzi V., Bertin N., Guédon Y., Granier C. (2019). Leaf production and expansion: a generalized response to drought stresses from cells to whole leaf biomass—a case study in the tomato compound leaf. *Plants (Basel)*. [online] 8(10):409. doi: 10.3390/plants8100409 (pristupljeno: 2. rujna 2022.)
57. Kohlmuzer S. (1968). Alkaloids of *Catharanthus roseus* (L.) G. Don a new group of biologically active compounds. *Postepy Biochemii*. 14 (2):209–232.
58. Lacher W. (2010). *Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups*, 4th edition. Springer. Berlin, Heidelberg.
59. Larcher W. (1995). *Physiological Plant Ecology*. Springer-Verlag. Berlin. 506 pp.
60. Lazarević B., Poljak M. (2019). *Fiziologija bilja*. Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet. Zagreb.
61. Lea-Cox J. D., Ross D.S. (2001). A review of the federal clean water act and the maryland water quality improvement act: the rationale for developing a water and nutrient management planning process for container nursery and greenhouse operations. *Journal of Environmental Horticulture*. 19 (4): 226–229.
62. Lecoœur J., Wery J., Turc O., Tardieu F. (1995). Expansion of pea leaves subjected to short water deficit: cell number and cell size are sensitive to stress at different periods of leaf development. *Journal of Experimental Botany*. 46:1093–1101.
63. Liu F., Shahnazari A., Andersen M.N., Jacobsen S.E., Jensen C.R. (2006). Effects of deficit irrigation (DI) and partial root drying (PRD) on gas exchange, biomass partitioning, and water use efficiency in potato. *Scientia Horticulturae*. 109:113–117.
64. Lockett L., Montague T., McKenney C., Auld D. (2002). Assessing public opinion on water conservation and water conserving landscapes in the semiarid southwestern United States, publication of the American Society for Horticultural Science. 12(3): 392-396.
65. Martinez, D. and J. Guiamet. 2004. Distortion of the SPAD 502 chlorophyll meter readings by changes in irradiance and leaf water status. *Agronomie*. 24:41–46.
66. Medeiros D. B., da Silva E. C., Bentzen Santos H. R., Pacheco C. M. (2012). Physiological and biochemical responses to drought stress in Barbados cherry. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 24(3):181-192.
67. Nau J., Calkins B., Westbrook A. (2021). *Ball Redbook - Crop Culture and Production*. Ball Publishing. West Chicago, Illinois. 1363- 1367
68. Navarro A., Álvarez S., Castillo M., Bañón S., Sánchez-Blanco M.J. (2009). Changes in tissue-water relations, photosynthetic activity, and growth of *Myrtus communis* plants in response to different conditions of water availability. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 84: 541–547.
69. Nazemi Rafi Z., Kazemi F., Tehranifar A. (2019). Effects of various irrigation regimes on water use efficiency and visual quality of some ornamental herbaceous plants in the field. *Agricultural Water Management*. 212: 78-87

70. Nejat N., Valdiani A., Cahill D., Tan Y.-H., Maziah M., Abiri R. (2015). Ornamental exterior versus therapeutic interior of madagascar periwinkle (*Catharanthus roseus*): the two faces of a versatile herb. *The Scientific World Journal*. [online] <https://doi.org/10.1155/2015/982412> (pristupljeno 20. srpnja 2022.)
71. Nezhadahmadi A., Hossain Prodhan Z., Faruq G. (2013). Drought tolerance in wheat. *The Scientific World Journal*. 2013:1–12.
72. Nikolić T. (2017). *Morfologija biljaka*. Alfa d.d. Zagreb.
73. Oraee A., Tehranifar A. (2020). Evaluating the potential drought tolerance of pansy through its physiological and biochemical responses to drought and recovery periods. *Scientia Horticulturae*. [online] 265: 109225. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109225>. (pristupljeno 20. srpnja 2022.)
74. Pandey S. (2017). *Catharanthus roseus*: cultivation under stress conditions. U: Naeem, M., Aftab, T., Khan, M. (ur.) *Catharanthus roseus*. Springer, Cham. [online] [https://doi.org/10.1007/978-3-319-51620-2\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-319-51620-2_17) (pristupljeno 20. srpnja 2022.)
75. Pevalek-Kozlina, B. (2003). *Fiziologija bilja*. Sveučilište u Zagrebu. Profil. Zagreb.
76. Ruiz-Sánchez M.C., Domingo R., Torrecillas A., Pérez Pastor A. (2000). Water stress preconditioning to improve drought resistance in young apricot plants. *Plant Science*. 156: 245–251.
77. Salehi-Lisar S.Y., Motafakkerazad R., Hossain M.M., Rahman I.M.M. (2012). Water stress in plants: causes, effects and responses.. U: Ismail Md. Mofi zur Rahman (ur.). *Water stress*, InTech, Rijeka.
78. Salehi-Lisar, S.Y., Bakhshayeshan-Agdam, H. (2016). Drought stress in plants: causes, consequences, and tolerance. U: Hossain, M., Wani, S., Bhattacharjee, S., Burritt, D., Tran, L.S. (ur.) *Drought Stress Tolerance in Plants*, Vol. 1. Springer International Publishing, Switzerland.
79. Sánchez-Blanco M. J., Ortuño M. F., Bañón S., Álvarez S. (2019). Deficit irrigation as a strategy to control growth in ornamental plants and enhance their ability to adapt to drought conditions. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 94: 1- 14.
80. Sánchez-Blanco M.J., Álvarez S., Navarro A., Bañón S. (2009). Changes in leaf water relations, gas exchange, growth and flowering quality in potted geranium plants irrigated with different water regimes. *Journal of Plant Physiology*. 166: 467–476.
81. Sánchez-Blanco M.J., Ferrández T., Navarro A., Bañón S., Alarcón J.J. (2004). Effects of irrigation and air humidity preconditioning on water relations, growth and survival of *Rosmarinus officinalis* plants during and after transplanting. *Journal of Plant Physiology*. 161: 1133–1142.
82. Sapeta H., Costa M., Lourenc T., Marocod J., Van der Linde P., Oliveiraa M.M. (2013). Drought stress response in *Jatropha curcas* : growth and physiology. *Environmental and Experimental Botany*. 85:76–84.
83. Save´ R., Biel C., de Herralde F., (2000). Leaf pubescence, water relations and chlorophyll fluorescence in two subspecies of *Lotus creticus* L. *Plant Biology*. 43: 239–244.

84. Schiermeier Q. (2014). The parched planet: water on tap. *Nature*. 510:326–328.
85. Sharp, R.G., Else, M.A., Cameron, R.W., Davies, W.J. (2009). Water deficits promote flowering in *Rhododendron* via regulation of pre and post initiation development. *Scientia Horticulturae*. 120: 511–517.
86. Siddique K.H.M., Bramley H. (2014). Water deficits: development. *Encyclopedia of Natural Resources* 1–4. [online] doi:10.1081/E-ENRL-120049220.
87. Simović, V. (2002). *Leksikon građevinarstva*. Masmedia, Zagreb, 920.
88. Skirycz A., Inze D. (2010). More from less: plant growth under limited water. *Current Opinion in Biotechnology*. 21:197–203.
89. Souza P. U., Lima L. K. S., Soares T. L., Onildo N. De J., Coelho Filho M. A., Girardi E. (2018). Biometric, physiological and anatomical responses of *Passiflora* spp. to controlled water deficit. *Scientia Horticulturae*. 229: 77-90.
90. Sun H., Kopp K., Kjelgren R. (2012). Water-efficient urban landscapes: integrating different water use categorizations and plant types. *American Society for Horticultural Science*. 47(2): 254-263.
91. Sweatt M.R., Davies Jr. F.T.(1984). Mycorrhizae, water relations, growth, and nutrient uptake of geranium grown under moderately high phosphorus regimes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 109(2):210–3.
92. Taiz L., Zeiger E. (2003). *Plant Physiology*. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
93. Taiz L., Zeiger E., Møller I. M., Murphy A. (2015). *Plant Physiology and Development*. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
94. Tardieu F., Granier C., Muller B. (2011). Water deficit and growth. Coordinating processes without an orchestrator? *Current Opinion in Plant Biology*. 14:283–289.
95. Toscano S., Ferrante A., Romano D. (2019). Response of mediterranean ornamental plants to drought stress. *Horticulturae*. [online] 5(1):6. DOI:10.3390/horticulturae5010006
96. Toscano S., Ferrante A., Tribulato A., Romano D. (2018). Leaf physiological and anatomical responses of *Lantana* and *Ligustrum* species under different water availability. *Plant Physiology and Biochemistry*. 127:380-392.
97. Toscano S., Romano D. (2021). Morphological, physiological, and biochemical responses of *Zinnia* to drought stress. *Horticulturae*. [online] 7: 362. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7100362> (pristupljeno 14. srpnja 2022.)
98. Tribulato A., Toscano S., Di Lorenzo V., Romano D. (2019). Effects of water stress on gas exchange, water relations and leaf structure in two ornamental shrubs in the mediterranean area. *Agronomy*. [online] 9(7): 381 <https://doi.org/10.3390/agronomy9070381> (pristupljeno 29. lipnja 2022.).
99. Turner N.C., Wright G.C., Siddique K. (2001). Adaptation of grain legumes (pulses) to water-limited environments. *Advances in Agronomy*. 71:194–233.

100. Varone L., Ribas-Carbo M., C., Gallé A., Medrano H., Gratani L., Flexas J. (2012). Stomatal and non-stomatal limitations to photosynthesis in seedlings and saplings of Mediterranean species pre-conditioned and aged in nurseries: Different response to water stress. *Environmental and Experimental Botany*. 75: 235-247.
101. Walts L. R. (2004). *The Herbal Encyclopedia, a Practical Guide to the Many Uses of Herbs*. I Universe. Lincoln.
102. Welsh D.F., Welch W.C., Duple R.L. (2007). *Xeriscape. Landscape Water Conservation*. Texas Farmer Collection
103. Zare M., Azizi M.H., Bazrafshan F. (2011). Effect of drought stress on some agronomic traits in ten barley ( *Hordeum vulgare* ) cultivars. *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*. 1:57–62.
104. Zhen S., Burnett S. (2015). Effects of substrate volumetric water content on English Lavender morphology and photosynthesis. *HortScience: a publication of the American Society for Horticultural Science*. 50: 909- 915.
105. Zollinger N., Kjelgren R. K., Cerny-Koenig T., Kopp K., Koenig R. (2006). Drought responses of six ornamental herbaceous perennials. *Center for Water Efficient Landscaping Publications*. 109: 267- 274.
106. Zovko M., Žibrat U., Knapič M., Bubalo kovačić M., Romić D. (2019). Hyperspectral remote sensing of grapevine drought stress. *Precision Agriculture*. [online] <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09640-2> (pristupljeno: 1. kolovoza 2022.)

## **Životopis autora**

Lucija Erceg rođena je 17.05.1998. godine u Zagrebu. Godine 2013. završava osnovnu školu i upisuje srednju IX. Gimnaziju u Zagrebu. Istovremeno pohađa i srednju glazbenu školu u Glazbenom učilištu Elly Bašić. Nakon završetka srednje škole 2017. godine, upisuje Agronomski fakultet u Zagrebu, smjer Hortikultura koji završava 2020. godine te postaje sveučilišna prvostupnica inženjerka hortikulture (bacc. ing. hort.). Godine 2020. na Agronomskom fakultetu u Zagrebu upisuje diplomski studij Hortikultura- Ukrasno bilje.