

# Multispektralne analize u procjeni stresa suše kod graha

---

**Milakara, Mia**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2020**

*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:204:772817>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-02**



*Repository / Repozitorij:*

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





Sveučilište u Zagrebu  
Agronomski fakultet

University of Zagreb  
Faculty of Agriculture



# **MULTISPEKTRALNE ANALIZE U PROCJENI STRESA SUŠE KOD GRAHA**

DIPLOMSKI RAD

MIA MILAKARA

Zagreb, rujan, 2020.



Sveučilište u Zagrebu  
Agronomski fakultet

University of Zagreb  
Faculty of Agriculture



Diplomski studij:  
Agroekologija

# **MULTISPEKTRALNE ANALIZE U PROCJENI STRESA SUŠE KOD GRAHA**

DIPLOMSKI RAD

MIA MILAKARA

Mentor: Doc. dr. sc. Boris Lazarević

Neposredni voditelj: Ana Nimac, mag.ing.agr.

Zagreb, rujan 2020



## IZJAVA STUDENTA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, **Mia Milakara**, JMBAG 0178104436, rođena 07.10.1996. u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradila diplomski rad pod naslovom:

### MULTISPEKTRALNE ANALIZE U PROCJENI STRESA SUŠE KOD GRAHA

Svojim potpisom jamčim:

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

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

\_\_\_\_\_  
*Potpis studentice*



## IZVJEŠĆE

### O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studentice **Mia Milakara**, JMBAG 0178104436, naslova

#### MULTISPEKTRALNE ANALIZE U PROCJENI STRESA SUŠE KOD GRAHA

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

Povjerenstvo:

potpisi:

- |    |  |        |       |
|----|--|--------|-------|
| 1. | Doc. dr. sc. Boris Lazarević               | mentor | _____ |
| 2. | Izv. prof. dr. sc. Klaudija Carović-Stanko | član   | _____ |
| 3. | Doc. dr. sc. Hrvoje Kutnjak                | član   | _____ |

## Sažetak

Grah (*Phaseolus vulgaris* L.) jedna je od najčešće uzgajanih mahunarki u svijetu čija je proizvodnja često izložena negativnom utjecaju suše.

Cilj ovog rada bio je utvrditi pogodnost multispektralnih analiza, odnosno vegetacijskih indeksa u detekciji stresa suše kod graha. U pokusu su korištena dva tretmana: 1. kontrolna otopina i 2. otopina s dodatkom polietilen glikola (PEG) kojom je stimulira stres suše. Korišteno je 5 tradicijskih kultivara graha ('Biser', 'Puter', 'Tetovac', 'Trešnjevac', 'Zelenčec'), od čega je u svakom tretmanu uzgajano po 5 biljaka. Šesti dan od primjene tretmana biljke su skenirane multispektralnim 3D skenerom za biljke. Analizirao se intenzitet refleksije elektromagnetnog zračenja u vidljivom dijelu spektra (crveni, plavi i zeleni), blisko infracrveno (NIR) i daleko crveno (FR). Na temelju tih podataka, izračunati su vegetacijski indeksi poput indeksa klorofila, indeksa antocijana i normaliziranog diferencijalnog vegetacijskog indeksa.

Značajne razlike utvrđene su između tretmana suše i kontrole za sve mjerene parametre osim za intenzitet refleksije elektromagnetskog zračenja u crvenom dijelu spektra. Dobiveni rezultati ukazuju na pogodnost korištenja multispektralnih analiza u procjeni stresa suše kod graha.

**Ključne riječi:** suša, grah, multispektralne analize, vegetacijski indeksi

## Summary

Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is one of the most commonly grown legumes worldwide, whose production is often exposed to the negative effects of drought. The aim of this study was to determine the suitability of multispectral analysis, i.e. vegetation indices in the detection of drought stress in common bean. Two treatments were used in this experiment: 1. control solution and 2. solution with the addition of polyethylene glycol (PEG) which stimulates drought stress. 5 common bean landraces were used ('Biser', 'Puter', 'Tetovac', 'Trešnjevac', 'Zelenčec'), of which 5 plants were grown in each treatment. On the sixth day after application of the treatment, the plants were scanned with a multispectral 3D plant scanner. The intensity of reflection of electromagnetic radiation in the visible part of the spectrum (red, blue and green), near infrared (NIR) and far red (FR) were analysed. Based on these data, vegetation indices such as chlorophyll index, anthocyanin index and normalized differential vegetation index were calculated. Significant differences were found between drought treatment and control for all measured parameters except for the intensity of electromagnetic radiation reflection in the red part of the spectrum. The obtained results indicate the suitability of using multispectral analysis in the assessment of drought stress in beans.

**Key words:** drought, common bean, multispectral analysis, vegetation indices

# Sadržaj

1. Uvod.....	1
1.1. Cilj rada.....	2
2. Pregled literature .....	3
2.1. Morfološke karakteristike i biološka svojstva graha.....	3
2.2. Stres suše i utjecaj na rast i razvoj.....	3
2.2.1. Fiziologija otpornosti na stres suše.....	7
3.1. Vegetacijski indeksi.....	12
3.1.1. Normalizirani diferencijalni vegetacijski indeks (NDVI) .....	12
3.1.2. Indeks antocijana.....	13
3.1.3 Indeks klorofila .....	13
4. Materijali i metode .....	14
4.1. Statistička obrada podataka.....	15
5. Rezultati i rasprava.....	16
Životopis .....	28



## 1. Uvod

Grah je biljna vrsta prilagodljiva klimatskim uvjetima zbog čega je njegov uzgoj široko rasprostranjen u svijetu (Vidak, 2016).

Produktivnost graha je, kao i velikog broja drugih poljoprivrednih kultura, u najvećoj mjeri ograničena utjecajem stresa suše (Bebee i sur., 2011).

Negativni utjecaj suše najviše se očituje u nemogućnosti usvajanja potrebne količine vode i hranjiva, što utječe na fotosintezu (Vukadinović, 2018). Različite biljne vrste i kultivari daju različit odgovor na stres suše (Viljevac, 2012).

Osnovni mehanizmi koji biljkama omogućuju toleriranje nedostatka vode su: smanjenje lisne površine, odbacivanje lišća, zatvaranje puči, osmotska prilagodba, zadebljanje kutikule i pojačan rast korijena (Lazarević i Poljak, 2019).

Multispektralne analize su moderne tehnike koje omogućuju jednostavniju i bržu procjenu utjecaja stresa suše na određene fiziološke procese. Temelje se na analizama spektralnog sustava elektromagnetskog zračenja reflektiranog s biljne površine (Wang i sur., 2018). Iz njih se izvode vegetacijski indeksi, kao na primjer normalizirani indeks razlike vegetacije i dr., koji omogućuju procjenu fizioloških odgovora biljaka na stresne čimbenike. Obzirom da određene valne duljine reflektirane s površine lista ovise o tipu stresa te biljnoj vrsti, sve multispektralne analize i vegetacijski indeksi nisu jednako osjetljivi i primjereni za utvrđivanje različitih vrsta stresa kod različitih kultura (Ollinger, 2010). Korištenjem dronova, multispektralnih skenera, helikoptera, ove tehnike pogodne su za fenotipizaciju biljaka na većim površinama te manjeg broja biljaka u zaštićenim prostorima (Wang i sur., 2018). Glavni nedostatak ovakvih metoda su još uvijek visoke cijene multispektralnih kamera što onemogućava njihovu široku primjenu (Li i sur., 2014).

## **1.1. Cilj rada**

Cilj rada je utvrditi pogodnost multispektralnih analiza, odnosno vegetacijskih indeksa u detekciji stresa suše kod graha.

## **2. Pregled literature**

### **2.1. Morfološke karakteristike i biološka svojstva graha**

Grah je jednogodišnja zeljasta biljka iz porodice Fabaceae. Kratkog je korijena koji je raširen u površinskom dijelu tla, kratke stabljike i leptirastih cvjetova, a plod je mahuna (Lešić i sur., 2004). Grah se dijeli na grah mahunar i grah zrnaš, a razlikuju se u sadržaju celuloze u mahuni, pri čemu se u unutrašnjosti mahune zrnaša nalaze celulozne niti u šavovima te pergamentni sloj koji omogućuje pucanje (Rajnović, 2017).

Prema istraživanju Miočinović (2019) postoje velike morfološke razlike između raličitih morfotipova graha uzgajanih u Hrvatskoj. Tradicijski kultivari graha se prema obliku, boji i mozaiku sjemena dijele na 7 najčešće uzgajanih morfotipova, a to su: Trešnjevac, Biser, Zelenčec, Puter, Tetovac, Kukuruzar i miješana skupina u koju pripadaju manje zastupljeni morfotipovi (Palčić i sur., 2018).

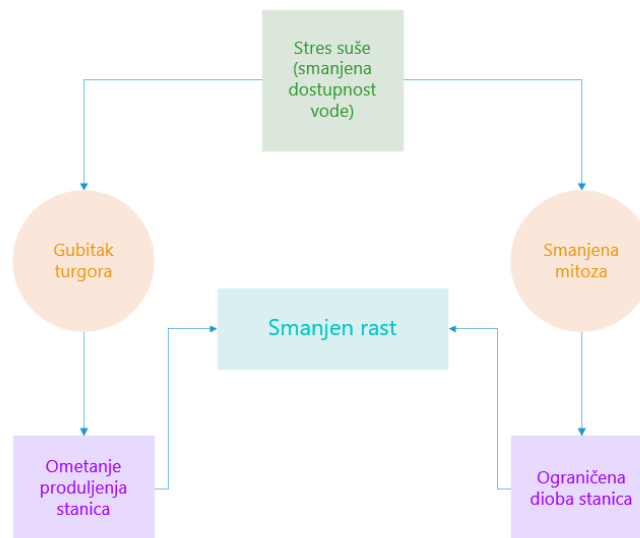
Grah ima značajnu hranidbenu i zdravstvenu vrijednost. Sjeme graha sadrži bjelančevine, bogato je esencijalnim aminokiselinama, a osnovni dio sjemena čine ugljikohidrati. Plod je bogat vlaknima, mineralima i vitaminima zbog čega je česta namirnica u ljudskoj prehrani (Vidak, 2016).

### **2.2. Stres suše i utjecaj na rast i razvoj**

U velikom broju zemalja, proizvodnja graha često je izložena negativnom utjecaju suše što direktno utječe na smanjene prinosa (Beebe i sur., 2011). Prema Farooq i sur. (2009) zbog limitiranosti vodnih resursa, različitoj raspodjeli oborina u tlu te sposobnosti skladištenja vode u tlu, intenzitet suše je nepredvidiva, različiti kultivari graha pokazuju različitu osjetljivost na sušu (Frahm i sur., 2004). Zbog usvajanja nedovoljne količine vode i otopljenih negativan utjecaj suše izaziva poremećaj u procesu fotosinteze i raspodjele asimilata unutar biljke (Vukadinović, 2018).

Najveće ograničenje u poljoprivredi uzrokuju abiotički faktori, čemu posebno pogoduju sve snažnije klimatske promjene (Beebe i sur., 2011). Visoka temperatura i suša su dva najčešća abiotička stresa koja uzrokuju biokemijske i fiziološke poremećaje (Kim i sur., 2019). Česta je pojava oba stresa istovremeno, što dovodi do poremećaja rasta i pada kvalitete prinosa (Vukadinović, 2018).

Na slici 1 opisani su mogući mehanizmi smanjenja rasta uzrokovanih sušom. Kod stresa uzrokovanog sušom produženje stanica u višim biljkama inhibirano je smanjenim tlakom turgora. Smanjen sadržaj vode u tkivu posljedica je smanjenog unosa vode. Rezultat toga je nestajanje turgora. Također, suša smanjuje fotoasimilaciju i metabolite potrebne za dijeljenje stanica. Posljedično dolazi do smanjenja mitoze, produženja stanica i širenja što na kraju dovodi do smanjenog rasta (Farooq i sur., 2009).



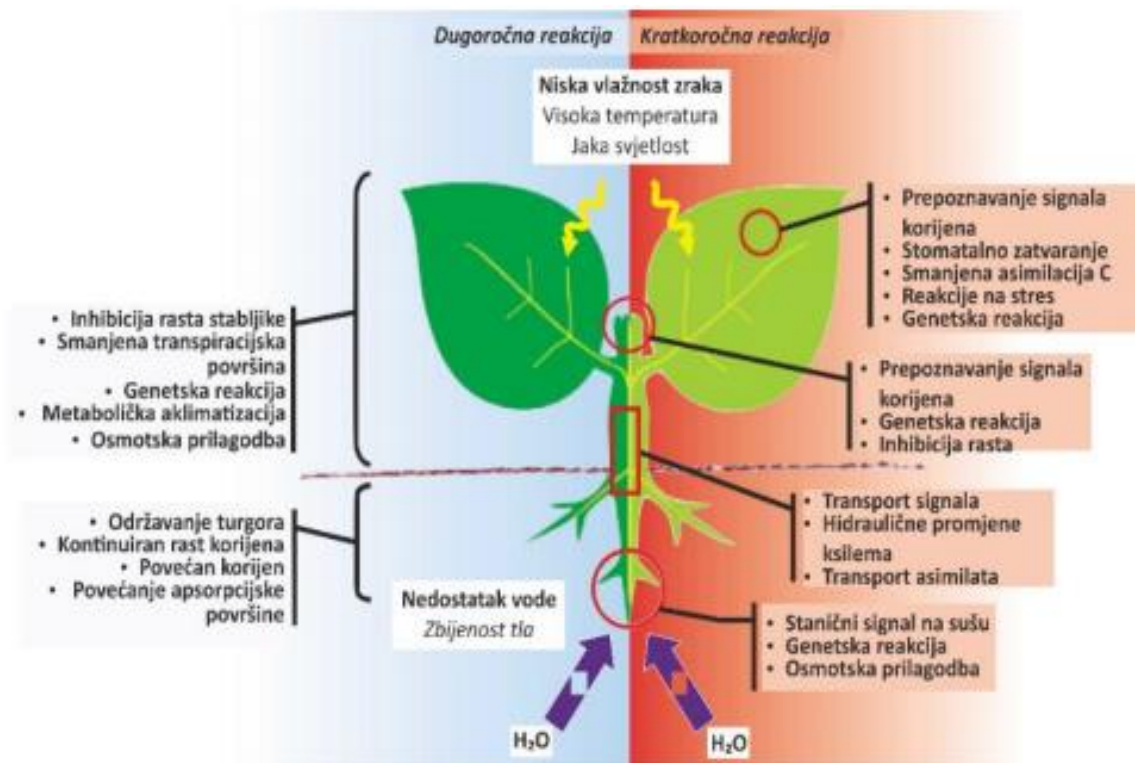
Slika 1. Mehanizmi smanjenja rasta uzrokovanih sušom

Izvor: prilagođeno iz Farooq i sur., 2009.

Stanični rast jedan je od najosjetljivijih fizioloških procesa na sušu, koji nastaje slabljenjem turgora (Taiz i Zeiger, 2006). Smanjena mitozna i poremećaj u rastu stanica rezultiraju smanjenom visinom biljke, površinom listova i rastom usjeva pod utjecajem suše (Hussain i sur., 2008). Kod mnogih vrsta usjeva zabilježeno je smanjenje prinosa uzrokovano sušom, što ovisi o težini i trajanju stresnog razdoblja. Prema istraživanju Farooq i sur. (2009), najveće smanjenje prinosa kod riže u reproduktivnoj fazi pri izloženosti visokoj razini stresa suše iznosilo je 48-94%, a najmanje kod rajčice (13%), što ukazuje na to kako različite biljne vrste i kultivari iste vrste različito reagiraju na stres suše. Prvenstveno se manifestira promjenama u fiziološkim procesima kako bi se biljne vrste mogle nositi sa značajnim učincima sušnog stresa.

Gebeyehu (2006) navodi usporeni rast kao svojstvo prilagodbe za opstanak u uvjetima stresa. Navodi kako ona omogućava biljkama da asimilaju i energiju, koju inače koriste za rast izbojka, usmjere u zaštitne molekule za borbu protiv stresa i/ili za održavanje rasta korijena, poboljšavajući nakupljanje vode.

Ukoliko se javi manji nedostatak vode tokom duljeg perioda, tada dolazi do adaptacije (prilagodbe) biljaka na sušu, tzv. kaljenje, ovisno o biljnoj vrsti i stabilnosti tilakoidnog membranskog sustava u kloroplastima (Vukadinović. 2018). Prema Vukadinoviću (2018) pritvaranje puči i smanjenje intenziteta transpiracije, pad vodnog potencijala biljnih tkiva, smanjena fotosinteza te na kraju inhibicija rasta, rezultat su vodnog stresa. Dolazi do nagomilavanja abscizinske kiseline (ABA), prolina, manitola, sorbitola, dolazi do formiranja „spojeva hvatača“ slobodnih radikala, odnosno antioksidanti te se povećava sinteza proteina i mRNA. Također, odvijaju se promjene na membranama lipida kao i narušavanje membranske regulacije transporta tvari i vode. Navedene fiziološke promjene na kraju rezultiraju i morfološkim promjenama, tj. izgledom biljaka (Slika 2), (Vukadinović, 2018).



Slika 2. Opća shema mehanizma otpornosti biljaka na sušu

Izvor: Vukadinović, 2018

### 2.2.1. Fiziologija otpornosti na stres suše

Fotosinteza je glavni proces odgovoran za akumulaciju suhe tvari i posljedično utječe na rast i razvoj biljaka, koji su pod utjecajem okoliša. Kod običnog graha, suša u svojoj početnoj fazi ograničava fotosintezu zbog stomatalnog pritvaranja puči (Gebeyehu, 2006). Pritvaranjem puči sprečava se dodatni gubitak vode transpiracijom. Stomatalna kontrola predstavlja jedan od glavnih mehanizama prilagođavanja vodenom stresu kod graha (Gebeyehu, 2006).

Zbog nedostatka vode dolazi do usporavanja rasta biljaka, što rezultira smanjenom površinom fotosintetski aktivne površine lista. Zbog nedostatka vode dolazi do smanjenja vodenog potencijala rastuće biljke, što dovodi do dehidracije. Dolazi do mijenjanja klorofilne fluorescencije, fotoinhibicije fotosistema II (PSII) i koncentracije enzima Rubisco. Vodeni stres uzrokuje značajno smanjenje sadržaja fotosintetskih pigmenata, proteina i lipida (Athar i Ashraf, 2004).

Otpornost na sušu predstavlja sposobnost adaptacije biljaka koje im omogućuju izbjeći ili tolerirati sušni stres (Vukadinović, 2018).

Lazarević i Poljak (2019) objasnili su osnovne mehanizme koji se javljaju kod biljaka i koji im omogućuju toleriranje nedostatka vode, a to su: smanjenje lisne površine, odbacivanje lišća, pritvaranje puči, osmotska prilagodba, zadebljanje kutikule te pojačan rast korijena.

#### 1. Smanjenje lisne površine

Smanjenje količine vode u biljkama dovodi do pada turgorskog tlaka u stanicama, a pad turgora uzrokuje smanjenje volumena stanica, povećanje koncentracije staničnog sadržaja te smanjenje napetosti i debljanje stanične membrane. Obzirom da je rast stanica pod utjecajem turgora, smanjenje turgora dovodi do smanjenog rasta stanica. Manja količina vode također utječe na smanjenje elastičnosti staničnih stijenki, a obzirom da to ima utjecaj na rast stanica, smanjen rast stanica dovodi do manje lisne površine.

#### 2. Odbacivanje lišća

Odbacivanje lišća ili abscizija je također jedna od posljedica nedostatka vode. Listovi brzo stare i otpadaju, jer dolazi do pojačane sinteze etilena koji uzrokuje otpadanje lišća.

### 3. Pritvaranje puči

Ovaj se mehanizam javlja u uvjetima intenzivne pojave stresa nastalog nedostatkom vode ili kada su biljke već razvile najveću moguću lisnu površinu. Pritvaranjem puči smanjuje se transpiracija pa se smanjuje gubitak vode. Promjena turgora u stanicama zapornicama regulira otvaranje i zatvaranje puči.

### 4. Osmotska prilagodba

Kako se smanjuje količina vode u tlu tako dolazi i do pada vodnog potencijala tla. Dok je vodni potencijal stanica korijena manji od vodnog potencijala tla, biljke mogu primati vodu. Osmotska prilagodba je proces akumulacije otopljenih tvari u stanicama. Na taj način stanica smanjuje vodni potencijal, a da pritom ne dolazi do znatne promjene njenog volumena ili turgora. Kod osmotske prilagodbe dolazi do nakupljanja raznovrsnih organskih tvari, posebno šećera, aminokiselina, organskih kiselina te anorganskih aniona. Odvija se polako kroz nekoliko dana. Sposobnost održavanja turgora pri manjem vodnom potencijalu moguća je kod listova koji prolaze kroz proces osmotske prilagodbe, u usporedbi s listovima koji nisu prošli kroz proces osmotske prilagodbe. Obzirom da su normalan rast stanica i veća otvorenost puči kod nižeg vodenog potencijala omogućeni održavanjem turgora, može se zaključiti da je osmotska prilagodba proces prilagodbe.

### 5. Zadebljanje kutikule

Kutikula, voštana prevlaka iznad epidermalnih stanica, ima funkciju smanjenja gubitka vode. Kod nedostatka vode biljke uglavnom razvijaju deblju kutikulu, koja smanjuje ulazak  $\text{CO}_2$ , a fotosinteza uglavnom ostaje nepromijenjena, jer  $\text{CO}_2$  za fotosintezu ulazi u list putem puči. Debljina kutikule bitna je prilikom jače suše ili u slučaju da je kutikula oštećena, obzirom da kutikularna transpiracija predstavlja 5-10% od ukupne transpiracije.

### 6. Pojačani rast korijena

Na omjer mase nadzemnog dijela i korijena utječe ravnoteža primanja vode korijenom i fotosinteze nadzemnog dijela. Nadzemni organi rastu dokle god ih korijen snabdijeva zadovoljavajućom količinom vode i hraniva i obratno. Smanjenje lisne površine, uzrokovano nedostatkom vode, dovodi do manje potrošnje vode i energije te se zbog toga veća količina ugljikohidrata translocira u korijen što omogućuje njegov rast. Dužim trajanjem suše dolazi do isušivanja gornjih slojeva tla te zbog toga biljke počinju razvijati duže korijenje.



### 3. Multispektralne analize

Poboljšanje kapaciteta poljoprivredne proizvodnje izuzetno je važno za rastuću populaciju u 21. stoljeću. Kako bi se postigao taj cilj potrebno je modernizirati poljoprivredu, oslanjajući se na dinamičko praćenje, inteligentnu kontrolu i automatsku implementaciju (Sankaran i sur.,2015). Informacije o stanju rasta usjeva treba vizualizirati i kvantificirati kako bismo ponudili intuitivnije i standardizirane vrijednosti za upravljanje okolišem (Virlet i sur., 2014). Za otkrivanje fiziološkog statusa biljaka primjenjuju se razne tehnologije i njihove kombinacije, kao što su snimanje klorofilne fluorescencije, multispektralno snimanje, termičko snimanje i terahertz tehnika (Wang i sur., 2018).

Određivanje fotosintetskih pigmenata jedna je od najčešće korištenih analiza u fiziologiji bilja i biljnoj ekologiji. Fotosintetski pigmenti reguliraju prijenos energije elektromagnetskog zračenja u listovima i na taj način mijenjaju optička svojstva lista poput refleksije svjetlosti ili propusnosti za svjetlost. Zbog toga mogu biti korisni za daljinsko ispitivanje fiziologije biljaka te fotosintetske sposobnosti. Daljinsko istraživanje ima široku primjenu za procjenu sadržaja klorofila u morskim ekosustavima, dok je vrlo malo aplikacija razvijeno za kopnene ekosustave (Penuelas i sur., 1995).

Suša je postala jedan od glavnih izazova u globalnoj poljoprivrednoj proizvodnji i sigurnosti hrane (He i sur., 2019). Reakcije biljaka na stres izazvan sušom su složene zbog različitih mehanizama otpornosti na stres i tolerancije za održavanje rasta. Tradicionalne metode fenotipizacije biljaka su zahtjevne, dugotrajne i subjektivne. Upravo zbog navedenih osobina tradicionalnih metoda, multispektralna snimanja pokazala su se učinkovita za rano otkrivanje reakcije biljaka na sušu (Yao i sur, 2018).

Fenotipske osobine biljaka, povezane s morfološkim i fiziološkim svojstvima, mjere se kako bi se mogla procijeniti produktivnost biljke pod utjecajem različitih stresova (Yao i sur.,2018).

Korištenje multispektralnih analiza s ciljem fenotipizacije biljaka proizlazi iz daljinskih istraživanja vegetacije. Refleksija pojedinačnog lista ili ukupne površine listova je posebno niska u vidljivom dijelu spektra od 400 nm do 700 nm (Slika 3). Niska refleksija je rezultat apsorpcije pigmenata u listovima, prvenstveno klorofila koji ima specifičan vrh refleksije u zelenom području od oko 550 nm. Do naglog povećanja

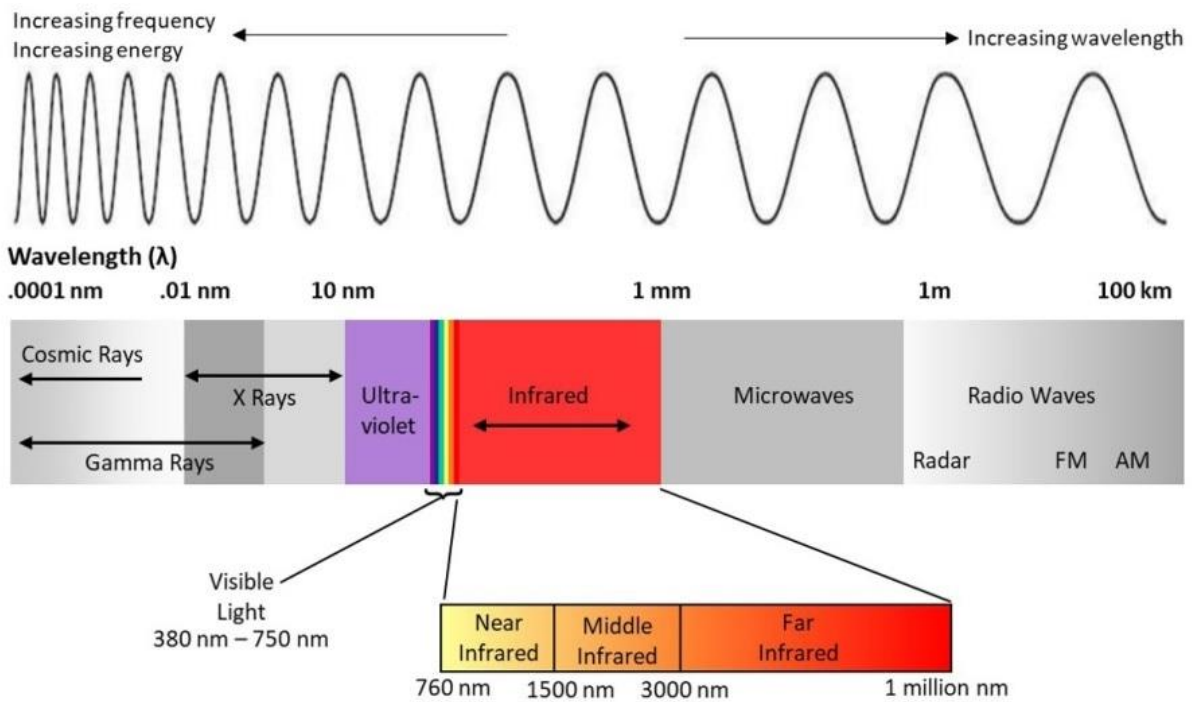
refleksije dolazi kod prijelaza od vidljive do blizu infracrvene (*near infrared*; NIR) svjetlosti. Near infrared ili skraćeno NIR obuhvaća valne duljine od 700 nm do 1200 nm. NIR zračenje može se prenositi s viših listova biljke na niže listove. Zbog toga je arhitektura listova, kao što su rast i debljina lista, glavne odrednice refleksije u ovom dijelu spektra. Postupnim povećavanjem valnih duljina do 2500 nm, dolazi do postepenog smanjivanja refleksije. Uzrok tome je povećanje apsorpcije vode prisutne u listovima (Li i sur., 2014).

Podaci o spektralnoj refleksiji lista koriste se za izračunavanje vegetacijskih indeksa. Vegetacijski indeksi uglavnom se računaju jednostavnim formulama kao što su omjeri i razlike među podacima spektralne refleksije pri određenim valnim duljinama. To je omogućilo razvoj normaliziranog diferencijalnog vegetacijskog indeksa (NDVI) i velikog raspona povezanih indeksa. Vegetacijski indeksi su uglavnom povezani s različitim biljnim karakteristikama kao što su fotosintetski aktivna biomasa, sadržaj pigmenta te vodni status (Ollinger, 2010).

Spektralna refleksija biljaka oslanja se na razvoj kalibracijskih modela koji povezuju spektralne informacije i referentne podatke. Spektralna mjerenja mogu se obavljati multispektralnim ili hiperspektralnim kamerama koje imaju sposobnost snimanja u velikoj rezoluciji (Li i sur., 2014).

Kod fenotipizacije biljaka, spektralni indeksi refleksije koriste se za brza, nedestruktivna mjerenja biomase, sadržaja klorofila, starenja listova te statusa vode u biljkama. Često se niz vegetacijskih indeksa izvodi iz jednostavnih razlika između vrijednosti refleksije dvije valne duljine. Nekoliko je indeksa uvedeno u terenskim istraživanjima i programima uzgoja za fenotipiziranje većih biljnih površina i dinamičke procjene biomase. Za procjenu sadržaja vode u krošnjama, multispektralna i hiperspektralna mjerenja imaju široku primjenu (Li i sur., 2014).

Cabrera i sur. (2010), su koristili NIR spektroskopiju za precizno predviđanje genotipskih razlika u zrnu i lisnom pepelu te dušik u kukuruzu uzgojenom pri različitim količinama dostupne vode. Daljnjim proširivanjem broja izmjerenih valnih duljina, spektroskopija otvara nove mogućnosti za izdvajanje spektralnih značajki povezanih sa zdravstvenim stanjem biljaka i statusom bolesti (Li i sur., 2014).



Slika 3. Prikaz elektromagnetnog spektra, uključujući vidljivi dio spektra na valnim duljinama približno od 380 do 750 nm te blizu infracrvenog svijetla na valni duljinama od oko 700 do 2000 nm

Izvor: <https://www.azooptics.com/Article.aspx?ArticleID=1666>

### 3.1. Vegetacijski indeksi

Iz multispektralnih snimki na temelju refleksije, apsorpcije te transmisije elektromagnetnog zračenja s u raznim spektralnim kanalima računaju se podaci koje nazivamo vegetacijskim indeksima. Na područjima na kojima je prisutna vegetacija, vegetacijski indeksi pokazuju veće vrijednosti u odnosu na područja bez vegetacije (Vela i sur., 2017). Obzirom da svaka biljka ima specifičan spektralni potpis, vegetacijski je indeks moguće dobiti kombiniranjem snimki iz raznih spektralnih područja. Klorofil ima jaki afinitet apsorpcije valnih duljina u crvenom i plavom dijelu spektra, dok odbija zelenu svjetlost. Vegetacijski indeksi se uglavnom dobivaju iz crvenog i NIR spektra (Maeda i sur., 2016). Parametri koji utječu na formiranje vegetacijskih indeksa su mjera elektromagnetskog zračenja vegetacije, veličina zelene površine, biomasa, sadržaj klorofila u biljci i dr. (Vela i sur., 2017).

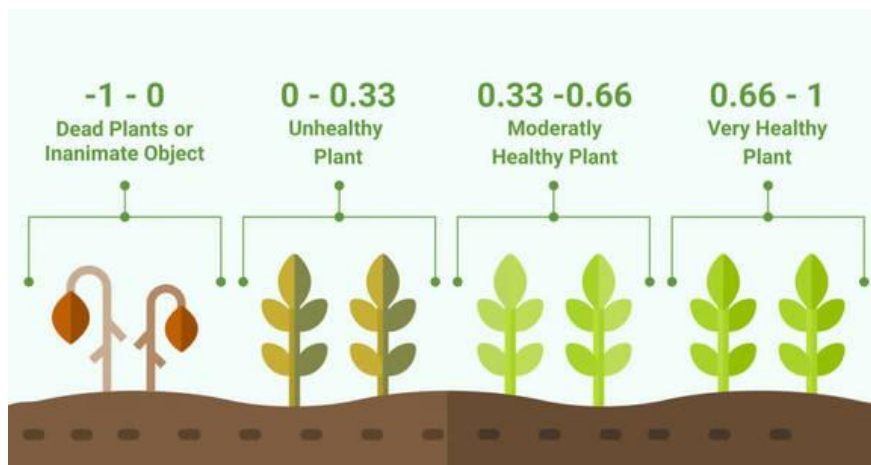
#### 3.1.1. Normalizirani diferencijalni vegetacijski indeks (NDVI)

Normalizirani diferencijalni vegetacijski indeks (engl. *Normalized Difference Vegetation Index* = NDVI) koristi se za otkrivanje promjena u biljkama. Predstavlja omjer između razlike i zbroja NIR i crvenog dijela spektra (Deering, 1978). Određivanje refleksije u crvenom i NIR vidljivom dijelu spektra predstavlja vrlo dobar mehanizam za utvrđivanje zdravlja vegetacije. NDVI omogućuje praćenje sezonskih i višegodišnjih promjena vegetacije (Vela i sur., 2017). Prema Carlsonu i Ripley-u (1997), NDVI se računa iz refleksije svjetlosti u vidljivom i blisko infracrvenom spektru po slijedećoj formuli:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

U kojoj su: NIR – dio spektra  $\lambda \approx 0,8 \mu\text{m}$ , a RED- dio spektra  $\lambda \approx 0,6 \mu\text{m}$

Vrijednosti NDVI-a kreću se između -1 i +1. Ovisno o dobivenoj vrijednosti možemo procijeniti stanje stresa biljke (Slika 4) .



Slika 4. Vrijednosti NDVI koje opisuju zdravstveno stanje biljke

Izvor: <https://eos.com/blog/ndvi-faq-all-you-need-to-know-about-ndvi/>

### 3.1.2. Indeks antocijana

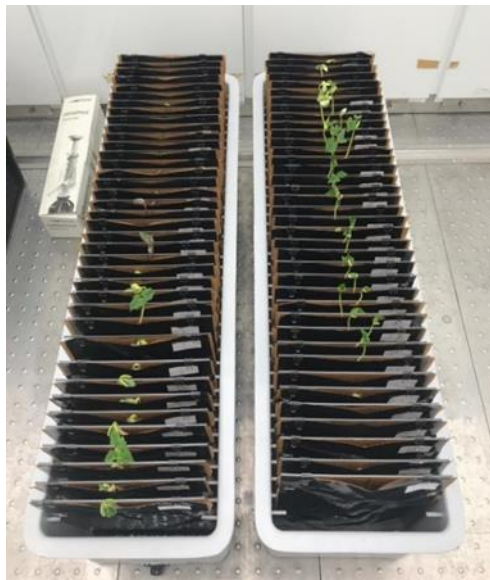
Antocijani pripadaju pigmentima koji biljkama daju crvenu, plavu i ljubičastu boju. Podaci o sadržaju antocijana omogućuju procjenu fiziološkog statusa biljaka. Prema Gitelson i sur. (2009) smatra ih se pokazateljima različitih vrsta biljnih stresova. Najveća refleksija antocijana prisutna je kod 550 nm. Međutim, iste valne duljine reflektirane su i od strane klorofila. Indeks refleksije antocijana koristi refleksije u spektru zelene i na rubu crvenog spektralnog pojasa, dok modificirani indeks refleksije antocijana koristi i NIR pojas (Gitelson i sur., 2009). Indeks antocijana računa se prema formuli:  $AI = (R_{550})^{-1} - (R_{700})^{-1}$ . AI predstavlja indeks antocijana, a R refleksiju (Gitelson i sur., 2001).

### 3.1.3 Indeks klorofila

Indeks klorofila (engl. *Chlorophyll Indeks*, CI) koristi se za izračunavanje ukupnog sadržaja klorofila u listu. Vrijednosti C<sub>green</sub> i C<sub>red-edge</sub> osjetljive su na male varijacije u sadržaju klorofila i stalne su kod većine vrsta. Ukupni sadržaj klorofila linearno je povezan s razlikom između međusobne refleksije zelenih/rubno crvenih traka i blizu crvenog pojasa. C<sub>green</sub> je izračunat promatranjem u zelenom području (570 nm), a C<sub>red-edge</sub> opažanjem u crvenom rubu (730 nm) (<https://www.hiphen-plant.com/blog/vegetation-indices-2/>). Indeks klorofila računa se prema formuli:  $CHI = (R_{700})^{-1} - (R_{NIR})^{-1}$ . CHI označava indeks klorofila, a R refleksiju (Gitelson i sur., 2003).

## 4. Materijali i metode

Pokus je postavljen u kontroliranim uvjetima u komori rasta na Sveučilištu u Zagrebu Agronomskom fakultetu. U pokusu je korišteno sjeme pet tradicijskih kultivara graha: 'Biser', 'Puter', 'Tetovac', 'Trešnjevac', 'Zelenčec'. Sjeme je naklijavano u rolicama nakon sterilizacije u 15% natrijevom hipokloritu i 70 % alkoholu te ispiranja destiliranom vodom. Sjeme se naklijavalo u rolicama umočenim u destiliranu vodu u tami na temperaturi od 28°C. Ujednačeno razvijeni klijanci se 5. dan od naklijavanja presađuju na pleksiglase, stavljaju u kade ispunjene hranjivom otopinom (kontrola i PEG) (Slika 5) i uzgajaju u svjetlosnim uvjetima, pri temperaturi od 25°C, relativnoj vlazi zraka 70%.



Slika 5. Klijanci presađeni na pleksiglase i stavljeni u kade s hranjivom otopinom

Autor: A. Nimac

U pokusu su se koristila dva tretmana: 1. kontrolna otopina i 2. otopina s dodatkom polietilen glikola (PEG) pomoću kojeg se stimulira stres suše (-1 MPa). U svakom tretmanu uzgajalo se 5 biljaka od svakog kultivara. Šesti dan od primjene tretmana, biljke su skenirane PlantEye multispektralnim 3D skenerom za biljke (Slika 6) čime se analizira intenzitet refleksije elektromagnetskog zračenja u vidljivom dijelu spektra (crveni, plavi i zeleni dio spektra), NIR i far red (FR). Kombinacijom 3D vida i multispektralne kamere snima biljke na nedestruktivan način pri čemu kao rezultat daje precizne rezultate mjerenjem morfoloških i fizioloških parametara u stvarnom vremenu.

Svaka valna duljina može se statistički analizirati pojedinačno kako bi se izračunali i kvantificirali boja, razina klorofila, starenje biljke i sadržaj dušika. Kako bi se izračunali i kvantificirali boja, razina klorofila, sadržaj dušika i starenje biljke, svaka se valna duljina pojedinačno može statistički analizirati. Na temelju tih podataka izračunati su vegetacijski indeksi poput normaliziranog diferencijalnog vegetacijskog indeksa (NDVI), indeksa klorofila (CI) i indeksa antocijana (AI).



Slika 6. PlantEye multispektralni skener

Izvor: <https://phenospex.com/>

#### 4.1. Statistička obrada podataka

Dobiveni podaci analizirani su analizom varijance (ANOVA), koristeći R računalni sustav (R Core Team, 2019), prema generalnom linearnom modelu. Razlike između prosječnih vrijednosti varijabli utvrđene su Tukeyjevim testom ( $P < 0,05$ ). Rezultati su prikazani grafički pomoću stupaca koji odgovaraju srednjim vrijednostima.

## 5. Rezultati i rasprava

### 5.1. Multispektralna snimanja u procjeni stresa suše

Tablicom 1. prikazana je analiza varijance parametara dobivenih multispektralnim analizama kod genotipova graha uzgajanih u kontrolnim uvjetima i uvjetima stresa suše.

Statistički značajne razlike između tretmana utvrđene su kod varijabli indeksa klorofila, indeksa antocijana, NDVI, NIR i FR, a kod vidljivog spektra u zelenom i plavom dijelu spektra. Statistički značajne razlike utvrđene su u interakciji Tretman x Genotip za indeks klorofila i NIR. Za sva mjerena svojstva nisu utvrđene signifikantne razlike među genotipovima.

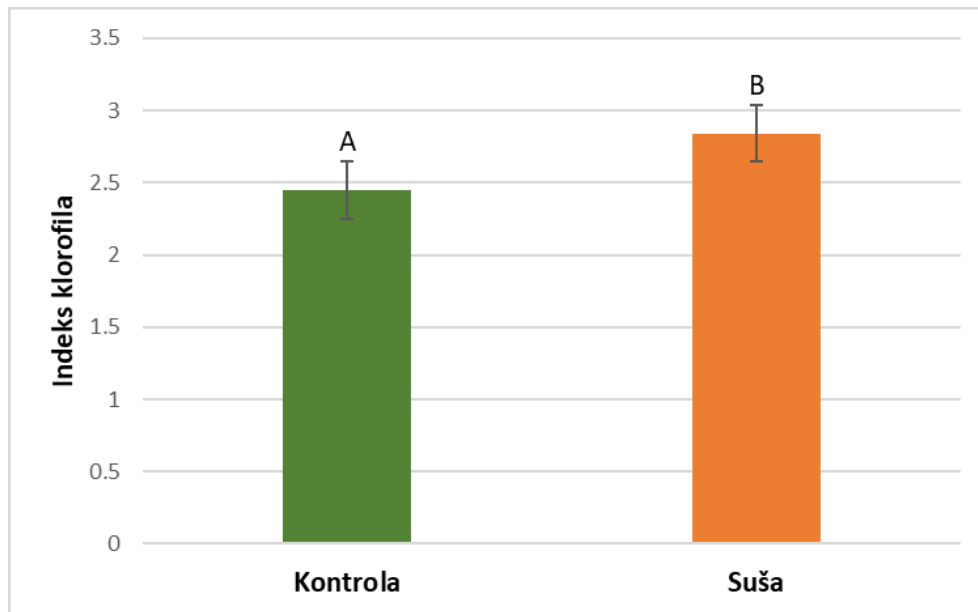
Tablica 1. Analiza varijance (ANOVA) za parametre dobivene multispektralnim analizama kod tradicijskih kultivara graha uzgajanih u kontrolnim uvjetima i uvjetima stresa suše

Izvor varijabilnosti	DF	Indeks klorofila	Indeks antocijana	NDVI	Vidljivi dio spektra (R G B)	NIR	FR
Tretman	1	***	***	***	ns ** **	**	***
Trad. kultivar	4	ns	ns	ns	ns ns ns	ns	ns
Tretman*trad. kultivar	4	*	ns	ns	ns ns ns	*	ns



## 5.2. Indeks klorofila

Grafikon 1. prikazuje utjecaj tretmana suše na indeks klorofila (CI) kod biljaka graha. Stupci prikazuju srednje vrijednosti CI za svih pet tradicijskih kultivara graha. Značajno veća srednja vrijednost utvrđena je kod suše (2,85) u odnosu na kontrolu (2,44).

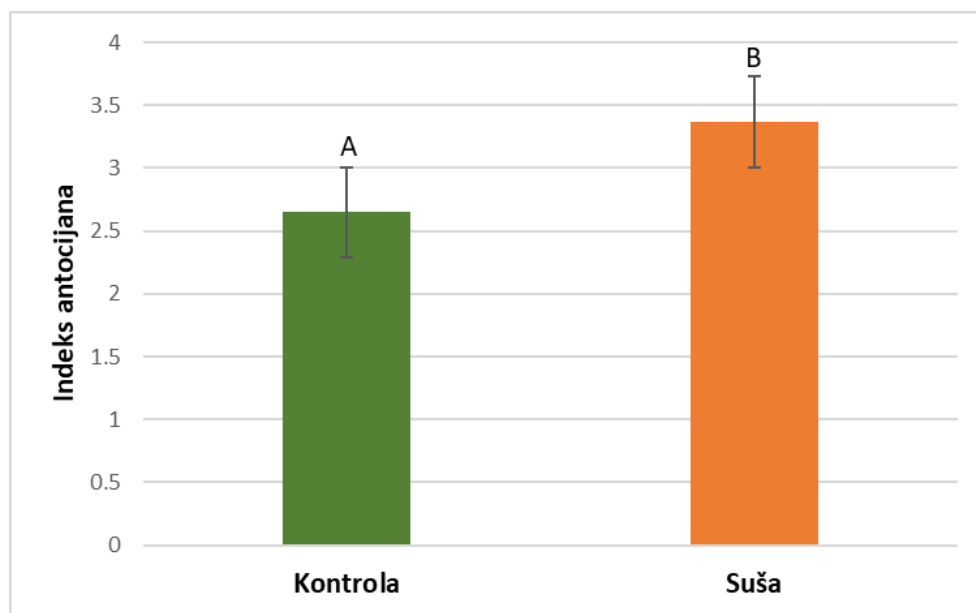


Grafikon 1. Utjecaj tretmana suše na indeks klorofila (CI) biljaka graha. Stupcima su prikazane srednje vrijednosti CI za svih pet tradicijskih kultivara graha. Različita slova pridružena stupcima ukazuju na značajne razlike srednjih vrijednosti temeljene na Tukeyjevom testu.

Penuelas i sur. (1995) u svome istraživanju utvrdili su da su koncentracije klorofila značajno manje kada su biljke izložene sušnim uvjetima u usporedbi s koncentracijama u optimalnim uvjetima. Rezultati ovog istraživanja pokazuju da je došlo do porasta ukupne količine klorofila u biljkama graha kod tretmana suše (2,85) u odnosu na kontrolu (2,44). Prema Farooq i sur. (2009), povećanje sadržaja klorofila pod utjecajem suše može biti povezano sa smanjenjem lisne površine. Također, može biti i jedan od obrambenih mehanizama kako bi se smanjio štetan učinak stresa suše.

### 5.3. Indeks antocijana

Grafikon 2. prikazuje utjecaj tretmana suše na indeks antocijana (AI) kod biljaka graha. Stupcima su prikazane srednje vrijednosti AI za svih pet tradicijskih kultivara graha. Utvrđene su značajne razlike između srednjih vrijednosti te su one iznosile 2,64 za kontrolu i 3,37 za sušu.

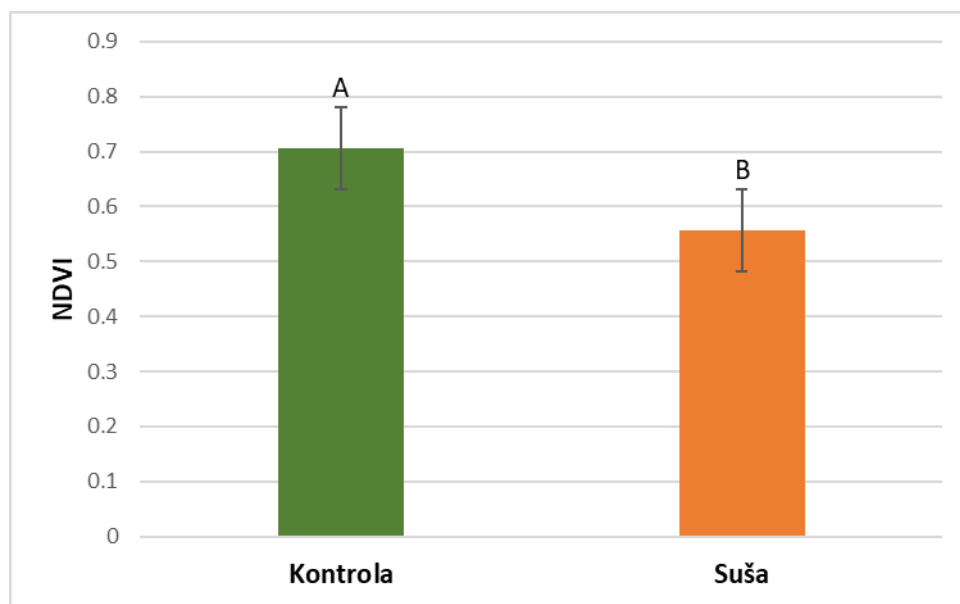


Grafikon 2. Utjecaj tretmana suše na indeks antocijana (AI) biljaka graha. Stupcima su prikazane srednje vrijednosti AI za svih pet tradicijskih kultivara graha. Različita slova pridružena stupcima ukazuju na značajne razlike srednjih vrijednosti temeljene na Tukeyjevom testu.

U listovima biljaka vrlo često dolazi do značajnog nakupljanja antocijana kao posljedica mnogih biotskih i abiotskih stresova kao što su jaka svjetlost, UV-zračenje, niska temperatura, suša, rane, bakterijske i gljivične infekcije, nedostaci dušika i fosfora, određeni herbicidi i zagađivači (Gitelson i sur., 2001). Dobiveni rezultati ukazuju na veću prosječnu koncentraciju antocijana u listovima u tretmanu suše (3,37), dok je u kontroli manja koncentracija (2,64), što podupire tezu Gitelson i sur. (2001).

## 5.4. NDVI

Grafikon 3. prikazuje utjecaj tretmana suše na normalizirani diferencijalni indeks (NDVI) kod biljaka graha. Stupci prikazuju srednje vrijednosti NDVI za svih pet tradicijskih kultivara graha, a one iznose 0,71 za kontrolu i 0,56 za sušu. Zbog značajnih razlika u srednjim vrijednostima, stupcima su pridružena različita slova.

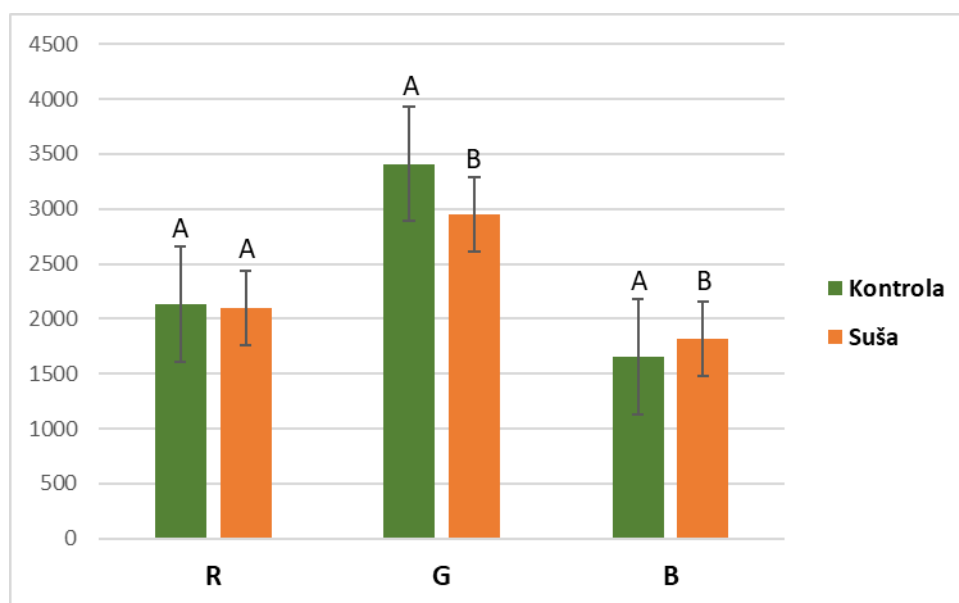


Grafikon 3. Utjecaj tretmana suše na normalizirani diferencijalni indeks (NDVI) biljaka graha. Stupcima su prikazane srednje vrijednosti NDVI za svih pet tradicijskih kultivara graha. Različita slova pridružena stupcima ukazuju na značajne razlike srednjih vrijednosti temeljene na Tukeyjevom testu.

Što više listova posjeduje biljka to je veći utjecaj na valne duljine svjetla, a ovisno o boji možemo utvrditi zdravstveno stanje biljke (Rumora i sur.,2016). Rezultati našeg istraživanja pokazuju da su srednje vrijednosti NDVI za svih 5 tradicijskih kultivara graha za kontrolu iznosile 0,71, a za sušu 0,56, što ukazuje na umjereno narušeno zdravlje biljke u sušnim uvjetima.

## 5.5. Vidljivi dio spektra (RGB)

Grafikon 4. prikazuje razlike u vrijednostima intenziteta refleksije elektromagnetskog zračenja u vidljivom dijelu spektra; crveni (R), zeleni (G), plavi (B) u kontroli i tretmanu suše za pet tradicijskih kultivara graha. Statistički značajne razlike u intenzitetu refleksije vidljive su u zelenom i plavom dijelu spektra, dok u crvenom nema značajnih razlika.

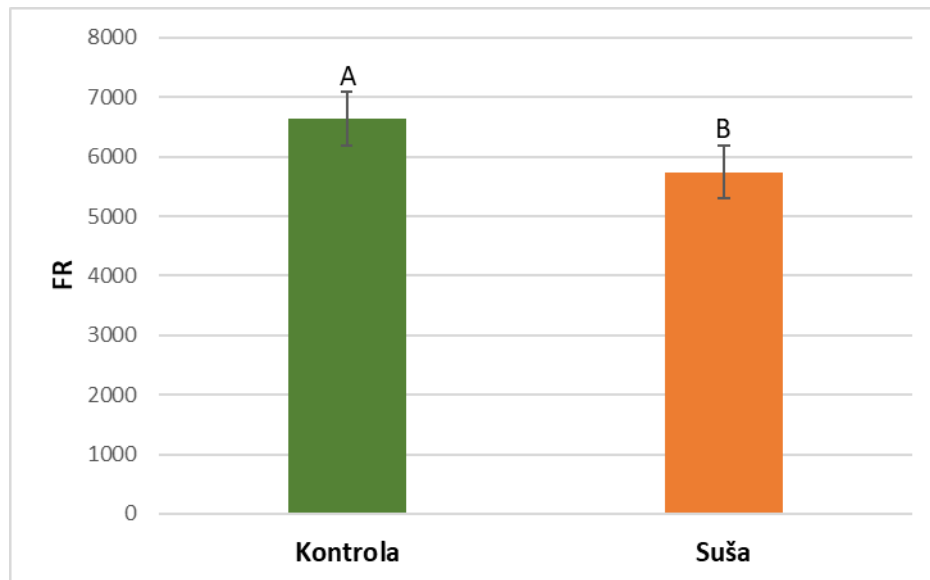


Grafikon 4. Razlike u vrijednostima intenziteta refleksije elektromagnetskog zračenja u vidljivom dijelu spektra; crveni (R), zeleni (G), plavi (B) u kontroli i tretmanu suše za pet tradicijskih kultivara graha. Tretmani označeni istim slovom ne razlikuju se značajno na temelju Tukeyjevog testa.

Što se tiče vidljivog dijela spektra, do značajnih razlika u intenzitetu refleksije elektromagnetskog zračenja došlo je u zelenom i plavom dijelu spektra. U zelenom dijelu je veća refleksija zabilježena u kontroli, dok je u plavom veći intenzitet refleksije zabilježen kod tretmana suše. U crvenom dijelu spektra nije došlo do značajne razlike u dobivenim vrijednostima. U istraživanju koje su proveli Yao i sur.(2018) u crvenom dijelu spektra također nisu utvrđene značajne razlike, jer on nije toliko osjetljiv na stres suše kao zeleni i plavi.

## 5.6. FR

Grafikon 5. prikazuje utjecaj tretmana suše na intenzitet refleksije elektromagnetskog zračenja FR biljaka graha. Kod tretmana sušom zabilježena je značajno manja refleksija biljaka u FR svjetlosti.

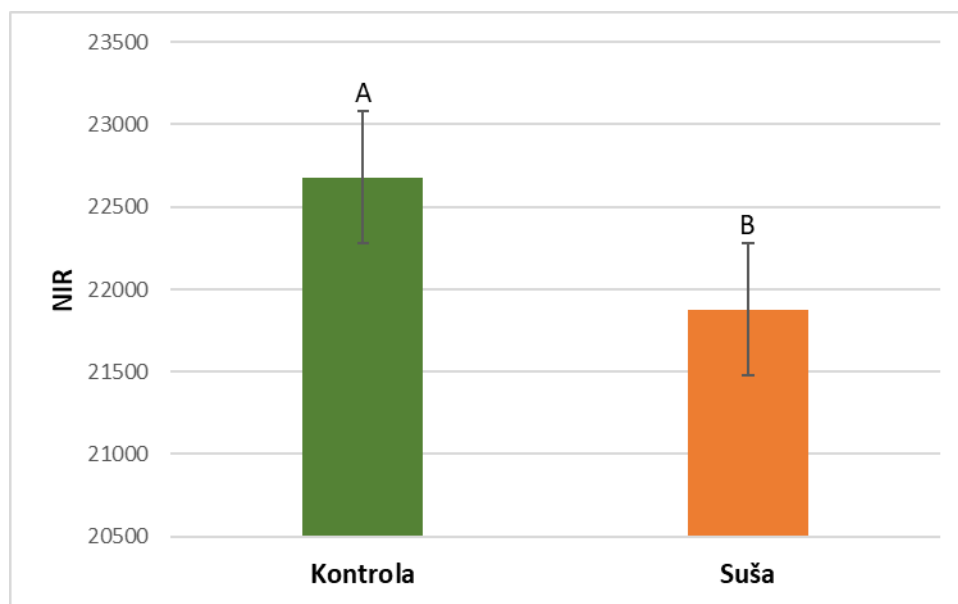


Grafikon 5. Utjecaj tretmana suše na intenzitet refleksije elektromagnetskog zračenja FR biljaka graha. Tretmani označeni različitim slovima značajno se razlikuju na temelju Tukeyjevog testa.

Biljke izložene tretmanu suše imale su značajno manji intenzitet refleksije elektromagnetskog zračenja u FR dijelu spektra. Rezultati istraživanja Yao i sur. (2018) pokazuju da je stres suše uzrokovao manji intenzitet refleksije FR za oba ispitivana tipa *Arabidopsis* (divlji tip i osca 1).

## 5.7. NIR

Grafikon 6 prikazuje utjecaj tretmana suše na intenzitet refleksije elektromagnetskog zračenja NIR kod biljaka graha. Stupcima su prikazane srednje vrijednosti NIR za svih pet tradicijskih kultivara graha. Srednja vrijednost za kontrolu iznosi 22678,4, a za sušu 21878,4 te je utvrđena značajna razlika između dva tretmana.



Graf 6. Utjecaj tretmana suše na intenzitet refleksije elektromagnetskog zračenja NIR biljaka graha. Tretmani označeni različitim slovima značajno se razlikuju na temelju Tukeyjevog testa.

Li i sur. (2014) u svome istraživanju zaključuju kako zdrava vegetacija reflektira više NIR svjetlosti u usporedbi s drugim valnim duljinama. Navedeno je vidljivo i u rezultatima ovog istraživanja gdje je srednja vrijednost za kontrolu iznosila 22678,4, a za sušu 21878,4. Dakle, biljke koje imaju optimalne uvjete za rast reflektiraju više NIR svjetlosti za razliku od biljaka izloženih stresu.

## 6. Zaključak

Statistički značajne razlike između tretmana utvrđene su kod varijabli indeksa klorofila, indeksa antocijana, NDVI, NIR i FR, a kod vidljivog spektra u zelenom i plavom dijelu spektra. Statistički značajne razlike utvrđene su u interakciji Tretman x Trad. kultivar za indeks klorofila i NIR. Za sva mjerena svojstva nisu utvrđene signifikantne razlike među tradicijskim kultivarima.

Pod utjecajem suše došlo je do porasta indeksa klorofila, što predstavlja jedan od mehanizama kojima se biljka brani od štetnih utjecaja uzrokovanih sušom. Iz istog razloga zabilježen je i porast indeksa antocijana. U sušnim uvjetima došlo je i do smanjenja vrijednosti NDVI (0,56) i manje refleksije NIR-a (21878,4), što ukazuje na narušeno zdravstveno stanje biljke.

Multispektralne analize, odnosno vegetacijski indeksi, u ovom istraživanju, pokazali su se pogodni za određivanje utjecaja stresa suše kod graha.

## 7. Popis literature

1. Athar H., Ashraf M.Y. (2004). Photosynthesis under drought stress. Handbook of Photosynthesis, 793-809.
2. Beebe S.; Rao I.; Mukankusi C.; Buruchara R. (2011). Improving Resource Use Efficiency and Reducing Risk of Common Bean Production in Africa, Latin America ,and the Caribbean.
3. Cabrera-Bosquet, L.; Sanchez, C.; Rosales, A.; Palacios-Rojas, N.; Araus, J.L. (2010).Near-Infrared reflectance spectroscopy (NIRS) assessment of  $\delta^{18}O$  and nitrogen and ash contents for improved yield potential and drought adaptation in maize. J. Agric. Food Chem. 2010, 59, 467–474.
4. Carlson, T. N.; Ripley, D. A. (1997). On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index, Remote Sensing of Environment, 62(3), 241–252.
5. Deering, D. W. (1978). Rangeland reflectance characteristics measured by aircraft and spacecraft sensors, Ph.D. Thesis, Texas A&M University, College Station.
6. Farooq, M.; Wahid, A.; Kobayashi, N.; Fujita, D.; Basra, S.M.A (2009). Plant Drought Stress: Effects, Mechanisms and Management. Sustainable Agriculture: 153-162.
7. Frahm M.A., Sotomayor J.C.R., Mayek-Perez N., Salinas E.L. (2004). Breeding beans for resistance to terminal drought in the Lowland tropics. Euphytica, May 2004, 136(2), 223-232.
8. Gebeyehu, S. (2006). Physiological Response to Drought Stress of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotypes Differing in Drought Resistance.
9. Gitelson A.A., Merzlyak M.N, Chivkunova O.B. (2001). Optical Properties and Nondestructive Estimation of Anthocyanin Content in Plant Leaves. Photochemistry and Photobiology, 74(1): 38–45
10. Gitelson A.A; Gritz Y.; Merzlyak M.N. (2003). Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. Journal of Plant Phisiology 160.271-282.



11. Gitelson, A.A.; Chivkunova, O.B.; Merzlyak, M.N. (2009). Nondestructive estimation of anthocyanins and chlorophylls in anthocyanic leaves. *American Journal of Botany* 96(10):1861-1868.2009.
12. He X., Estes L., Konar M., Tian D., Anghileri D., Baylis K., Evans T.P., Sheffield J. (2019). Integrated approaches to understanding and reducing drought impact on food security across scales. *Current opinion in environmental sustainability*. Volume 40, October 2019, 43-54.
13. Hussain M., Malik M.A., Farooq M., Ashraf M.Y., Cheema M.A. (2008) Improving Drought tolerance by exogenous application of glycinebetaine and salicylic acid in sunflower, *J. Agron. Crop Sci.* 194, 193–199.
14. Kim W., Iizumi T., Nishimori M. (2019). Global Patterns of Crop Production Losses Associated with Droughts from 1893 to 2009. *J. Appl. Meteor. Climatol.* (2019),58(6),1233-1244.
15. Lazarević, B.; Poljak, M. (2019). *Fiziologija bilja*: 99-103.
16. Lešić, R. i sur. 2004., *Povrćarstvo*. Zrinski, Čakovec.
17. Li L., Zhang Q., Huang D. (2014). A Review of Imaging Techniques for Plant Phenotyping. *Sensors* 2014,14.
18. Maeda, E. E.; Moura, Y. M.; Wagner, F.; Hilker, T.; Lyapustin, A. I.; Wang, Y.; Chave, J.; Mörtus, M.; Aragão, L. E. O. C.; Shimabukuro, Y. (2016). Consistency of vegetation index seasonality across the Amazon rainforest, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 52, 42–53.
19. Miočinović I. (2019). Morfološka svojstva sjemena hrvatskih tradicijskih kultivara graha (*Phaseolus vulgaris* L.). Diplomski rad.
20. Near-Infrared (NIR) Light Sources for 3D Facial Recognition. (n.d.). Retrieved August 24, 2020, from <https://www.azooptics.com/Article.aspx?ArticleID=1666>
21. Ollinger, S.V. (2010). Sources of variability in canopy reflectance and the convergent properties of plants.
22. Palčić I., Karažija T., Petek M., Lazarević B., Herak Ćustić M., Gunjača J., Liber Z., Carović-Stanko K. (2018). Relationship between origin and nutrient content of Croatian common bean landraces. *Journal of Central European Agriculture* 19 (3): 490-502.
23. Penuelas J., Baret E., Filella I. (1995). Semi-empirical indices to assess carotenoids/chlorophyll a ratio from leaf spectral reflectance. *Photosynthetica*, 31 (2):221-230.

24. PlantEye F500 - Multispectral 3D laser scanner for plant phenotyping. (n.d.). Retrieved August 24, 2020, from <https://phenospex.com/products/plant-phenotyping/planteye-f500-multispectral-3d-laser-scanner/>
25. R Core Team. (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.r-project.org>
26. Rajnović, I. (2017). Bioraznolikost i simbiozna učinkovitost prirodnih populacija rizobija koje noduliraju grah (*Phaseolus vulgaris* L.), doktorski rad.
27. Rumora, L., Medved, I., Pilaš, I., Medak, D. (2016). Uspredba vrijednosti vegetacijskog indeksa dobivenog na temelju digitalnog broja i refleksije na vrhu atmosfere. *Geod.list* 2016, 1, 59-74.
28. Sankaran, S., Khot, L. R., Espinoza, C. Z., Jarolmasjed, S., Sathuvalli, V. R., Vandemark, G. J., et al. (2015). Low-altitude, high-resolution aerial imaging systems for row and field crop phenotyping: a review. *Eur. J. Agron.* 70, 112–123.
29. Taiz L., Zeiger E. (2006) *Plant Physiology*.
30. Vegetation Indices for Chlorophyll | CI - MTCI - NDRE - ND705 - ND550 - mNDblue | Hiphen. (n.d.). Retrieved August 24, 2020, from <https://www.hiphen-plant.com/blog/vegetation-indices-2/>
31. Vela, E.; Medved, I.; Miljković, V. (2017). Geostatistička analiza vegetacijskih indeksa na šumskom ekosustavu Česma. *Geod.list* 2017,1,25-40.
32. Vidak, M. (2016). Proizvodnja graha u Hrvatskoj. *Poljoprivredni glasnik* 5: 14-17.
33. Viljevac M. (2012). Genetska varijabilnost višnje (*Prunus cerasus* L.) i fotosintetska učinkovitost u uvjetima suše. Sažeci doktorskih disertacija. *Poljoprivreda* 18:2012 (2) 59-70.
34. Virlet, N., Lebourgeois, V., Martinez, S., Costes, E., Labbé, S., and Regnard, J. L. (2014). Stress indicators based on airborne thermal imagery for field phenotyping a heterogeneous tree population for response to water constraints. *J. Exp. Bot.* 65, 5429–5442.
35. Vukadinović, V. (2018). Suša i njene posljedice.
36. Wang H., Zhang L., Xu S., Li H., Xia X., Dai L., Xu L., Yu J., Liu X. (2018). A Method of High Throughput Monitoring Crop Physiology Using Chlorophyll Fluorescence and Multispectral Imaging. *Front. Plant Sci.* 9:407.

37. Yao J., Sun D., Cen H., Xu H., Weng H., Yuan F., He J. (2018). Phenotyping of Arabidopsis Drought Stress Response Using Kinetic Chlorophyll Fluorescence and Multicolor Fluorescence Imaging. *Front. Plant Sci.*, 11 May 2018.

## **Životopis**

Mia Milakara rođena je 07.10.1996. godine u Zagrebu. Pohađala je osnovnu školu Samobor u Samoboru, nakon čega upisuje opću gimnaziju Antuna Gustava Matoša u Samoboru. Godine 2015. upisuje preddiplomski studij Agroekologije na Agronomskom fakultetu u Zagrebu. Preddiplomski studij završava 2018. godine obranom završnog rada na temu „Utjecaj arbuskularne mikorize na mineralni sastav bosiljka“ te iste godine upisuje diplomski studij Agroekologije na Agronomskom fakultetu u Zagrebu.